



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DE DOCTORADO EN GEOGRAFÍA

**INTEGRACIÓN POR MEDIO DE GEOTECNOLOGIAS DE LA INFORMACIÓN
AMBIENTAL EN ESTUDIOS DE DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS PARA LOS
PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES, PROVINCIA DE BUENOS AIRES-
ARGENTINA**

LIC. CRISTINA INÉS WINSHEL

BAHIA BLANCA

ARGENTINA

2017

PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Geografía, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito de la Estación Experimental Agropecuaria del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Hilario Ascasubi y del Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur durante el período comprendido entre el 01 de marzo de 2010 y el 01 de Octubre de 2017, bajo la dirección de Doctor Julio Uboldi.

[Firma del Alumno]



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el 12/12/2017, mereciendo la calificación de 10 (sobresaliente)

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, principalmente a mis dos hijas María Florencia y Antonella Lucía Funes y a mi esposo César Funes que siempre me acompañaron y alentaron a seguir adelante para llegar a alcanzar el objetivo propuesto y que sin ellos no hubiera sido posible; ellos son mi motor de lucha cotidiana. A mis padres que fueron y estuvieron siempre presentes acompañando el proceso y ayudando al cuidado de mis hijas.

Al INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) de Hilario Ascasubi, lugar en el que me desempeñé laboralmente desde enero del 2000 y que por formar parte de su plantel, me permitió conocer las problemáticas locales, zonales y regionales, que me motivaron y alentaron a realizar el doctorado en Geografía en la temática propuesta.

Al Dr. Miguel Angel Cantamutto (director de dicha Institución) que me brindó el espacio y tiempo necesarios para poder dedicarme exclusivamente al armado y escritura de la tesis. Al Mg. Juan Ignacio Vanzolini (jefe de grupo de Recursos Naturales de dicha Experimental) quien me seguía de cerca para que me dedicara a la tesis.

A mi director de tesis Dr. Julio Uboldi que siempre se mostró dispuesto y estuvo presente en cada una de las consultas realizadas. Él me guió, dirigió y sugirió correcciones a lo largo de este trabajo, como así también me brindó la plena libertad en el desarrollo de la investigación.

A mis compañeros de trabajo que siempre se interesaban y preguntaban de cómo iba con la tesis y me animaban a seguir. Algunos de ellos: Ing. Agr. Andrés Grand y Jorge Cepeda, que me entregaron la información solicitada. A mi compañera y amiga Soledad García Paoloni quien estuvo dispuesta a ayudarme en el armado del abstract. A mi compañero de oficina Lic. Alejandro Pezzola que se recargó con los trabajos de nuestra área de investigación para que yo me pudiera dedicar exclusivamente al trabajo de tesis.

A mis compañeros del Instituto de Suelos del INTA Castelar (Lucas Moretti, Guillermo Schulzs, Leonardo Tenti, Dario Rodriguez, Ileana Paladino, Julieta Irigoin) que en cada recorrida o salida a campo se ocuparon y encargaron de enseñarme y transmitirme todos sus conocimientos acerca de los suelos de la región y en especial agradecer a alguien que ya no está entre nosotros a Miguel Cuenca que fue un excelente compañero y gran persona.

A Alejandra Casella del Instituto de Clima y Agua de Castelar, porque fuiste vos la que provocó el gran empuje para que se diera esta posibilidad de dedicación exclusiva a la elaboración del trabajo de investigación.

A la Lic. Noelia Cecilia Calamari (Esp., Dra.) Ecología y Conservación de Fauna Silvestre, Protección Vegetal y Factores Bióticos de la EEA Paraná; quien me asesoró y me ayudó inmediatamente cuando se me generó alguna duda en el manejo del software del Idrisi.

A mis amigas y compañeras de trabajo de todos los días María Vanesa Martínez y Luciana Giménez que a veces cuando me veían un poco decaída; ellas se ocupaban de darme ánimo y aliento para seguir. A mis amigas de la vida (Daiana Guerrero, Daniela Palmeiro, Andrea Ramos, Andrea Rulé) que muchas veces me perdí de compartir algún momento con ellas, y me supieron entender y apoyar para llegar a concluir mi trabajo de tesis.

¡A todos y cada uno de ellos que fueron partícipes de este proceso, les agradezco infinitamente de corazón!.

RESUMEN

La presente investigación consiste en una contribución al desarrollo de metodologías que amplían la aplicabilidad de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la teledetección y las bases de datos al análisis territorial. Específicamente se centra en el análisis de la interacción suelo-paisaje en el proceso de avance de la frontera agrícola producto de esta relación. La humanidad transforma y modifica las coberturas del suelo y amplía el área de acción hacia un entorno con suelos marginales productivos causando erosión y degradación. En el presente estudio se analizaron los cambios de uso y cobertura y los procesos relacionados con la erosión eólica entre 1975 y 2015.

La investigación se lleva a cabo en los partidos de Villarino y Patagones en el sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina. A pesar de la fragilidad de esta región determinada por las condiciones climáticas, el tipo de suelo y la actividad del hombre, la principal actividad productiva es el cultivo de cereales (principalmente trigo) y pastos para el ganado. La sostenibilidad futura de este uso agrícola está condicionada por el mal uso y manejo del suelo con escasas medidas de conservación.

En este contexto, uno de los principales resultados de la investigación es la integración de la información a través de un SIG, desarrollado a una escala semi-detallada para todo el territorio de estudio, con el fin de determinar las posibles áreas vulnerables a degradarse y predecir futuros progresos y cambios potenciales de la frontera agrícola. Además, establece la estructura sobre la cual desarrollar base de datos espaciales con información de suelo más detallada. Otras aportaciones se obtienen del conjunto de metodologías, basadas en el análisis y la clasificación multitemporal de imágenes satelitales y la preparación de Modelos Digitales

de Elevación (DEM). Toda esta información se gestiona desde un SIG que permite combinar variables y crear nuevas alternativas cartográficas que conduzcan al análisis de procesos de degradación del suelo y predicción de futuros cambios en el uso y coberturas del suelo.

La aplicación de estas metodologías al área de estudio ha confirmado la importante influencia de la acción antrópica en la aceleración de los actuales procesos de degradación del suelo.

La investigación reafirma la importancia de combinar técnicas de campo y de laboratorio con métodos de teledetección para la adquisición de datos, formando una verdadera relevamiento regional integrado que contribuye significativamente al conocimiento de los procesos de erosión y degradación del suelo. Además estas técnicas permiten modelar el paisaje para una predicción de los posibles escenarios futuros de los diferentes cambios de utilidad y cubiertas del suelo que conducen a generar áreas de mayor vulnerabilidad a degradarse.

ABSTRACT

The present research consists of a contribution to the development of methodologies that extend the applicability of Geographic Information Systems (GIS), remote sensing and databases to territory analysis; specifically soil-landscape interaction in the process of the agricultural frontier advancing product of this relationship. Mankind transforms and modifies the coverings of the soil and expands the area of action towards an environ with productive marginality soils causing both erosion and degradation. In the present study were analyzed the use and coverage changes and the processes related to wind erosion from 1975 to 2015.

The research is carried out in Villarino and Patagones parties in the south of Buenos Aires province, Argentina. Even though the fragility of this region due to climatic conditions, soil type and farmers land management the main productive activity is the cultivation of cereals (mainly wheat) and pastures for livestock. Although future sustainability of this agricultural use is conditioned due to the misuse and soil management with a few or none conservation. In this context one of the main results of the research is the integration of the information through GIS, developed at a semi-detailed scale of the entire study territory, in order to determine possible degradation of vulnerable areas and to predict future potential progress and changes in the agricultural frontier.

Moreover it establish the structure on which to develop spatial databases with more detailed soil information. Other contributions are obtained from the set of methodologies, based on the analysis and multitemporal classification of satellite images and the preparation of Digital Elevation Models (DEM). All this information is managed from a GIS that allows to combine variables and to create new cartographable alternatives leading to the analysis of processes of soil degradation and prediction of future changes in the use and coverings of soil.

The application of these methodologies to the study area has confirmed the important influence of anthropic action in the acceleration of current soil degradation processes.

The research confirms the importance of combining field and laboratory techniques with remote sensing methods for data acquisition, forming a real integrated regional survey that makes a significant contribution to the knowledge of soil erosion and degradation processes. Furthermore these techniques allow the modeling of the landscape for a prediction of the possible future scenarios of the different changes of utility and coverings of soil that lead to generate areas of greater vulnerability to be degraded.

ÍNDICE GENERAL

PREFACIO	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	5
ABSTRACT	7
ÍNDICE GENERAL	9
INDICE DE FIGURAS	14
INDICE DE GRÁFICOS	17
ÍNDICE DE TABLAS	18
SIGLAS, UNIDADES Y ACRÓNIMOS	20
CAPÍTULO: I	22
INTRODUCCIÓN:.....	22
PROBLEMÁTICA:.....	23
HIPOTESIS DE TRABAJO	29
OBJETIVO GENERAL.....	29
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	29
CAPÍTULO: II.....	30
2.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:	30
2.2 DESCRIPCIONES AGRO-METEOROLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO ..	33
2.2.1 CLASIFICACIONES CLIMÁTICAS SEGÚN KÖEPPEN Y THORNTHWAITE	33
2.2.2 DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y SU IMPORTANCIA PARA LAS ACTIVIDADES AGRÍCOLAS	35
2.2.3 EL VIENTO COMO PRINCIPAL AGENTE CLIMÁTICO EROSIVO Y MODELADOR DEL SUELO.	37
2.3. DESCRIPCIÓN DE LA VEGETACIÓN NATIVA	38
2.3.1 PROVINCIA FITOGEOGRÁFICA DEL ESPINAL	38

2.3.1.1 DISTRITO DEL CALDÉN	39
2.3.2 PROVINCIA FITOGEOGRÁFICA DEL MONTE.....	41
2.3.3 ECOTONO Y SU VEGETACIÓN CLÍMAX	41
2.4 DESCRIPCIÓN DE LA OCUPACIÓN Y POBLAMIENTO DEL TERRITORIO..	45
2.4.1 EL PREDOMINIO INDÍGENA:	45
2.4.2 LA CONQUISTA PASTORIL.....	46
2.4.3 ETAPA DE LA COLONIZACIÓN AGRÍCOLA	48
2.5 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA GRAN REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA	49
CAPÍTULO: III.....	51
3. MARCO TEORICO-CONCEPTUAL:	51
3.1 PRINCIPALES CONCEPTOS PRESENTES EN ESTUDIOS DE ÁREAS DEGRADADAS O VULNERABLES A DEGRADARSE:.....	51
3.1.1 SEQUÍA Y ARIDEZ:.....	51
3.1.2 DESERTIFICACIÓN Y DEGRADACIÓN:.....	52
3.2 EL SUELO: PRINCIPAL SUSTRATO PARA TODO SER VIVO QUE HABITA, TRANSITA Y VIVE DE ÉL.....	55
3.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS	57
3.2.2 TIPOS DE SUELOS	58
3.3 EL RELIEVE: COMO RESULTADO DEL MODELADO DEBIDO A DIVERSOS AGENTES FÍSICOS Y QUÍMICOS	59
3.4 COBERTURA VEGETAL PARA LA CONSERVACIÓN, FIJACIÓN Y RETENCIÓN DEL SUELO	61
3.5 FACTORES MEDIOAMBIENTALES NATURALES Y SOCIO- CULTURALES QUE INCIDEN EN LA DEGRADACIÓN DE TIERRAS	62
3.5.1 LA EROSIÓN EÓLICA COMO PRINCIPAL FACTOR MEDIOAMBIENTAL:	62
3.5.2 EL USO DEL SUELO POR PARTE DEL HOMBRE A TRAVÉS DE LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS POCO SUSTENTABLES EN ÁREAS MARGINALES (PRINCIPAL FACTOR SOCIAL): ...	63

3.5.2.1	IMPACTOS DE LAS TÉCNICAS Y TECNOLOGÍAS AGRÍCOLAS AL MEDIO AMBIENTE.....	64
3.5.2.2	IMPACTOS QUE PROVOCA EL LABOREO AL RECURSO NATURAL “SUELO”.....	65
3.6	UTILIZACIÓN DE SENSORES REMOTOS PARA EL ESTUDIO DE ASPECTOS RELEVANTES DEL SUELO	68
3.6.1	ANTECEDENTES Y ESTUDIOS DE IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES UTILIZANDO IMÁGENES DE SATÉLITES Y SIG	70
3.6.2	SATÉLITES LANDSATS Y LOS DISTINTOS SENSORES (MSS, TM, ETM+, OLI Y TIRS) UTILIZADOS PARA ESTA INVESTIGACIÓN: SUS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	74
3.6.3	TECNOLOGÍA LIDAR	79
3.7	LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	81
3.8	LOS PRINCIPALES PROGRAMAS O SOFTWARES COMERCIALES UTILIZADOS EN EL SIG	82
CAPÍTULO: IV		84
4.	REVISIÓN HISTÓRICA EN ESTUDIOS DE SUELOS DE ARGENTINA Y PROPIOS DEL ÁREA DE ESTUDIO	84
4.1	UN POCO DE HISTORIA.....	84
4.2	¿QUÉ SIGNIFICA FISIOGRAFÍA?.....	85
4.3	CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS DEL SUR BONAERENSE: SUS PERFILES Y TEXTURAS ...	86
4.3.1	CARTOGRAFÍA DE SUELOS Y MODELOS DIGITALES DEL TERRENO DEL ÁREA EN ESTUDIO	86
4.3.1.1	SUS ÓRDENES.....	86
4.3.1.2	LOS GRANDES GRUPOS Y SUS TEXTURAS DE SUELOS	89
4.4.	MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT) PARA DETERMINAR PENDIENTES	92
4.5	UTILIZACIÓN DE DOS SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN PARA EL ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA DINÁMICA DE USOS Y COBERTURAS DE SUELO PARA LOS AÑOS 1975-2001 Y 2015.....	95
4.5.1	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE COBERTURA DE SUELO APLICADO POR EL SERVICIO GEOLÓGICO DE LOS ESTADOS UNIDOS (USGS).....	96
4.5.2	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE COBERTURA DE LA TIERRA FAO (LCCS)	97

4.6 FACTORES INFLUYENTES EN EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DE SUELOS	100
4.6.1 EL USO DEL SUELO CON LAS PRINCIPALES ACTIVIDADES ECONÓMICAS DESARROLLADAS POR LOS PRODUCTORES DE LA ZONA	100
4.6.2 INVENTARIO HISTÓRICO Y CUANTIFICACIÓN DE LOS INCENDIOS EN EL SUR BONAERENSE (PERÍODO 1970-2015).....	101
4.6.3 LA DEGRADACIÓN EN LOS SUELOS IRRIGADOS DEL VALLE BONAERENSE DEL RÍO COLORADO (VBRC) PRODUCTO DE LA SALINIDAD DEL AGUA DE RIEGO	111
4.7 ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL AVANCE DE LA FRONTERA AGRÍCOLA SOBRE EL MONTE NATIVO PARA LOS PERÍODOS 1975-1987, 1987-2002 Y 2002-2015	116
4.7.1 LA EVOLUCIÓN DE LA COBERTURA ARBUSTIVA DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO 1975, 1987, 2002 Y 2015	119
4.7.1.1 RESULTADOS DE LA CUANTIFICACIÓN DEL MONTE NATIVO.....	123
PARTIDO DE VILLARINO	123
PARTIDO DE PATAGONES	125
4.8 EVOLUCIÓN MULTITEMPORAL DEL USO Y COBERTURA DEL SUELO PARA 1975, 2001 Y 2015 EN EL SUR BONAERENSE.....	127
CAPÍTULO: V	136
5. METODOLOGIA DE TRABAJO.....	136
CAPÍTULO: VI	142
6. RESULTADOS.....	142
6.1 INTEGRACIÓN DE LOS SIG CON LAS TÉCNICAS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC)	142
6.1.2 CARTOGRAFÍA OBTENIDA DE LAS ÁREAS VULNERABLES A DEGRADARSE RESULTADO DE LA INTEGRACIÓN DE LAS EMC APLICADAS EN LOS SIG.....	151
6.2.1 IDRISI TERRSET EN EL PROCESO DE PREDICCIÓN DE CAMBIOS APLICANDO EL MÓDULO: “MODELADOR DE CAMBIOS EN EL TERRENO” (LCM)	153

6.2.2 ANÁLISIS DE CAMBIOS DE USOS Y COBERTURAS DE SUELO ENTRE 1975-2015	154
6.2.3 TRANSICIONES POTENCIALES DE CAMBIOS DE USOS Y COBERTURAS DE SUELO	162
6.2.4 CARTOGRAFÍA RESULTANTE DE LAS TENDENCIAS DE LOS CAMBIOS DE USOS Y COBERTURAS DE SUELO PARA EL PERIODO 1975-2015.....	166
6.2.5 PREDICCIÓN DE CAMBIOS Y POSIBLES ESCENARIOS FUTUROS:.....	167
CAPÍTULO: VII.....	175
CONCLUSIONES	175
CAPÍTULO: VIII	178
PROPUESTAS.....	178
RECOMENDACIONES	180
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	181
ANEXOS	198
<u>ANEXO 1</u>: TABLA DE PRECIPITACIONES HISTÓRICAS 1967- 2015	199
<u>ANEXO 2</u>: WORD DEVELOPMENT INDICATORS: RURAL ENVIRONMENT AND LAND USE	200
<u>ANEXO 3</u>: CARACTERÍSTICAS DE LOS SATÉLITES LANDSAT Y SUS DISTINTOS SENSORES	205
<u>ANEXO 4</u>: CLASIFICACIÓN DE LA COBERTURA DEL SUELO DE LA R. A. LAND COVER CLASSIFICATION SYSTEM – FAO. VERSIÓN AGOSTO 2008 OCTUBRE MENDOZA (COMPLETA).....	206
<u>ANEXO 5</u>: GALERÍA DE FOTOS CORRESPONDIENTES AL ÁREA DE ESTUDIO QUE ILUSTRAN LOS EFECTOS DE LA EROSIÓN EÓLICA Y SU RESPECTIVA DEGRADACIÓN.....	213

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1: LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	30
FIGURA 2.2.1: TIPOS DE CLIMAS SEGÚN KÖEPPEN.....	33
FIGURA 2.2.1.2: TIPOS DE CLIMAS SEGÚN THORNTHWAITE.....	35
FIGURA 2.2.2: ISOHIETAS Y DISTRIBUCIÓN DE LAS PRECIPITACIONES EN LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES.....	37
FIGURA 2.3.3: REGIONES FITOGEOGRÁFICAS DE ARGENTINA (CABRERA, 1976).....	42
FIGURA 3.6: FIRMAS ESPECTRALES DE DIVERSAS COBERTURAS DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA.....	69
FIGURA 4.3.1.1: ÓRDENES DE SUELO DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES.....	87
FIGURA 4.3.1.2A: GRANDES GRUPOS DE SUELO DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES.....	89
FIGURA 4.3.1.2B: MAPA DE TEXTURA DE SUELOS DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES.....	91
FIGURA 4.4: MAPA DE RELIEVE OBTENIDO A TRAVÉS DEL MDE, PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES.....	94
FIGURA 4.6.2A: MAPA TEMÁTICO CON LA DISTRIBUCIÓN DE LOS INCENDIOS PARA LAS PROVINCIAS DE LA PAMPA, RÍO NEGRO Y BUENOS AIRES PARA EL PERÍODO 1970-2015.....	105
FIGURA 4.6.2B: MAPA TEMÁTICO QUE MUESTRA LA RECURRENCIA DE INCENDIOS PARA UN ÁREA ESPECÍFICA DEL MUNICIPIO DE PATAGONES.....	110
FIGURA 4.6.3A: MAPA DE LA CUENCA DEL RÍO DESAGUADERO CON UNA LONGITUD APROXIMADA DE 1.498 KM A LO LARGO DE SU CURSO Y RECIBE VARIAS DENOMINACIONES.....	114

FIGURA 4.6.3B: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL COMPLEJO CONFORMADO POR LA LAGUNA “LA AMARGA” Y EL “BAÑADO DE ALONSO”	115
FIGURA 4.7.1A: MONTE PARA EL AÑO 1975 DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES.....	120
FIGURA 4.7.1B: MONTE PARA EL AÑO 1987 DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES.....	121
FIGURA 4.7.1C: MONTE PARA EL AÑO 2002 DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES.....	122
FIGURA 4.7.1D: MONTE PARA EL AÑO 2015 DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES.....	123
FIGURA 4.8A: MAPA TEMÁTICO DE LA COBERTURA DE SUELOS PARA EL AÑO 1975, UTILIZANDO EL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DEL SERVICIO GEOLÓGICO DE LOS ESTADOS UNIDOS (U.S.G.S).....	129
FIGURA 4.8B: MAPA TEMÁTICO DE LA COBERTURA DE SUELOS PARA EL AÑO 2001, UTILIZANDO EL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DEL SERVICIO GEOLÓGICO DE LOS ESTADOS UNIDOS (USGS).....	130
FIGURA 4.8C: MAPA TEMÁTICO DE LA COBERTURA DE SUELOS PARA EL AÑO 2015, DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES APLICANDO EL LCCS (SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE LA COBERTURA DE LA TIERRA) UTILIZADO POR LA FAO.....	131
FIGURA 6.1.1A: MAPA TEMÁTICO DE TEXTURAS DE SUELOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES.....	143
FIGURA 6.1.1B: MAPA DE TEXTURAS DE SUELOS DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES Y GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN EÓLICA.....	144
FIGURA 6.1.1C: MAPA TEMÁTICO DE CLASIFICACIÓN DE UNIDADES GEOEDÁFICAS EN VILLARINO Y PATAGONES.....	145
FIGURA 6.1.1D: MAPA TEMÁTICO DE LA CLASIFICACIÓN DE UNIDADES GEOEDÁFICAS EN VILLARINO Y PATAGONES Y SU GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN EÓLICA.....	147

FIGURA 6.1.1E: MAPA TEMÁTICO DE USO Y COBERTURA DE SUELOS EN VILLARINO Y PATAGONES.....	148
FIGURA 6.1.1F: MAPA DE USO Y COBERTURA DE SUELOS EN VILLARINO Y PATAGONES Y SU GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN EÓLICA.....	149
FIGURA 6.1.1G: CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE SUELOS DESCUBIERTOS PARA EL AÑO 2009 DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES SOBRE IMAGEN SATELITAL LANDSAT 8.....	150
FIGURA 6.1.1H: CARTOGRAFÍA DE CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE SUELOS DESCUBIERTOS PARA EL AÑO 2009.....	151
FIGURA 6.1.2A: MAPA DE ÁREAS DE MAYOR VULNERABILIDAD A DEGRADARSE Y SUELOS EFECTIVAMENTE DEGRADADOS Y/O EROSIONADOS PARA EL AÑO 2009.....	152
FIGURA 6.2.2A: MAPA DE COBERTURA DE SUELOS PARA EL AÑO 1975 AGRUPADAS PARA EL ANÁLISIS DE CAMBIOS DE USOS Y COBERTURAS DE SUELO, PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES.....	155
FIGURA 6.2.2B: MAPA DE COBERTURA DE SUELOS PARA EL AÑO 2015 AGRUPADAS PARA EL ANÁLISIS DE CAMBIOS DE USOS Y COBERTURAS DE SUELO, PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES.....	156
FIGURA 6.2.2C: IMAGEN DE BUFFER DE 100 METROS PARA LOS CAMINOS VECINALES DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES.....	157
FIGURA 6.2.3: MAPA DE TRANSICIONES POTENCIALES PARA EL PERIODO 1975-2015, PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES.....	163
FIGURA 6.2.4: MAPA DE TENDENCIAS AL CAMBIO DE USOS Y COBERTURAS DE SUELO PARA EL PERIODO 1975-2015, PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES.....	167
FIGURA 6.2.5: MAPAS DE PREDICCIÓN DE CAMBIOS DE USOS Y COBERTURAS DE SUELO PARA LOS AÑOS 2020, 2025 Y 2030. PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES.....	168

INDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 2.2.2: DISTRIBUCIÓN DE LAS PRECIPITACIONES DE LA SERIE HISTÓRICA 1967-2015 EN LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES..	36
GRÁFICO 4.6.2A: DISTRIBUCIÓN DE SUPERFICIE AFECTADA POR INCENDIOS EN HECTÁREAS, PERIODO 1970-2015, EN LAS PROVINCIAS DE LA PAMPA, RÍO NEGRO Y BUENOS AIRES.....	107
GRÁFICO 4.6.2B: SUPERFICIE AFECTADA POR INCENDIOS EN HECTÁREAS, PERIODO 1970-2015 EN LOS DISTRITOS DE VILLARINO Y PATAGONES AL SUR DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.....	109
GRÁFICO 6.2.2A: PÉRDIDAS Y GANANCIAS DE LAS DISTINTAS COBERTURAS (1975-2015).....	158
GRÁFICO 6.2.2B: CONTRIBUYENTES AL CAMBIO NETO DE LOS CULTIVOS DE SECANO (1975-2015).....	159
GRÁFICO 6.2.2C: CONTRIBUYENTES AL CAMBIO NETO DE CULTIVOS DE BAJO RIEGO (1975-2015).....	160
GRÁFICO 6.2.2D: CONTRIBUYENTES AL CAMBIO NETO DE LOS PASTIZALES ABIERTOS (1975-2015).....	160
GRÁFICO 6.2.2E: CONTRIBUYENTES AL CAMBIO NETO DE LOS ARBUSTALES ABIERTOS (1975-2015).....	161
GRÁFICO 6.2.3: REPRESENTACIÓN DE LAS TRANSICIONES (CAMBIOS) DE USOS Y COBERTURAS DE SUELOS EN HECTÁREAS PRODUCIDAS DURANTE EL PERIODO 1975-2015 EN LOS MUNICIPIOS DE VILLARINO Y PATAGONES.....	166
GRÁFICO 6.2.5: REPRESENTACIÓN DE LAS PREDICCIONES DE LOS CAMBIOS DE USOS Y COBERTURAS DE SUELO PARA LOS AÑOS 2020, 2025 Y 2030 TOMANDO COMO BASE EL AÑO 2015. SUPERFICIES EN HECTÁREAS. PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES.....	173

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.6.2a: Principales característica de los Satélites 4 y 5 de la Misión Landsat....	74
Tabla 3.6.2b: Características de los canales o bandas espectrales del sensor TM	76
Tabla 3.6.2c: Características de los canales o bandas espectrales del sensor OLI.....	77
Tabla 3.6.2d: Características de los canales o bandas espectrales del sensor TIRS....	77
Tabla 3.8: Programas de SIG libres y sistemas operativos en los que trabaja.....	82
Tabla 3.8.1: Programas de SIG comerciales y sistemas operativos en los que trabaja.	83
Tabla 4.5.1: Leyenda de clasificación de cobertura y uso de la tierra del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (Anderson et al. 1976).....	96
Tabla 4.5.2: Leyenda de clasificación de cobertura de la tierra de FAO (Di Gregorio y Jansen, 2000).....	99
Tabla 4.6.2a: Cuantificación de superficie quemada y número de focos ígneos en los distintos años analizados para las Provincias de La Pampa, Río Negro y Buenos Aires.....	106
Tabla 4.6.2b: Cuantificación de superficie quemada y número de focos ígneos en los distintos años analizados, distritos de Villarino y Patagones, provincia de Buenos Aires.....	108
Tabla 4.7.1.1a: Superficie de Monte para los distintos años en el partido de Villarino.....	124
Tabla 4.7.1.1b: Superficie de Monte para Villarino, Año 2015.....	124
Tabla 4.7.1.1c: Superficie de Monte para los distintos años en el partido de Patagones.....	126
Tabla 4.7.1.1d: Superficie de Monte para Patagones, Año 2015.....	126
Tabla 4.8a: Tipo de coberturas de suelo en el Partido de Villarino para los años 1975 y 2001.....	132
Tabla 4.8b: Tipo de coberturas de suelo en el Partido de Patagones para los años 1975 y 2001.....	133
Tabla 4.8c: Categorías y tipos de cobertura de los suelos Nivel V LCCS, partido de Villarino para el año 2015, provincia de Buenos Aires.....	134

Tabla 4.8d: Categorías y tipos de cobertura de los suelos Nivel V LCCS, partido de Patagones para el año 2015, provincia de Buenos Aires.....135

Tabla 6.1.1a: Textura de suelos de los partidos de Villarino y Patagones y su grado de susceptibilidad a la erosión eólica.....143

Tabla 6.1.1b: Unidades geoedáficas de los partidos de Villarino y Patagones y su grado de susceptibilidad a la erosión eólica.....146

Tabla 6.1.1c: Usos y coberturas de suelos en los partidos de Villarino y Patagones y su grado de susceptibilidad a la erosión eólica.....148

Tabla 6.2.2a: Pérdidas y ganancias de las distintas coberturas de suelo entre 1975 y 2015.....159

Tabla 6.2.2b: Contribuyentes al cambio neto de los Cultivos de secano (1975-2015).....159

Tabla 6.2.2c: Contribuyentes al cambio neto de los Cultivos bajo riego (1975-2015).....160

Tabla 6.2.2d: Contribuyentes al cambio neto de los Pastizales abiertos (1975-2015).....161

Tabla 6.2.2e: Contribuyentes al cambio neto de los Arbustales abiertos (1975-2015).....162

Tabla 6.2.3: Transiciones (cambios) de usos y coberturas de suelo en hectáreas producidas en el periodo 1975-2015 en los Partidos de Villarino y Patagones.....164

Tabla 6.2.5: Predicciones de los cambios de los usos y coberturas de suelo para los años 2020, 2025 y 2030 tomando como base el año 2015 con superficies en hectáreas para los partidos de Villarino y Patagones.....172

SIGLAS, UNIDADES Y ACRÓNIMOS

AHP	(Análisis Jerárquico de Procesos)
ALS	(Escaner Laser Aerotransportado)
AM	(Análisis Multicriterio)
Cab/ha	(Cabezas por hectáreas)
CORFO	(Corporación de Fomento del Río Colorado)
DEM	(Modelo de Elevación del Terreno)
EMC	(Evaluación Multicriterio)
ERTS	(Earth Resource Technology Satellite)
ESRI	(Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales)
ETM+	(Enhanced Thematic Mapper Plus)
FAO	(Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)
GLASOD	(Evaluación Mundial de la Degradación de los Suelos)
GNU	(Licencia General Pública)
GRASS	(Sistema de Apoyo para el Análisis de los Recursos Naturales)
GPS	(Sistema de Geoposicionamiento Global)
gvSig	(Generalitat Valenciana Sistema de Información Geográfica)
ILWIS	(Sistema Integrado de Información sobre Tierras y Agua)
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria)
INS	(Sistema de Navegación Inercial)
LCCS	(Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra)
LDCM	(Misión de Continuidad de la Información Landsat)
LIDAR	(Light Detection and Ranging)
MDE	(Modelo Digital de Elevaciones)

Mg/m³	(Miligramos por metro cúbico)
µm	(Micrones)
mm; mm/h	(Milímetros); (Milímetro por hora)
MSS	(Multispectral Scanner)
NASA	(Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio)
OLI	(Generador Operacional de Imágenes de Tierra)
OMM	(Organización Meteorológica Mundial)
OsGeo	(Open Surce Geoespatial Foundation)
PNUMA	(Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente)
PROISUS	(Proyecto de Indicadores de Sustentabilidad)
RIAN	(Red de Información Agronómica Nacional)
RIOD-MEX	(Red Mexicana de Esfuerzos contra la Desertificación y la Degradación de los Recursos Naturales)
USLE	(Ecuación Universal de Pérdida de Suelos);
RUSLE	(Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada)
SAR	(Radar de Apertura Sintética)
SEMARNAT	(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales)
SIG; SIT	(Sistema de Información Geográfico); (Sistema de Información Territorial)
SPRING	(Sistema de Procesamiento de la Información Georreferenciada)
SRTM	(Sistema Radar para la Misión Topográfica)
TIN	(Triangulación Irregular Network)
TIRS	(Sensor Infrarrojo Térmico)
UNCCD	(Conferencia de Naciones Unidas para Combatir la Desertificación)
USGS	(Servicio Geológico de los Estados Unidos)
VBRC	(Valle Bonaerense del Río Colorado)

“INTEGRACIÓN POR MEDIO DE GEOTECNOLOGIAS DE LA INFORMACIÓN AMBIENTAL EN ESTUDIOS DE DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS PARA LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES, PROVINCIA DE BUENOS AIRES-ARGENTINA”.

Capítulo: I

INTRODUCCIÓN:

El suelo puede definirse, de acuerdo con el glosario de la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (1984), como el material mineral no consolidado en la superficie de la tierra, que ha estado sometido a la influencia de factores genéticos y ambientales, material parental, clima, microorganismos y topografía, actuando durante un determinado periodo. Es considerado también como un cuerpo natural involucrado en interacciones dinámicas con la atmósfera y con los estratos que están debajo de él y sirve como medio de crecimiento para los diversos organismos. (Soil Science Society of America, 1984)

El suelo es uno de los entes naturales, dinámico y vivo, que juega un papel importante en los ecosistemas terrestres. Entre los componentes del suelo se incluyen materiales inorgánicos, materia orgánica, agua, gases y organismos vivos. A nivel de sistemas naturales se reconoce la importancia del rol del suelo, especialmente en la calidad, en la productividad y en el mantenimiento del ecosistema. La calidad del suelo se basa en la capacidad de funcionar en un ecosistema dado, manteniendo la productividad biológica, la calidad ambiental, promoviendo la salud de las plantas y animales.

Uno de los problemas fundamentales de los distintos tipos de suelos es su degradación; y se produce cuando se realiza alguna práctica agrícola inadecuada, por el uso de agua de baja calidad para riego, por extremas condiciones climáticas, por el abuso de plaguicidas y herbicidas. En gran medida, este deterioro se encuentra asociado a la falta de conocimiento sobre el papel ambiental que juega el suelo, así como de los límites para su aprovechamiento en función de sus aptitudes y acerca de las técnicas apropiadas para que pueda ser sustentable. Este desconocimiento se traduce, entre otros aspectos, en la falta de políticas de usos del suelo y en prácticas, que lejos de contribuir a su protección, aceleran su degradación, sin tener en cuenta que la pérdida de las características óptimas de los suelos puede ser irreversible.

Cuando las condiciones climáticas adoptan particularidades específicas como por ejemplo: precipitaciones escasas o por debajo de la media anual, fuertes vientos, baja humedad del suelo y del ambiente, y se reduce o pierde cobertura vegetal, que es la principal encargada de fijar y retener el suelo, y en consecuencia de ello, se originan episodios de erosión tanto eólica como hídrica.

PROBLEMÁTICA:

A través del tiempo se ha comprobado que las actividades humanas han modificado radicalmente la configuración de la cubierta natural de las tierras de mundo. A partir de la llegada de los europeos a América, se comenzó a generar cambios en los atributos estructurales de los paisajes, principalmente en relación con los regímenes de perturbaciones que implican un cambio en el patrón del uso de los recursos nativos. Extensas áreas de bosques naturales fueron despejados y transformado para abrir espacio a la agricultura. En el área de estudio, el ganado doméstico se introdujo y la ganadería se convirtió en una actividad central en áreas de secano (principalmente cabras y ovejas) y bosques de prosopis (algarrobo) se convirtieron en la principal fuente de forraje para el ganado (Vilela, *et al*, 2009).

En Argentina, a principios del siglo XX, el hombre comenzó la sobreexplotación de los bosques de prosopis y bulnesia (retama) por las enormes cantidades de madera y la leña que se requerían para la construcción de ferrocarriles. Al mismo tiempo, se introdujeron especies exóticas y se establecieron cultivos perennes y anuales en un área de aproximadamente 400.000 hectáreas de oasis irrigados.

En general, a medida que se incrementan y modifican los atributos del suelo principalmente en zonas que presentan característica de fragilidad, como las zonas con climas áridos, semiáridos y subhúmedos, este se comienza a degradar dejándolo reducido en nutrientes y en materia orgánica que lo hacen cada vez menos productivo siendo la consecuencia inmediata la aparición de áreas desertificadas

En el mundo, la zona de tierra libre de hielo ocupa un total de 13.000 millones de hectáreas; de éstas, el 11% están cultivadas, el 24% corresponde a pastos permanentes y el 31% es zona forestal. De un total de 3.200 millones de hectáreas de tierra cultivable, se

cultivan actualmente unos 1.475 millones. Pero a pesar de las presiones para incrementar la producción de alimentos en los países en desarrollo, el avance es lento: entre 1977 y 1988 la extensión de tierra cultivada aumentó en sólo un 4%, la superficie de pastizales permanentes se mantuvo prácticamente igual y las zonas forestales se redujeron en un 3,5%. (Tolba, M. 1992)

El suelo es la base misma de la productividad alimentaria, una gestión inadecuada sobre las tierras cultivables provoca su destrucción. El suelo tarda miles o incluso millones de años en formarse, y uno o dos años en destruirse. Las causas principales de su degradación son: la acción de dejar el terreno raso durante períodos críticos del ciclo agrícola, cuando el viento y la lluvia pueden producir pérdidas devastadoras, y la explotación excesiva de tierras marginales, que expone suelos delgados e inestables a los efectos de la erosión ya sea eólica o hídrica. El resultado de ello es que más de 25.000 millones de toneladas de material se saca de las tierras de cultivo cada año, además del que se pierde inevitablemente por la erosión natural (Bonfils, *et al.*, 1960). En los Estados Unidos, el 44% de las tierras de cultivo están afectadas por la erosión del suelo; en El Salvador, el 77% de las tierras están erosionadas; y el 38% de los campos del Nepal tuvieron que ser abandonados a causa de la degradación del suelo.

Una reciente Evaluación Mundial de la Degradación de los Suelos (GLASOD), realizada por el Centro Internacional de Consulta e Información sobre Suelos en los Países Bajos, estima que el 15% de las tierras del planeta han sido objeto de degradación por actividades humanas. De este 15%, el 55,7% ha sido consecuencia de la erosión hídrica, el 28% de la eólica, el 12,1% de procesos químicos (como por ej. la salinización producida por un ineficiente manejo del agua para riego) y el 4,2% procesos físicos que dan como resultado unas tierras anegadas, compactadas y hundidas. Las causas de esta degradación se dividen entre el pastoreo excesivo (34,5%), deforestación (29,5%), actividades agrícolas (28,1%) y sobre explotación (7%) (Gutman, P. 1988).

Las zonas más afectadas del mundo son las de tierras áridas y semiáridas, que cubren el 47% de la superficie terrestre. En estas zonas de degradación de la tierra causada por la acción humana se produce un fenómeno de desertificación, un término usado no para describir la propagación de los desiertos sino su creación. La desertificación afecta al 47% de las tierras de cultivo de secano, el 23% de los paisajes de pastizales y el 30% de las tierras de

regadío en las zonas de tierras áridas por acción antrópica. Todo ello ha arruinado las actividades de cientos de millones de pequeños agricultores (Gutman, P. 1988).

México, es uno de los países con un panorama grave de desertificación debido a que existen unas 120 millones de hectáreas dañadas, de las cuales, 90 millones tienen pérdidas sustanciales de productividad; sumado a ello; para cada año se deforestan 500 mil hectáreas. La Red Mexicana de Esfuerzos contra la Desertificación y la Degradación de los Recursos Naturales (Riod-Mex) sostiene en un análisis que 64% de los suelos del país muestran algún tipo de degradación y erosión en diferentes niveles, y los indicadores demuestran que este proceso avanza. Pese a la magnitud del problema, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) sólo considera un programa de conservación de suelos forestales, que dispone de un presupuesto equivalente al 0.0002 por ciento del monto asignado al campo y es destinado a 30 mil hectáreas tratadas¹. También preocupa que la autoridad sólo emprenda acciones en zonas forestales y olvide las tres cuartas partes del territorio, y que, prácticamente, no se aplique un enfoque preventivo.

La Argentina tampoco es ajena al problema de degradación de sus suelos. Se estima que un 35% del territorio está afectado por procesos de erosión hídrica y eólica lo cual representa unas 100 millones de hectáreas degradadas. La erosión hídrica es la que más creció en este último cuarto de siglo, duplicándose, con un incremento de 35 millones de hectáreas, mientras que el crecimiento de los procesos eólicos fue algo menor, aunque importante en términos absolutos (13 millones de hectáreas más de suelos erosionados). (Casas, R. 2015).

A raíz de estos aportes surge la necesidad de contar con información de los distintos parámetros que hacen a los procesos productivos de los sistemas agrícola-ganaderos, a la dinámica alteración de los recursos naturales, y a los aspectos socio-económicos, que demandan el desarrollo de un Sistema de Información Geográfico (SIG) como marco receptor, integrador y ordenador de la información ambiental de nuestro país (De Fina, A., 1992).

La investigación desarrollada en el presente trabajo se llevó a cabo dentro de los partidos de Villarino y Patagones situados en el sur bonaerense. Es una región considerada como una zona rural árida particularmente vulnerable a las variaciones climáticas y con

¹ "lo que resulta prácticamente insignificante, frente a la magnitud del problema de ese país, del orden de 120 millones de hectáreas"

importante fragilidad de sus suelos. Ambos partidos tienen características edáficas y climáticas de semiáridéz. Desde el punto de vista meteorológico, esta región no posee límites definidos, ni precisos y menos estáticos, estos confines están asociados a un régimen de lluvias que tiene grandes variaciones en el tiempo, ya sea dentro de un año, entre años y en distintos períodos plurianuales (Viglizzo, R. 1991). Hay fuertes oscilaciones de las precipitaciones evidenciándose años de abundantes lluvias y otros años con escasas precipitaciones. Casagrande y Vergara en 1996 realizaron un estudio comparativo entre el periodo que se extiende de 1911-1980 y el periodo siguiente comprendido entre 1981 y 1994 donde determinaron que en este último periodo citado hubo un desplazamiento hacia el sudoeste de la isohieta de 600 mm de 50 km aproximadamente (Casagrande, G. y Vergara, T, 1996). Este corrimiento es producto del aumento de las precipitaciones en relación a la media histórica.

En la presente investigación se intentará estimar las áreas proclives o vulnerables a la de degradación producida por erosión eólica y de los procesos derivados de ella, utilizando técnicas de análisis multicriterio y poder establecer predicciones del avance de la frontera agrícola para tres momentos futuros. Para ello se planteó la siguiente hipótesis que guiará toda esta investigación: **“La aplicación de geotecnologías permiten detectar y evaluar con elevada precisión y prever alteraciones en el sistema ecológico, fundamentalmente en aquellos sectores que se caracterizan por una notable limitación de las posibilidades de las tierras, resaltando una serie de factores físicos y químicos desfavorables, que darán como resultado a largo plazo una alteración de las condiciones naturales por el inadecuado manejo del recurso suelo”**

Con la finalidad de incrementar la capacidad de planificación del manejo de los recursos naturales y las diferentes alternativas de producción se plantea el siguiente objetivo general: **“Elaborar herramientas cartográficas analógicas y digitales que permitan la detección con precisión de cambios medioambientales originados en los diferentes usos y coberturas del suelo, para facilitar el conocimiento de la región y dinamizar el desarrollo local a través de la generación de documentación apropiada para facilitar la transferencia de tecnologías a los actores de la zona, orientadas a sostener el mayor beneficio económico sin degradar el recurso suelo”.**

Para lograr dicho **objetivo** es necesaria la utilización de un modelo de predicción. Este modelo permite establecer a corto, mediano y largo plazo cuáles son y serán las zonas más propensas a sufrir la degradación de los suelos siempre que se den las condiciones ambientales de una sequía prolongada por varios años y vientos fuertes que ayudan a que aumenten la erosión de los mismos.

Como **objetivos específicos** se plantean: determinar los factores físico-ecológicos y socio-productivos que influyen en la desertificación, establecer una ponderación para cada uno de los factores identificados como indicadores de la degradación; poder detectar cambios en el paisaje a través de la utilización de técnicas de percepción remota para cuantificar la dimensión de las áreas degradadas en el área de estudio; detectar y cartografiar las unidades de suelo destacando las que presenten condiciones de fragilidad y deterioro de los mismos; analizar la relación hombre con el paisaje y los suelos para entender la evolución del medioambiente que lo rodea y formular una metodología para medir, predecir y vigilar la degradación de los suelos.

Para ello se empleó la **metodología** de análisis multicriterio donde se le asignan valores de importancia a los diferentes factores involucrados en el proceso degradatorio. Se aplica el uso del SIG, el cual es un sistema que permite la integración organizada de hardware, software y datos geográficos, diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada y actualizables provenientes de imágenes satelitales, censos, relevamientos y muestreos a campo, con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión. Las imágenes satelitales proporcionan información relacionada con el uso y cobertura de la tierra como también la distribución espacial de las unidades homogéneas del suelo y de la vegetación.

Para el área objeto de estudio, se cuenta con registros históricos pluviométricos de varios puntos de la zona y principalmente de la línea de ferrocarril. Esto constituye un aporte invaluable para entender los pulsos secos y húmedos, y como ha sido el aumento de la precipitación a nivel de la región. Se analizó la serie pluviométrica desde 1967 al 2015 (Fuente: estación meteorológica de EEA H. Ascasubi), siendo el promedio anual de 494 mm. Dentro de los pulsos secos, se trabajó con el período comprendido entre el 2005 al 2009,

periodo en el cual, en gran parte de la región pampeana, se produjo una sequía denominada agrícola, muy marcada (Pezzola, A. *et al.* 2009), y se alteró el balance hídrico anual debido a su duración prolongada. El deterioro de los suelos se ve favorecido principalmente por: las condiciones climáticas con marcados periodos de sequía-áridéz, y por las actividades agrícolas-ganaderas que el hombre realiza, como por ejemplo el sobrepastoreo y el mal uso y manejo de las herramientas para cultivar el suelo mediante siembras tradicionales². Estas prácticas son poco adecuadas para la región semiárida a lo que se suma al avance sobre la vegetación originaria (desmonte), donde se aumenta la posibilidad de que los suelos se erosionen por acción de los vientos. Un ejemplo de ellos es la realización de barbechos para la siembra de trigo y avena, los cuales son suelos roturados quedando desnudos y sin cobertura, (Agamennoni, R. 1996). Estos suelos desnudos (sin cobertura vegetal) quedan expuestos a los vientos semipermanentes del oeste y del noroeste a una velocidad promedio de 8,6 a 14.5 km/h con ráfagas muy superiores a los mismos, aumentando su intensidad en el periodo más crítico de primavera – verano; a ello, se le suman los periodos de baja concentración de lluvias, originándose de esta manera, la combinación ideal para potenciar la erosión de los suelos.

Todas estas causas llevan al inicio de la pérdida de estructura y fertilidad de los suelos jóvenes de esta región, iniciando un proceso de erosión que se encaminara hacia una desertificación. En resumen, los principales vectores para esta acción de erosión bioclimática son:

- Avance de la frontera agrícola
- Conversión en pastizales (desmonte ganadero)
- Ganadería de monte (Sobrecarga del sistema)
- Explotación forestal (extracción de leña)
- Incendios forestales-rurales
- Manejo inadecuado de los sistemas productivos propios de zonas semiáridas (agricultura y ganadería).
- Época e intensidad de los laboreos inadecuados
- Ineficiencia del riego

² Pasada de una rastra pesada para quitar toda la cobertura del suelo y dejarlo así expuesto a la acción erosiva del viento, para posteriormente ser sembrado

En resumen:

HIPOTESIS DE TRABAJO

La aplicación de geotecnologías permiten detectar y evaluar con elevada precisión y prever alteraciones en el sistema ecológico, fundamentalmente en aquellos sectores que se caracterizan por una notable limitación de las posibilidades de las tierras, resaltando una serie de factores físicos y químicos desfavorables, que darán como resultado a largo plazo una alteración de las condiciones naturales por el inadecuado manejo del recurso suelo

OBJETIVO GENERAL

Elaborar herramientas cartográficas analógicas y digitales que permitan la detección de cambios medioambientales originados en los diferentes usos y coberturas del suelo, para facilitar el conocimiento de la región y dinamizar el desarrollo local a través de la generación de documentación apropiada para facilitar la transferencia de tecnologías a los actores de la zona, orientadas a sostener el mayor beneficio económico sin degradar el recurso suelo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

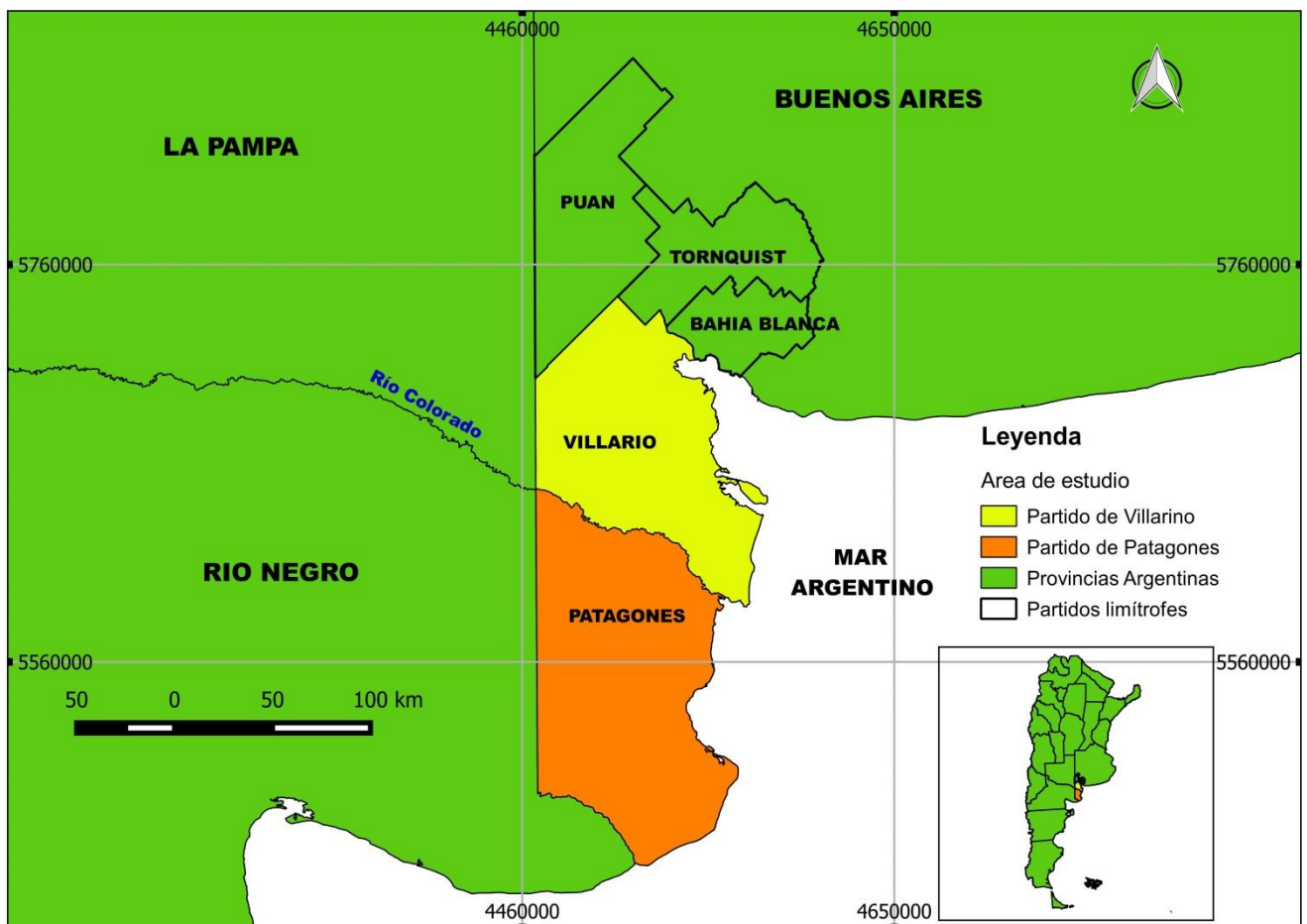
- Utilizar técnicas de percepción remota para la determinación de los cambios en el paisaje.
- Obtener cartografía temática referida a los cambios medioambientales ocurridos en la zona de estudio y relacionados a los distintos usos y coberturas del suelo.
- Formular una metodología para medir, predecir y vigilar la degradación de los suelos.
- Detectar y cartografiar las unidades de suelo destacando las que presenten condiciones de fragilidad y deterioro.
- Detectar y cuantificar la dimensión de las áreas degradadas.
- Analizar la relación sociedad-naturaleza para comprender los diferentes procesos de apropiación del espacio y sus consecuencias en relación con la degradación y pérdida de sustentabilidad de los suelos.

Capítulo: II

2.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:

El área de estudio se localiza en la República Argentina al Sur de la provincia de Buenos Aires y abarca los partidos de Villarino y Patagones, situados entre los paralelos de $38^{\circ} 28' 38.17''$ y $41^{\circ} 04' 00''$ latitud Sur y entre los meridianos de 62° y $63^{\circ} 22' 36.18''$ longitud Oeste. Limita al Este con el Mar Argentino, al Noreste con los partidos de Bahía Blanca y Tornquist, al Norte con el partido de Púan y al Oeste con las provincias de La Pampa y Río Negro. El Río Colorado es uno de los cauces principales, y atraviesa esta zona en sentido Noreste a Sureste sirviendo como límite natural entre los distritos de Villarino y Patagones. Otros de los ríos importantes es el Río Negro ubicado al sur del distrito de Patagones (figura: 2.1).

FIGURA 2.1: LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Elaboración propia a través de cartografía brindada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN)

El sur bonaerense está inserto en la inmensa llanura pampeana que cubre una porción de nuestro país. Presenta condiciones naturales homogéneas caracterizadas por ausencia de fuertes contrastes en su topografía, pero con diferencias climáticas que oscilan desde el norte del partido de Villarino hasta el límite sur del partido de Patagones. Esto se refleja por una progresiva aridez que alcanza rasgos netamente patagónicos en las proximidades del río Negro. En esta zona se comienza a esbozar la meseta patagónica cortada por los ríos Colorado y Negro. (Capelli de Steffens, A. *et al.* 1994). Desde el punto de vista fitogeográfico, está ubicada en la provincia del Espinal distrito del Caldén y provincia del Monte (Cabrera, A. 1951).

Desde el punto de vista fisiográfico, en ambos partidos del sur bonaerense se pueden identificar tres zonas bien definidas con sus características particulares: el área de secano de Villarino, el área bajo riego del valle bonaerense del río Colorado (conformada por superficie de ambos distritos) y el área de secano de Patagones. La primera zona se encuentra surcada por dos cadenas medanosas que van en dirección NW-SE y E-W, las cuales presentan cierto grado de actividad en su trayectoria y posee grandes áreas planas cultivables. La segunda fue muy modificada por el río Colorado, generando planos aluviales de inundación en los cuales se han depositado, conforme sucedieron las inundaciones, los diferentes estratos transportados por el río. En el caso de Patagones, se observa claramente la ingresión por el oeste de las estribaciones de las terrazas patagónicas, casi cubiertas por monte natural y una gran área plana hacia el este de forma longitudinal que recorre el partido de norte a sur. En todos los casos se trata de planicies sólo interrumpidas por suaves ondulaciones medanosas o calcáreas, pero en ningún caso alcanzan alturas importantes. También existe influencia marina en la fisiografía, en especial en el área bajo riego con la presencia de la terraza baja marina, la cual confluye con la terraza aluvial generada por el río.

La pendiente general del área se manifiesta de Oeste a Este a partir de la cota de los 30 m a menos de 10 m sobre el nivel del mar, en una distancia de 80 km, hecho que trae aparejado problemas de drenaje como resultado de la escasa velocidad que puede llegar a adquirir el agua del subsuelo en los canales de drenaje del área bajo riego. El nivel del plano freático es relativamente profundo en el área de secano de ambos partidos y de 1.2 a 1.4 m de profundidad en el área bajo riego, lo cual genera procesos degradatorios por salinización.

Desde el punto de vista climático es una zona semiárida. Está situada al final de la llamada Diagonal Árida Sudamericana que se extiende desde Ecuador hasta la costa Atlántica de la Patagonia y está caracterizada por una precipitación anual menor de 500 mm.

El clima tiene una influencia directa en el desarrollo de la vegetación. Dicha área queda comprendida en la franja zonal de climas templados, con valores anuales de temperatura comprendidos entre 14° y 20°, con estaciones térmicas bien diferenciadas: veranos e inviernos rigurosos y primaveras y otoños intermedios. En estas zonas donde existe una alternancia permanente de masas de aire de distinta índole, la característica esencial es la variedad en las condiciones del tiempo, hecho que se pone de manifiesto en todas las estaciones del año. Las lluvias no siempre son suficientes para los cultivos sin riego, esto le otorga una característica de subhúmedo, variedad de clima templado, llamado también de transición (Capelli de Steffens, *et.al*, 1994).

El clima templado de transición tiene su origen en el desplazamiento de grandes masas de aire que surgen de los centros de acción del hemisferio Sur, éstos son los anticiclones semipermanentes del Atlántico y anticiclón semipermanente del Pacífico, constituyendo estos los grandes motores que gobiernan la circulación atmosférica en latitudes medias. La masa de aire “cálida y húmeda” surge del anticiclón del Atlántico penetrando y expandiéndose en forma de abanico sobre la porción nororiental del país y es responsable de la mayor parte de las precipitaciones que se registran en el litoral, llanura pampeana y norte del país. A medida que estos vientos penetran hacia el interior descargan su humedad de manera que al llegar al Sur de la provincia de Buenos Aires se presentan como vientos cálidos y con un contenido de vapor de agua muy inferior al original (*et al*, 1994).

Del Pacífico austral proviene el gran flujo zonal del Oeste que recorre la Patagonia y hace sentir su influencia hasta aproximadamente los 35° de latitud sur. Este al transponer el cordón andino adquiere un carácter netamente continental, llega frío y muy seco. Durante el verano esta corriente de aire es portadora del polvo en suspensión, lo que torna más desecante su efecto y mayor su poder erosivo. El avance o penetración de la masa de aire no reviste límites precisos, pero genera en relación con la Cordillera de los Andes y la baja térmica del Noroeste: “la Diagonal Árida Argentina” que comprende el norte del Perú-sur del Ecuador hasta las costas patagónicas en el Atlántico, entre la desembocadura de los ríos Colorado y

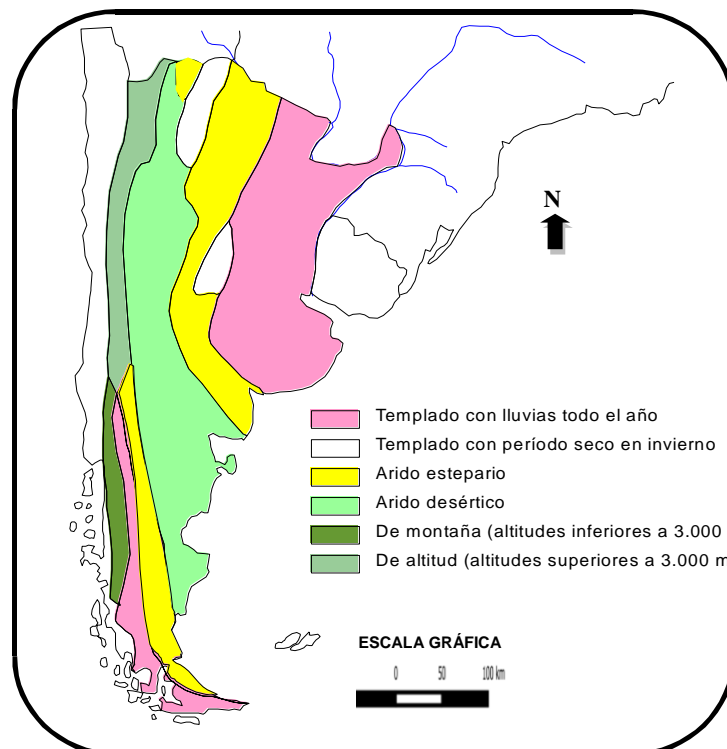
Negro. De acuerdo a las variaciones anuales de temperatura se observan características relativamente continentales.

2.2 Descripciones agro-meteorológicas de la zona de estudio

2.2.1 Clasificaciones climáticas según Köeppen y Thornthwaite

Al estudiar las diversas clasificaciones climáticas universales encontramos la realizada por Köeppen que es la que mejor se adapta para nuestra área debido a que se fundamenta en los valores de temperatura, precipitación y considera indirectamente evaporación y vegetación. Delimita las regiones hídricas mediante fórmulas empíricas que se basan tanto en los promedios anuales de dichos elementos, como en sus variaciones estacionales. Nuestra amplia región se clasifica y considera como dentro de un clima árido estepario y lo podemos observar en el siguiente mapa climático (**figura 2.2.1**) (García, C. 1967). Esta clasificación se utiliza como criterio para poder determinar con más exactitud el grado de aridez y humedad de una región.

FIGURA 2.2.1: TIPOS DE CLIMAS SEGÚN KÖEPPEN



Fuente: Caracterización edafoclimática del área de influencia del INTA E.E.A Hilario Ascasubi. Partidos de Villarino y Patagones, Pcia. de Buenos Aires. Sánchez, R.; Pezzola, N.; Cepeda, J. 1998.

Otra clasificación que también es utilizada habitualmente es la propuesta por Thornthwaite. Él es quien propuso una clasificación climática basada en la distribución hídrica y térmica, teniendo en cuenta que estos son elementos que determinan principalmente la vida vegetal, para ello deben calcularse los Índices de Aridez y de Humedad. Se utilizó información meteorológica del INTA EEA Hilario Ascasubi y se calculó el Índice de Aridez y de Humedad según la metodología de Thornthwaite.

El cálculo del Índice de Aridez se realizó de la siguiente manera:

$$\text{Índice de Aridez} = \frac{100 \times \text{Deficiencia de agua}}{EP \text{ Ajustada}}$$

$$\text{Índice de Aridez} = \frac{100 \times 248}{726} = 34,15$$

$$\text{Índice de Humedad} = \frac{100 \times \text{Exceso de agua} - 60 \times \text{Deficiencia de agua}}{EP \text{ Ajustada}}$$

$$\text{Índice de Humedad} = \frac{100 \times 14.880}{720} = -20,36$$

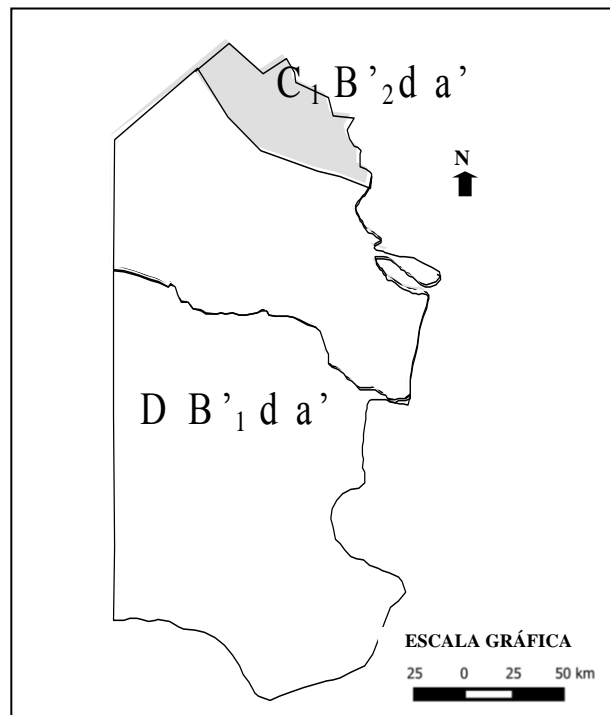
Índice de Aridez: superior 33,3 = S2 Gran deficiencia de agua en verano

Índice de Humedad: -40 a -20 = D Semiárido

La clasificación climática de acuerdo con el sistema que propone Thornthwaite para la región (**figura 2.2.1.2**), considera los tipos de clima como:

- **C₁ B'₂ d a'**: Seco subhúmedo (C₁), mesotermal (B'₂), sin ningún exceso de agua (d), y concentración de verano de la eficiencia termal. 48%. (a'). Corresponde sólo al noreste del partido de Villarino.
- **D. B'₂ d a'**: Clima semiárido (D), mesotermal sin ningún exceso de agua B'₂ concentración de verano de la eficiencia termal. 48%. (a'). Corresponde a la zona sur y oeste del área en estudio.

FIGURA 2.2.1.2: TIPOS DE CLIMAS SEGÚN THORNTHWAITE



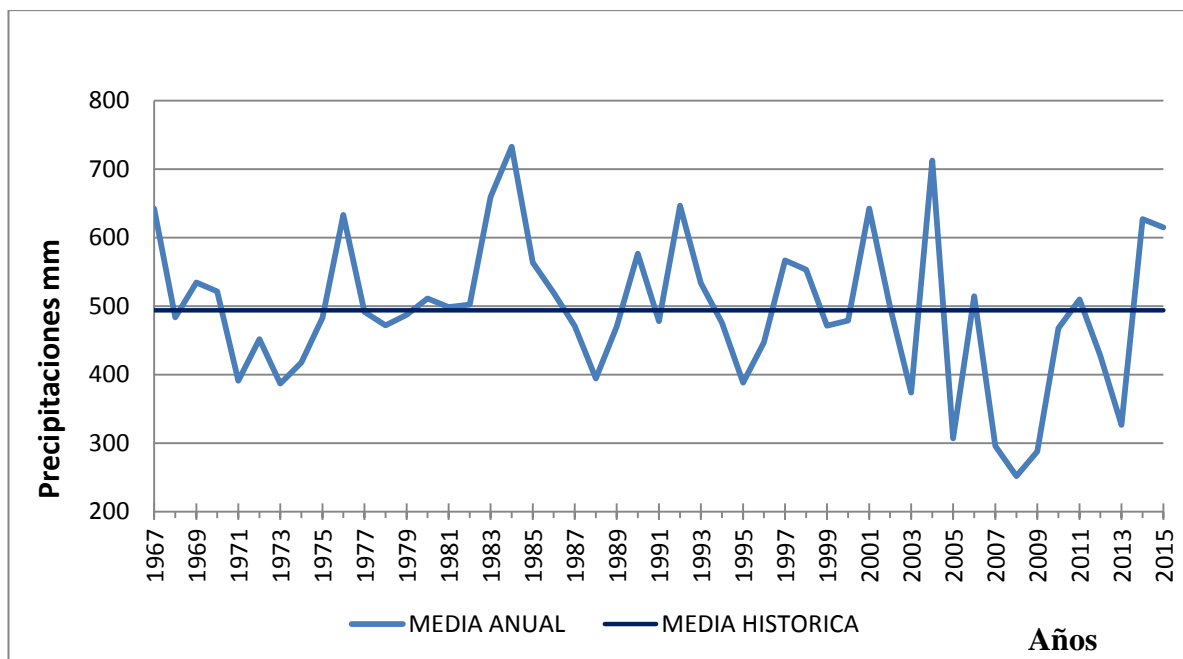
Fuente: Caracterización edafoclimática del área de influencia del INTA Hilario Ascasubi. *E.E.A Hilario Ascasubi. Partidos de Villarino y Patagones, Pcia. de Buenos Aires. Sánchez, R.; Pezzola, N.; Cepeda, J. 1998.*

2.2.2 Distribución de la precipitación y su importancia para las actividades agrícolas

La precipitación constituye un elemento climático meteorológico de gran importancia desde el momento que interviene en todos los procesos de climatología. Se fundamenta en un criterio esencial de los sistemas de clasificación de los climas y se presenta como un elemento de gran aplicación y utilidad en todas las actividades humanas. (Galmarini, A., *et.al.* 1964).

El área de Agrometeorología del INTA Hilario Ascasubi cuenta con datos de precipitaciones históricos desde 1967 hasta la actualidad. En el análisis de la serie 1967-2015 se consideraron las medias de precipitaciones anuales y media histórica (**gráfico 2.2.2**). En dicho gráfico se observa que existen períodos de años donde las precipitaciones se encuentran por encima de la media histórica y otros períodos donde está muy por debajo de la media histórica. Para el interés de esta investigación se enfocó con los datos de precipitación desde el 2005 al 2010 periodo en el cual se produjo una sequía prolongada durante esos años.

GRÁFICO 2.2.2: DISTRIBUCIÓN DE LAS PRECIPITACIONES DE LA SERIE HISTÓRICA 1967-2015 EN LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES

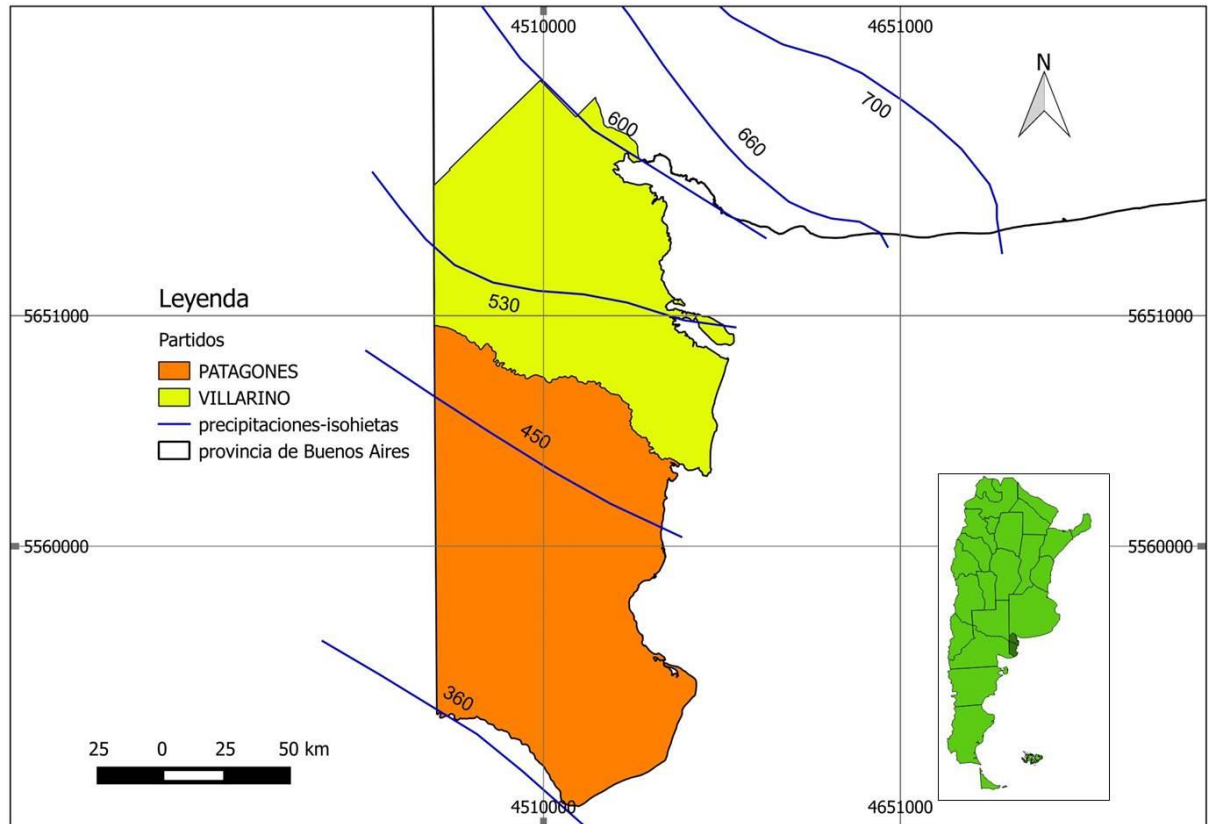


Fuente: elaboración propia a través de información climática brindada por el Téc. Jorge Cepeda perteneciente al área de Agrometeorología del INTA de Hilario Ascasubi

En cuanto a la distribución mensual de las lluvias, la mayor ocurrencia se produce entre los meses de febrero/ marzo y una menor pluviometría se origina entre junio / julio.

La región es cruzada transversalmente por cuatro isohietas, ellas son: la de 600 mm al norte del partido de Villarino, la de 530 mm cercana a la localidad de Mayor Buratovich y la de 450 mm está cercana a la localidad de Villalonga (entre estas dos localidades queda comprendida el área irrigada) y la de 360 mm al sur en el partido de Patagones, esto constituye una reducida dotación de agua generando una limitante importante para la producción agropecuaria (Pérez, S., *et. al.* 2003). Se observa muy claramente, siguiendo el sentido sur, que en pocos kilómetros hay una gran reducción de precipitaciones. Las lluvias anuales disminuyen desde el norte hacia el sudoeste (**figura 2.2.2**).

FIGURA 2.2.2: ISOHIETAS Y DISTRIBUCIÓN DE LAS PRECIPITACIONES EN LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES



Fuente: elaboración propia a través de información climática brindada por el Téc. Jorge Cepeda perteneciente al área de Agrometeorología del INTA de Hilario Ascasubi

2.2.3 El viento como principal agente climático erosivo y modelador del suelo

El viento es otro de los elementos climáticos muy importante que interviene como factor esencial en la caracterización de los climas. Resulta debidamente determinado por el conocimiento de su velocidad y dirección en los problemas de la climatología física, la dirección posee frecuentemente mayor importancia que la velocidad: en cambio esta última encuentra más aplicación general en las caracterizaciones bioclimáticas (Galmarini, A., *et al.* 1964). El viento originado en un proceso macro o mesoclimático³ de la presión atmosférica adquiere en la capa baja de la atmósfera características muy particulares,

³ El mesoclima abarca las modificaciones locales que sufren los macroclimas a través de la alteración de varios de sus elementos, es decir, el efecto del clima local debido a las influencias meteorológicas sobre un área relativamente extensa que puede oscilar entre pocos kilómetros cuadrados y 100 kilómetros cuadrados. Implica la modificación de ciertos factores por condiciones geográficas particulares, tales como la latitud, altitud, pendientes del terreno, fondos de valles, proximidades a masas de agua o forestales, continentalidad, o vientos dominantes, etc.

qué dependen de las condiciones de la superficie terrestre. Este influye en la transpiración de las plantas, en la evapotranspiración y en la evaporación de las superficies libres de agua; hace posible el traslado del polen, insectos, semillas, difusión de enfermedades, incendios, etc. Su importancia reside en que sus efectos nocivos se hacen sentir particularmente en las regiones áridas y semiáridas, porque contribuye a aumentar la evaporación y en las zonas de regadío a disminuir la eficacia del riego. Es un factor predominante en la manifestación de la erosión eólica; actúa por su velocidad, frecuencia y dirección (Armbrust, D. 1984).

Para el área en estudio la erosión eólica es uno de los peligros ante los cuales debe enfrentarse el productor agropecuario; esto se debe a que es una zona ventosa y a que cuenta que más del 60% de la región está cubierta por materiales de textura fina. Predominan vientos provenientes del sector SW, NW y W. Estos vientos son continentales secos y determinan situaciones de estrés hídrico sobre todo en los meses de verano. Los suelos están compuestos principalmente por arenas y limos, y son de textura arenosa y franca arenosa, muy sueltos y susceptibles a la erosión eólica e hídrica. Se estima que una velocidad de 13 km/h es suficiente para provocar erosión en aquellos suelos cuya estructura está alterada y si éstos están desprovistos de vegetación, pueden producirse voladuras con vientos de 5 km/h. Por el contrario, suelos bien agregados soportan sin modificarse vientos superiores a los 60 km/h. La duración del proceso erosivo del viento está también en relación directa con su dirección más frecuente, pues algunos rumbos son más erosivos que otros (FECIC, 1988).

2.3. Descripción de la vegetación nativa

2.3.1 Provincia fitogeográfica del Espinal

La provincia fitogeográfica del Espinal es también conocida como “bosque pampeano”, se extiende como un arco desde Corrientes, el norte de Entre Ríos, y las regiones centrales de las provincias de Santa Fe, Córdoba y La Pampa; centro-sur de la provincia de San Luis, sudeste de la provincia de Buenos Aires y una pequeña extensión de Río Negro. Una fracción de esta provincia son los bosques xerófitos costeros del Paraná y del Río de La Plata llegando hasta el mar Argentino y hasta las cercanías de Mar del Plata. En la actualidad es muy difícil observar la vegetación autóctona debido a la transformación realizada a causa de la expansión agropecuaria. En esta unidad hay importantes variaciones climáticas producidas de norte a

sur, como el caso de las precipitaciones que varían de unos 1100 milímetros anuales como máximo en Corrientes y Entre Ríos y un mínimo de 350 milímetros anuales en el oeste de La Pampa. La vegetación predominante de esta unidad es el bosque xerófilo abierto, caducifolio y estepas arbustivas, siendo el algarrobo la especie característica. Esta provincia fitogeográfica se subdivide en tres distritos:

- Distrito fitogeográfico del Ñandubay: en Entre Ríos y Corrientes.
- Distrito fitogeográfico del Algarrobo: en Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires.
- Distrito fitogeográfico del Caldén: en Córdoba, San Luis, La Pampa, Buenos Aires y Río Negro.

2.3.1.1 Distrito del Caldén

Este Distrito atraviesa por varias provincias del centro de la Argentina, formando un arco desde el extremo sudoeste de Córdoba, y sectores del centro y sur de San Luis, pasando por La Pampa en su sector central, ingresa marginalmente en el borde este de Mendoza, y finalmente penetra en el sudoeste de Buenos Aires, llegando hasta las costas del mar Argentino a la altura de Bahía Blanca. Debe su nombre a la denominación popular de la especie dominante en estos bosques: “el caldén”. Se asienta sobre relieves suaves y de baja altitud, desde el nivel del mar hasta unos 500 msnm. Sus suelos son de textura franco-arenosas, areno-limosas, o areno-arcillosas, con una correcta aptitud agrícola o ganadera. En muchos sectores se presentan médanos muy dinámicos, siendo estos terrenos los de menor aptitud agropecuaria.

El clima presenta características semiáridas. Las temperaturas medias anuales rondan los 16,5 °C en el norte y 14 °C en el sur. En toda esta subregión, por efectos de la continentalidad, las heladas invernales son significativas, aunque en su sector norte estas son algo más suaves. Las precipitaciones decrecen desde el NE hacia el SO, con un rango anual entre 600 a 450 mm, con poca diferenciación estacional. No en todos los años se producen nevadas, pero estas se presentan con más frecuencia en el sector sudoeste del distrito; el granizo es habitual, y suele ocasionar daños en la vegetación. Los vientos predominantes son los del cuadrante sudoeste, llamado localmente «pampero», con vientos fríos y secos; y los del cuadrante norte, que se caracterizan por ser cálidos y húmedos. Menos frecuentes son los del cuadrante sudeste, llamado localmente «sudestada», con vientos suaves y húmedos; y los

del cuadrante oeste, llamado localmente “viento zonda”, con efectos muy desecantes y dañinos para la vegetación.

La vegetación se presenta en su estado clímax como un bosque alto de características xerófilas y caducifolias, dominado por elementos espinosos o de hojas muy pequeñas, de unos 15 a 20 metros de altura, y con árboles con diámetros mayores a un metro. Este estado es muy raro de encontrar por el daño que sufrió el distrito desde la época de la conquista a causa de incendios, tala, y avance de la frontera agropecuaria. La fisonomía de los bosques que se han mantenido en pie se presenta como bosques abiertos, de uno o dos estratos arbóreos de diez metros de altura o aún menos, con un estrato arbustivo, y otro herbáceo. Alternan con los bosques, estepas arbustivas y gramíneas.

Las especies arbóreas son del género *prosopis* y son los componentes más importantes de este sistema boscoso, junto con otras especies de consistencia chaqueña. Los árboles son de porte más bajo y su distribución es más esparcida que en el Chaco árido, teniendo a su vez sus bosques una menor diversidad específica por lo que a este distrito se lo suele comparar con un “Chaco árido empobrecido” aunque con algunos elementos endémicos e importantes aportes de la provincia fitogeográfica del Monte. Estas especies arbóreas del género de los algarrobos son las delineadoras del paisaje forestal, destacando una especie endémica⁴ de este distrito: el caldén (*Prosopis caldenia*), junto con el algarrobo dulce (*Prosopis flexuosa*). A ellos acompañan, en menor número, otros árboles de gran porte: el quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) y el algarrobo negro (*Prosopis nigra*). Otras especies arbóreas de porte medio suelen hacerse presentes, destacándose el chañar (*Geoffroea decorticans*), sombra de toro (*Jodina rhombifolia*), tala común (*Celtis tala*), espinillo (*Vachellia caven*), molle (*Schinus molle*), incienso (*Boswellia carterri*), congorosa (*Maytenus ilicifolia*), entre otras.

Entre los arbustos más frecuentes encontramos: palo azul (*Cyclolepis genistoides*) y jume (*Allenrolfea vaginata*), ambos suelen formar densos matorrales mono-específicos en bajos salinos, además de piquillín (*Condalia microphylla*), atamisque (*Capparis atamisquea*), alpataco (*Prosopis alpataco*), manca caballo (*Prosopidastrum globosum*), cedrón (*Aloysia*

⁴ Una especie endémica es aquella que se distribuye en un ámbito geográfico reducido y que no se encuentra de forma natural en otras partes del mundo. El endemismo, por lo tanto, refiere a una especie que sólo puede encontrarse naturalmente en un lugar.

citrodora), tramontana (*Ephedra triandra*), llaollín (*Lycium chilense*), poleo (*Mentha pulegium*), pichana (*Psila spartioides*), jarilla (*Larrea divaricata*), pájaro bobo (*Tessaria absinthioides*), varios *Solanum*, diversas especies de chilcas y cactáceas, donde destacan algunas especies de opuntias, y el cardoncito (*Cereus aethiops*). Sobre las ramas de los árboles penden enredaderas, y algunas lianas, como la pasionaria (*Passiflora caerulea*) y la barba de viejo (*Tillandsia usneoides*). Algunas especies epifitas medran entre las ramas tapizadas de líquenes, entre ellas varias especies de claveles del aire. En las abras y en el sotobosque abundan estepas con diversas especies de gramíneas, destacando las flechillas (*Stipas*), junquillos (*Sporobolus rigens*) y las colas de zorro (*Pennisetum alopecuroides*). En los bajos salobres domina una alta juncácea semi-higrófila: el junco (*Scirpus lacustris*).

Por causa del avance de la frontera agropecuaria, son escasos los parches de bosque que han logrado mantenerse en pie con la formación en estado clímax.

2.3.2 Provincia fitogeográfica del Monte

Esta provincia del Monte está ubicada en el oeste del territorio nacional, en coincidencia con la denominada diagonal árida. Esta unidad se extiende desde la provincia de Salta al norte, las zonas centrales de las provincias de Tucumán, Catamarca y La Rioja, las zonas centro-orientales de las provincias de San Juan, Mendoza y del Neuquén, centro-oeste de La Pampa, nordeste de las provincias de Río Negro y del Chubut, el extremo sur de Buenos Aires y el extremo sudoeste de San Luis. El clima de esta unidad está caracterizado por la escasa variación de temperatura de norte a sur y por la aridez, ya que las precipitaciones no superan los 200 milímetros anuales. La vegetación es la estepa arbustiva xerófila y halófila, acompañada, en algunas áreas de napa freática poco profunda, por bosques de Algarrobos. Las especies más características son las jarillas y el retamo.

2.3.3 Ecotono y su vegetación clímax

Desde el punto de vista fitogeográfico, la vegetación característica del área de estudio pertenece a la Provincia del Monte en Patagones y a la Provincia del Espinal Distrito del Caldén en Villarino (**figura 2.3.3**), la misma es de tipo arbustiva y de estepa herbácea con predominio de gramíneas bajas (pastizales). Al norte de la provincia del monte se forma un

amplio ecotono con comunidades del Espinal. Esta vegetación arbustiva se caracteriza por la dominancia de zigofiláceas, especialmente del género *Larrea* asociadas con *Prosopis* arbustivas (Cabrera, A. 1951), con numerosas especies dominantes que se combinan en forma diversa a lo largo de una extensa área. Parodi (1945), lo define como Bosque xerófilo.

FIGURA 2.3.3: REGIONES FITOGEOGRÁFICAS DE ARGENTINA (CABRERA, 1976)



Fuente: Cartografía extraída de Cabrera (1976), Provincias Fitogeográficas de la República Argentina

Fisonómicamente se trata de un matorral más o menos denso con arbustos que alcanzan los 1,5 a 3 metros de altura, entre los cuales se desarrolla una estepa herbácea de escasa cobertura con predominio de gramíneas bajas. (Lamberto, S. 1987).

La densidad de arbusto es variable, por lo general, es de 0,5-1 plantas por m², en el caso de islas de chañar puras alcanza a 2/3 plantas/m² (Casas, R. *et al*, 1978).

Las especies leñosas más encontradas son: *Larrea divaricata* “jarilla”, cuya distribución es bastante uniforme prefiriendo los suelos de textura suelta; *Geoffroea decorticans* “chañar”, estos forman isletas a veces muy cerradas; *Condalia microphylla* “piquillín”, es abundante en el sur de la región y más escaso al norte; *Prosopis alpataco* “alpataco”, es un arbusto con poco desarrollo aéreo pero tiene un gran sistema radicular que dificulta su extracción; *Lycium chilense* “piquillín de víbora”, que es muy comido y masticado por el ganado; hay algunas otras formas arbustivas compuesta por el *Prosopis caldenia* “caldén” y *Prosopis flexuosa* “algarrobo”.

El estrato herbáceo es predominantemente gramíneo y las especies más comunes son: *Bromus brevis* “cebadilla pampeana”; *Stipa tenuis* “flechilla fina”; *Stipa clarazii* “flechilla grande”; *Piptochaetium napostaense* “flechilla negra”; *Poa lanuginosa* “pasto hilo”, todas son muy buenas forrajeras naturales. También se encuentran *Stipa ambigua* “paja vizcachera”; *Stipa tenuissima* y *Stipa trichotoma* “pasto puna”, que son pastos duros sin valor forrajero y son poco preferidos por el ganado para su alimentación.

Además es frecuente encontrar dicotiledóneas como *Medicago minima* “trébol carretilla”; *Erodium cicutarium* “alfilerillo”; *Plantago patagónica* “peludilla”; *Baccharis ulicena* “yerba de la oveja”; *Solanum eleagnifolium* “revienta caballos”; *Baccharis gillesii* “seca tierra”, entre otras. Con esta cobertura herbácea se puede llegar a tener una receptividad ganadera en el verano de 0,05 a 0,1 cabeza/ha. (Giorgetti, H. 1995)

En los bordes de los salitrales y en algunos ambientes de la costa marítima existen comunidades halófilas de *Cyclolepis genistoides* “matorro negro”; *suaeda divaricata* “pasto vidriera”; *Salicornia ambigua* “jume”; *Atriplex undulata* “cachiyuyo”; *Distichlis spicata* “pasto salado” entre otras.

En las regiones medanosas la vegetación es de tipo psamófilas, encontrando: *Sporobolus rigens* “junquillo”; *Hyalis argentea* “olivillo”; *Panicum urvilleanum* “tupe”; *Elyonurus muticus* “pasto amargo”; *Telesperma megapotamicum* “té pampa”; etc.

En los campos de labranza, potreros naturales y a orillas de los caminos se suelen encontrar diversas malezas como: *Avena fatua* “cebadilla”; *Salsola kali* “cardo ruso”; *Kochia scoparia* “morenita”; *Diploaxis tenuifolia* “flor amarilla”; *Hirschfeldia incana* “mostacilla”; *Tribulus terrestris* “torito”; *Centaurea solstitialis* “abrepuño amarillo”; *Carthamus lanatus* “cardo cruz”; *Cirsium vulgare* “cardo negro”; *Carduus nutans* “cardo pendiente”; y varias especies de *Chenopodium* “quinoas”.

Debido a las características climáticas y al tipo de vegetación, en el período estival es frecuentes, la ocurrencia de incendios producidos causas naturales como por ejemplo: por rayos, originados por tormentas eléctricas estivales. El fuego de verano no significa necesariamente fuego de alta intensidad calórica, por eso las leñosas rebrotan desde la base cuando la dominancia apical⁵ se pierde por este efecto (Llorens, E. *et al.* 1999). Los porcentajes en mortalidad de gramíneas son mayores para las especies densamente cespitosas que acumulan mayor cantidad de material senescente (Boo, R. 1994).

⁵ Apical se refiere a que en los vegetales el ápice es el extremo superior (o punta) de cualquier órgano externo (por ejemplo, de la hoja).

2.4 Descripción de la ocupación y poblamiento del territorio

Todo proceso de ocupación y poblamiento no es el resultado de un momento o de un instante, sino que, por el contrario, se desarrolla a lo largo de un determinado periodo de tiempo, dando lugar a la existencia de una historia propia y con características particulares (Tobstoy; A 1988).

La organización del espacio responde a factores naturales, históricos, sociales, económicos y culturales, los que combinados brindan al espacio de características muy singulares (Azcoitia de Ockier, 1983). Se pueden diferenciar períodos iniciales de ocupación territorial de ambos partidos.

2.4.1 El predominio indígena:

A partir del descubrimiento del Río de La Plata y la fundación de Buenos Aires en 1536 se difunde el caballo en la planicie pampeana. Esto produjo un cambio en la economía y en los hábitos de los indígenas facilitando su desplazamiento por toda la Pampa. Las terrazas y rinconadas del río Colorado han adquirido nueva significación, debido a sus pastizales adecuados para el asentamiento de las caballadas que reclamaban también mayores disponibilidades de aguadas. El Colorado se constituyó como un paso obligado en la ruta de los aborígenes entre la Patagonia y las poblaciones de la campaña bonaerense. Con la fundación de Carmen de Patagones (1779) sobre la margen del río Negro y de Bahía Blanca (1828) en el sur bonaerense, se estableció una vía de comunicación terrestre regular (antecedente de la Ruta Nacional N° 3 sur) entre éstas dos localidades. El “desierto” como era conocido el territorio desde Bahía Blanca hasta la parte más austral del país, debía quedar exento de indígenas que asolaran la región, ya que obstaculizaban el poblamiento y la explotación ganadera (Randle, P., 1981).

Corresponde a este período la ley de Tierras Públicas propuesta por Sarmiento en el año 1857 para combatir el latifundio improductivo. Esta disponía que las tierras públicas del

Partido de Patagones y Bahía Blanca, fueran entregadas en donación a quienes lo solicitaran. Esta ley no tuvo los resultados previstos, fundamentalmente porque la zona no era atractiva para la radicación, por asedio (ataque) del indígena y porque las comunicaciones con Buenos Aires eran irregulares.

En Argentina existía la necesidad urgente de concretar las imposiciones del mercado agroexportador debiendo cumplir con su rol de abastecedor de materias primas sobre todo de productos agrícolas y ganaderos, a los países industrializados. De esta forma, el espacio queda incorporado con la Campaña del Desierto y extiende la frontera hasta el río Colorado e instala distintas guarniciones para proteger a los pobladores de los ataques aborígenes que no se resignaban a perder su espacio vital (Randle, P., 1978). Finalmente, la culminación de la Campaña de Roca (1879) sella definitivamente la suerte corrida por las poblaciones nativas.

2.4.2 La conquista pastoril

Después de la Campaña de Roca se produce un reordenamiento de las jurisdicciones políticas del Estado. Al organizarse las tierras de frontera nace el 28 de julio de 1886 el partido de Villarino; se comienzan a mensurar lotes cuadrangulares de 10.000 hectáreas con esquineros orientados a medio rumbo trazando un parcelamiento denominado centuriación, es decir, la división de grandes extensiones de terreno basados en un módulo cuadrado (Randle, P., 1973).

En éste período se establecen las grandes estancias -más de 30.000 hectáreas- quedando en manos de terratenientes. A partir de entonces comenzó el uso pastoril de los campos, con las primeras explotaciones de ganadería extensiva.

Es ésta la zona de avance de los ganaderos de la provincia de Buenos Aires que buscan nuevas tierras para el ovino desplazado de las zonas más aptas para el vacuno. Se empieza a desmontar e implementar con éxito el cultivo de la alfalfa y de los cereales. A partir de este uso se piensa en el trazado de las vías férreas que acerquen la producción a los mercados y asentamientos principales.

De este modo la conquista pastoril se consolida y simultáneamente surge la colonización agrícola. Como consecuencia de las características enunciadas anteriormente, se da la concentración de grandes superficies en muy pocas manos, elementos que posteriormente, provocarán serias complicaciones para el desarrollo del área.

Con posterioridad al tendido de las líneas férreas, los puestos que conformaban las estaciones ferroviarias se convirtieron en pueblos, surgiendo de este modo: Mayor Buratovich, Hilario Ascasubi, Pedro Luro en el partido de Villarino y Pradere e Igarzabal en el partido de Patagones. A partir de la existencia de un recurso que permitía un traslado más ágil, comenzaba a advertirse las formaciones de explotaciones agrícolas y con ella la apertura de nuevas perspectivas. A partir de ese momento una parte del paisaje sufre nuevas modificaciones, produciéndose la apertura de los canales de irrigación y una mayor subdivisión parcelaria, dando origen de esta manera a lo que hoy se conoce como Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC).

Este cambio particular del paisaje se resume en diferentes etapas:

Primera Etapa: En 1856 se produce el arribo de don Pedro Luro con una expedición de carretas y arreos de ganado vacuno. Desde el 1880 a la 1912 llegada del ferrocarril general Julio Roca.

Segunda Etapa (1912 a 1940): es donde predomina la ganadería y la agricultura extensiva. En este período se construyen canales de riego y se realizan algunas experiencias de cultivos intensivos sin tener certeza de la efectividad de su producción.

Tercera Etapa (1940 a 1960): se produce el auge de la producción frutihortícola y empieza a tener una mayor importancia. A partir de este auge se empieza a aumentar el área de riego y con ella comienza el proceso de salinización de los suelos del VBRC.

Cuarta Etapa (1960 a 1970): se produce la introducción de organismos nacionales como el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y provinciales como Corporación de Fomento del Río Colorado (CORFO). A partir de esta instalación se comienza con la

nacionalización del riego y expandiendo las obras e infraestructuras de riego y drenajes para el área del VBRC.

Quinta Etapa (1980 a 2000): Esta es la etapa de grandes transformaciones sociales con un importante flujo de las corrientes migratorias (con movimientos de migración e inmigración), y de lo económico porque a partir de dicho flujo social se le da origen a la apertura del mercado exterior. Se introduce tecnificación agrícola para el cuidado del recurso suelo y agua.

2.4.3 Etapa de la Colonización agrícola

El área, en sus principios, configuró la existencia de grandes fundos perteneciente a pocas personas. Así se fue practicando una subdivisión primaria para la utilización de los recursos hídricos cuyo aprovechamiento inicial fue iniciativa de los terratenientes originales. De esta manera la explotación de la agricultura cerealera y la ganadería (agricultura y ganadería extensivas), en sus formas originarias de producción de carne y obtención de lana, dieron paso al nacimiento de la economía agrícola intensiva.

Con la llegada de los colonos europeos, considerados como agricultores, se comienza a poblar parte de las grandes estancias (Roccatagliata, J. 1994). La ocupación la hacían en calidad de arrendatarios, medieros o tanteros, cambiando estructuralmente la fisonomía del área.

En el área de riego y en forma nítida se puede evidenciar, que el área comienza a girar en torno a la presencia del agua del río Colorado, más cuando se comienza a perfilar las necesidades de riego. Poco después se produce la apertura de los primeros canales de riego, ocasionando una transformación y el paso de una agricultura extensiva a una intensiva, estimulándose así el comercio y favoreciendo la instalación de pequeñas industrias.

Llegando de esta manera a la época actual en donde se puede hablar de una consolidación de las actividades mencionadas y de la consolidación de la población, constituyendo un centro de atracción de la población migrante

2.5 Principales características geográficas de la gran región semiárida Pampeana:

Esta región abarca el sur de la provincia de Córdoba, este de San Luis, NO de La Pampa y SO de la provincia de Buenos Aires, con una superficie total de 24.000.000 ha.

Se estima que toda la región está afectada por diferentes grados de erosión, en un 46% por erosión eólica (causada por los vientos) y en un 27% por erosión hídrica (causada por el agua), (Instituto de Suelo de INTA, 1948).

La erosión hídrica predomina en las zonas de lluvias abundantes o intensas donde el volumen de agua no puede ser absorbido totalmente por el suelo, produciéndose por lo tanto escurrimiento superficial de agua, con arrastre de suelo. Pero también puede ocurrir en otras zonas con presencia de aridez y semiaridez, por el hecho mismo de la escasa cobertura vegetal que no alcanza a retener el suelo y ante un evento de intensas lluvias se genera importantes escorrentías llevándose el sustrato y provocando importantes cárcavas.

Las lluvias provocan cambios en la superficie terrestre dando origen a dos principales relieves: las cárcavas (grietas) y los bad-lands (laberintos de crestas y cárcavas). En esta región se incrementó la superficie afectada por erosión hídrica a partir de la década del 70 y comienzos del 80 debido a un aumento en las precipitaciones. En el Suroeste de la provincia de Buenos Aires, las precipitaciones medias varían entre 841,1 mm al Este y 380 mm al Oeste. Las lluvias, no siempre suficientes en los sectores occidentales para el cultivo de secano, otorgan un carácter subhúmedo a esta variedad de clima templado, denominado también de transición (Campo, A., *et al* 2008).

La erosión eólica en cambio, se produce principalmente en regiones áridas y semiáridas, como el área de estudio, en las que debido a la escasez de la vegetación el suelo queda descubierto y por lo tanto expuesto a la acción del viento (**Anexo 5**). Se desarrolla bajo dos procesos: deflación, en que el viento barre o levanta las partículas sueltas de una superficie o terreno; y corrosión o abrasión: la roca se desgasta a causa del continuo choque de las partículas arrastradas por el viento, produciendo alveolos o cavidades en las rocas. La erosión eólica se ha ido reduciendo de manera visible en la mayor parte de la región excepto

en el sur de Córdoba, este de San Luis y sur de la provincia de Buenos Aires (partidos de Villarino y Patagones), en los que debido a sequías frecuentes el fenómeno se incrementó.

Las causas y condiciones, que predisponen y promueven la erosión eólica en la región semiárida pampeana son:

- Existencia de suelos secos, sueltos y con abundancia de partículas finas y con bajos niveles de materia orgánica.
- Relieve o topografía llana.
- Escasas y variadas precipitaciones.
- Escasa cobertura vegetal.
- Incorporación de tierras marginales al sistema productivo.
- Prácticas agrícolas y sistemas de cultivo inapropiado.
- Época e intensidad de los laboreos inadecuados.
- Falta de correctas rotaciones.
- Uso reiterado de implementos de labranza inadecuados.
- Sobrepastoreo de los forrajes naturales y cultivados.
- Deforestación indiscriminada.
- Laboreo de tierras no aptas para la agricultura.

Se considera que los suelos de ecosistemas áridos y semiáridos son más propensos a sufrir erosión eólica debido a su limitado desarrollo pedogenético, las condiciones climáticas secas y ventosas de los ambientes en los cuales evolucionan y manejos frecuentemente degradantes (Peterson *et al.*, 2006). En estos ambientes se presentan materiales finos, sueltos, secos y áreas extensas con poca rugosidad y escasa cobertura vegetal que hacen más propicio el fenómeno erosivo. La erosión eólica puede alterar la fertilidad física y química de los suelos (Lyles y Tatarko, 1986; Buschiazzo y Taylor, 1993; Gabel, 1993), afectando el rendimiento de los cultivos (Lyles, 1975; Woodruff, 1965; Armbrust, 1984), o puede provocar impactos ambientales negativos. Uno de estos impactos es la liberación de partículas con diámetros menores a 10 μm (PM10) a la atmósfera (Buschiazzo y Aimar, 2003).

Gracias a la erosión y a la actividad de los seres vivos, la porción externa de la corteza rocosa terrestre, su superficie, se convierte en aquello que se conoce como "suelos".

Capítulo: III

3. MARCO TEORICO-CONCEPTUAL:

3.1 Principales conceptos presentes en estudios de áreas degradadas o vulnerables a degradarse:

3.1.1 Sequía y aridez:

Estos dos conceptos son empleados cuando se habla de las características pluviométricas de una región. La sequía expresa una situación meteorológica prolongada, caracterizada por la falta de lluvias en un territorio, donde las precipitaciones son normales en cantidad y se dan en el momento oportuno.

La Organización Meteorológica Mundial (1986) establece que una región se ve afectada por sequía cuando la precipitación anual es inferior al 60% de la normal durante más de dos años consecutivos y en más del 50% de la superficie. Es un fenómeno meteorológico, natural y difícil de predecir e implica variaciones de magnitud en el balance de precipitación-evaporación y es un componente fundamental de la desertificación.

Por otra parte, la Convención Internacional de Lucha contra la Desertificación (CNUCLD) considera a la sequía como el fenómeno que se produce naturalmente cuando las lluvias han sido considerablemente inferiores a los niveles normales registrados, causando un agudo desequilibrio hídrico que perjudica los sistemas de producción de recursos de tierras.

En cambio, la aridez es un estado de déficit hídrico que implica periodos repetidos de sequía (varios años seguidos), alternando con irregulares ciclos de lluvia, y con un balance de humedad-evapotranspiración negativo todo el año o la mayor parte del año (García de Pedraza, 1989).

3.1.2 Desertificación y degradación:

La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD) (Adeel, Z., *et al* 2005) define a la desertificación como la degradación de las tierras áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultantes de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas.

La definición adoptada por la Convención se fundamenta en una concepción de la desertificación como un fenómeno integral que tiene su origen en complejas interacciones de factores físicos, biológicos, políticos, sociales, culturales y económicos. Está asociada a la paulatina pérdida de la capacidad de las tierras para producir alimentos, lo que podría evitarse con políticas que puedan combinar producción y sustentabilidad. Los suelos van perdiendo sus propiedades de retención de agua, con lo cual se van degradando y van reduciendo la productividad que es la base de la fuente alimentaria.

El crecimiento permanente de la población de los países en desarrollo genera una presión en aumento sobre los recursos naturales que conduce a una sobreexplotación de los mismos. Incluyen: deforestación, consumo de los nutrientes del suelo por agricultura, urbanización, irrigación, contaminación, degradación de los suelos, con intensificación de la erosión hídrica y eólica, deterioro de la estructura, salinización, disminución de la fertilidad y desertificación (Casas, R. 2001). Este problema es agravado por las condiciones climáticas (sequía, viento, altas temperaturas, etc).

Los procesos degradatorios determinan un descenso de la productividad de los suelos y a veces la pérdida irreversible de la capacidad productiva, aumentando la desnutrición y el hambre en los países: es lo que se denomina “círculo vicioso de suelos por comida” (Casas, R. 2000).

La degradación del suelo o de las tierras es un proceso inducido antrópico, que afecta negativamente la capacidad de la tierra para funcionar efectivamente dentro de un ecosistema para aceptar, almacenar y reciclar agua, energía y nutrientes (Prohaska, F., 1961). Ésta ocurre cuando el suelo pierde importantes propiedades como consecuencia de una inadecuada utilización de maquinarias y herramientas agrícolas. Ello provoca la disminución de la producción de biomasa vegetal. Además dificulta la integración de la materia orgánica

depositada sobre el suelo por la agresión que se produce en la fauna y en la microflora. Lo que hace difícil el enraizamiento de las plantas y la disponibilidad de los elementos nutritivos y a su vez decrece la retención de la cantidad de agua en el suelo.

Por otro lado, es importante destacar que la desertificación es una consecuencia de la degradación de tierras que ocurre en las áreas áridas, semiáridas y subhúmedas del mundo, tierras que son extremadamente vulnerables a la sobreexplotación y al uso inapropiado de la misma. Los ecosistemas áridos son complejos, diversos y frágiles, están adaptados a la falta de agua.

Este proceso interviene en estos cuatro niveles: **ecológico, económico, social y cultural**. Desde lo **ecológico** se ve afectada la calidad del ambiente y lleva a una fragmentación del paisaje con la formación de dunas, cárcavas y pavimentos resultados de erosión eólica. Además se pierde la biodiversidad y se altera el ciclo hídrico disminuyendo significativamente la ganancia neta anual de secuestro de carbono. En lo **económico** se ve reflejada en la baja productividad, cada vez mayor, de los cultivos. En lo **social-cultural**, se manifiestan tendencias negativas, como el éxodo rural hacia las áreas urbanas, la disminución de la oferta de mano de obra calificada en el campo, el cierre de establecimientos agrícolas-ganaderos, la pobreza y la pérdida de tradiciones y valores.

La UNCCD en 1977, identificó este proceso como el problema ambiental más importante del mundo. Ha estimado que alrededor de 6,1 mil millones de hectáreas, se ven afectadas por procesos de desertificación. En América Latina y el Caribe, más de 600 millones de hectáreas, sufren diferentes niveles de desertificación, mientras que en Argentina, este proceso afecta a más de 60 millones de hectáreas.

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en el informe 2013, advierte que la degradación de suelo del mundo podría alcanzar las 900 millones de hectáreas en 35 años, una superficie similar al tamaño de Brasil.

La desertificación amenaza a la cuarta parte del planeta y la causa principal es la actividad humana con: la sobreexplotación agrícola y el pastoreo excesivo, la deforestación, la falta de riego y los usos de otras tierras no sostenibles, que han provocado una reducción dramática de la cubierta forestal y, en consecuencia la pérdida de hábitat y la fragmentación

de la vida silvestre. Toda ello ocasiona la transformación del hábitat originando así la pérdida de la biodiversidad en todo el mundo. Este proceso afecta directamente a más de 250 millones de personas y pone en peligro los medios de vida de más de 1000 millones de habitantes de más de 100 países al reducir la productividad de las tierras destinadas a la agricultura y la ganadería. Las áreas de secano susceptibles a este flagelo cubren el 40% de la superficie terrestre.

Se estima que alrededor de un 30% de las tierras arables (unos 400 millones de hectáreas) están afectadas por diversos procesos de degradación con un incremento anual de 5 a 7 millones de hectáreas. El aumento de las tierras degradadas y de la población mundial, determina que mientras que en el año 1990 existían 0,25 hectáreas de tierra arable por habitante, en el 2000 esa superficie disminuyó a 0,23 hectáreas por habitante y para el 2011 es de 0,20 hectáreas por habitante (**Anexo 2**); superficie que actualmente, se infiere, sigue decreciendo progresivamente.

Es importante destacar que el 75% del territorio argentino está cubierto por zonas bioclimáticas áridas, semiáridas y subhúmedas secas y es principalmente allí donde se genera el 50% de la producción agrícola y el 47% ganadera. Esto denota que Argentina no escapa a los efectos adversos del clima y la acción antrópica en un ambiente frágil que provocan la degradación de los recursos naturales.

Afortunadamente durante la última década, en nuestro país, se han dedicado esfuerzos para proteger los recursos naturales y promover el uso sostenible de la vida silvestre, pero a pesar de ello, los bosques xerófilos siguen todavía experimentando el aumento de la presión de las actividades humanas dando lugar a una rápida deforestación y la pérdida de servicios ecosistémicos. (Vilela. *et al*, 2009).

Este trabajo resalta la aplicación y el uso de las nuevas técnicas de la teledetección y de los SIG para reconocer, localizar, cuantificar y evaluar las áreas degradadas y/o vulnerables a degradarse, para poder realizar un diagnóstico adecuado, preveer y establecer pautas de mitigación en los estudios de procesos degradatorios del suelo y los recursos naturales. Restaurar tierras degradadas resulta caro, y la mejor cura es la prevención (*et at*, 2000).

3.2 El Suelo: principal sustrato para todo ser vivo que habita, transita y vive de él

El suelo es la capa superficial de la corteza terrestre en la que viven numerosos organismos y crece la vegetación. Es una estructura de vital importancia para el desarrollo de la vida y sirve de soporte a las plantas y le proporciona los elementos nutritivos necesarios para su desarrollo.

Para la formación del suelo existe la interacción entre atmósfera, biosfera y litosfera. El mismo se forma a partir de la descomposición de la roca madre, por factores climáticos (por cambios bruscos de temperatura y humedad) y por acción de los seres vivos. Esto implica que el suelo tiene una parte mineral y otra biológica, lo que le permite ser el sustento de multitud de especies vegetales y animales. El proceso mediante el cual los fragmentos de roca se hacen cada vez más pequeños, se disuelven o van a formar nuevos compuestos que se conoce como **meteorización** (Imbellone, P., *et. al.* 2010).

Los productos rocosos de la meteorización se mezclan con el aire, agua y restos orgánicos provenientes de plantas y animales para formar suelos. Este proceso tarda muchos años, razón por la cual los suelos son considerados recursos naturales no renovables. En este proceso se forman unos elementos muy pequeños conocidos como iones y coloides, que conforman el suelo. Dependiendo del porcentaje de iones y coloides, y de su origen, el suelo tendrá unas determinadas características. Un elemento químico que posee cargas eléctricas se denomina “**ion**”.

Muchas de las propiedades químicas del suelo se deben a la presencia de materiales que presentan carga eléctrica. Estos materiales son conocidos como “**coloides del suelo**” y abarcan a las partículas de arcilla y materia orgánica humificada. En los sistemas coloidales uno o más de sus componentes incluyen a partículas que tienen una dimensión entre 10^{-7} a 10^{-5} cm, es decir, contienen macromoléculas o pequeñas partículas. Las partículas de arcilla presentan carga eléctrica. Cada coloide (arcilloso u orgánico) tiene carga negativa (-) que se desarrolla durante los procesos de formación. Esto significa que los coloides pueden atraer y

retener partículas cargadas positivamente (+), de igual forma como los polos opuestos de un imán se atraen entre sí. Los coloides repelen a otras partículas cargadas negativamente, como también lo hacen los polos iguales de un imán. El potasio (K), sodio (Na), hidrogeno (H), calcio (Ca) y magnesio (Mg) tienen carga positiva y se denominan cationes.

La materia orgánica procede, fundamentalmente, de la vegetación que coloniza la roca madre. La descomposición de estos aportes forma el humus bruto. A estos restos orgánicos vegetales se añaden los procedentes de la descomposición de los aportes de la fauna, aunque en el porcentaje total de estos son de menor importancia.

La descomposición de la materia orgánica aporta al suelo diferentes minerales y gases como amoníaco, nitratos, fosfatos. Estos elementos son esenciales para el metabolismo de los seres vivos y conforman la reserva trófica del suelo para las plantas, además de garantizar su estabilidad.

Dicho sustrato se ve afectado por el grave problema de erosión, cada vez más importante porque compromete a toda la población mundial, tanto rural como urbana. Se producen importantes pérdidas de suelo superficial por los distintos agentes erosivos donde la mejor parte del suelo se lleva el agua y el viento. Lo que se pierde es la porción superior del suelo (horizonte A) que es la zona de mejores propiedades físicas y de mayor concentración de los elementos nutritivos importantes para la cobertura vegetal.

Si se tiene en cuenta la distribución de los principales nutrientes en un perfil, la erosión de los horizontes superiores del suelo afecta principalmente a nutrientes como el nitrógeno, fósforo, azufre y potasio. En las zonas destinadas a cultivos, la erosión se lleva la fertilidad del suelo aproximadamente 20 veces más rápido que los propios cultivos.

El suelo, a pesar de que forma una capa muy delgada, es esencial para la vida en tierra firme. Cada región del planeta tiene unos suelos que la caracterizan, según el tipo de roca de la que se ha formado y los agentes que lo han modificado.

3.2.1 Clasificación de los suelos

El suelo se clasifica en parte por su textura: fina o gruesa, y por su estructura: floculada⁶, agregada o dispersa, lo que define su porosidad que permite una mayor o menor circulación del agua, y por lo tanto la existencia de especies vegetales que necesitan concentraciones más o menos elevadas de agua o de gases. El suelo también se puede clasificar por sus características químicas, por su poder de absorción de coloides y por su grado de acidez (pH), que permite la existencia de una vegetación más o menos necesitada de ciertos compuestos. Hay diversidad de suelos de acuerdo al tipo de proceso de formación que han desarrollado, entre ellos se pueden encontrar suelos: no evolucionados, poco evolucionados y evolucionados.

Dentro de este grupo de los **no evolucionados** se pueden encontrar los suelos en estado bruto, muy próximos a la roca madre y apenas tienen aporte de materia orgánica. Son resultado de fenómenos erosivos o de la acumulación reciente de aportes aluviales. De este tipo son los suelos polares y los desiertos, tanto de roca como de arena, así como de las playas.

Los **suelos poco evolucionados** dependen en gran medida de la naturaleza de la roca madre. Existen tres tipos básicos: ránker, rendzina y los suelos de estepa. Los suelos ránker son más o menos ácidos, como los suelos de tundra y los alpinos. Los suelos rendzina se forman sobre una roca madre carbonatada, como la caliza, suelen ser fruto de la erosión y son suelos básicos. Los suelos de estepa se desarrollan en climas continentales y mediterráneo subárido. El aporte de materia orgánica es muy alto. Según sea la aridez del clima pueden ser desde castaños hasta rojos.

En los **suelos evolucionados** encontramos todo tipo de humus, y cierta independencia de la roca madre. Hay una gran variedad y entre ellos se incluyen los suelos de bosques templados, los de regiones con gran abundancia de precipitaciones, los de climas templados y el suelo rojo mediterráneo. En general, si el clima es propicio y el lugar accesible, la mayoría de estos suelos están hoy ocupados por explotaciones agrícolas.

⁶ Floculante es una sustancia química comúnmente orgánica que aglutina sólidos en suspensión una vez efectuada su coagulación

3.2.2 Tipos de suelos

Los tipos de suelo dependen de la composición física y química, y de la aptitud agrícola que tenga cada uno de ellos (Ferrer, J. 1991).

Entre los diversos tipos de suelos se pueden citar:

- **Suelos arenosos:** No retienen el agua, tienen muy poca materia orgánica y no son aptos para la agricultura.
- **Suelos calizos:** Tienen abundancia de sales calcáreas, son de color blanco, seco y árido, y no son buenos para la agricultura.
- **Suelos húmíferos (de tierra negra):** Tienen abundante materia orgánica en descomposición, de color oscuro, retienen bien el agua y son excelentes para el cultivo.
- **Suelos arcillosos:** Están formados por granos finos de color amarillento y retienen el agua formando charcos. Si se mezclan con humus pueden ser buenos para cultivar.
- **Suelos pedregosos:** Formados por rocas de todos los tamaños, no retienen el agua y no son buenos para el cultivo.
- **Suelos musgosos o limosos:** Contienen agua, arena, limo y arcilla en partes más o menos iguales. Son semipermeables y son suelos óptimos para la agricultura

La erodabilidad del suelo va a depender de la estructura o el estado de agregación de las partículas del mismo, que se ve influenciada por la textura y el porcentaje presente de arena, limo y arcilla.

Según Bouyoucos (1935), de acuerdo a las características granulométricas, estableció que el cociente entre (% de arena + % de limo)/ % de arcilla puede utilizarse como criterio para estimar la erodabilidad de los suelos. Esta combinación es conocida como “Índice de Bouyoucos”.

Los suelos arenosos carecen de estructura, retienen poca humedad y favorecen los procesos erosivos. En cambio, los suelos en los que el contenido de limo se aproxima al 20% y el de arcilla oscila entre el 20 y 35%, son los menos susceptibles a sufrir este fenómeno. Para

que un suelo sea arenoso, este debe tener más del 70% de la fracción mineral arena. La fracción limo predomina en sus características, cuando está contenida en el suelo por más del 80% y el de arcilla menos del 12%. Un suelo es arcilloso, cuando tiene más de 40% de este material (arcilla) y debe tener menos de 45 % de arena y menos del 40% de limo.

Se estima que los suelos que no tienen un adecuado estado de agregación y carecen de estructura pueden erosionarse con velocidades del viento de tan sólo 13 km/h. También puede comprobarse que suelos con estructura y agregados, con velocidades superiores a 60 km/h no se vuelan. Pero si se produce una desecación de los mismos estos también aumentan la susceptibilidad a erosionarse.

3.3 El Relieve: como resultado del modelado debido a diversos agentes físicos y químicos

Los fragmentos rocosos que se desprenden de la corteza son transportados por los elementos naturales como el agua, hielo y viento, y son depositados sobre la superficie terrestre donde se acumulan como sedimentos en capas llamados estratos, de esta manera dan origen a nuevas formas de relieves como accidentes geográficos.

La deposición es un proceso geológico y se produce cuando las fuerzas responsables del transporte de sedimentos ya no son suficientes para superar las dimensiones de las partículas de peso y fricción, creando una resistencia al movimiento motivando a que caigan y se depositen. El movimiento de transporte de los sedimentos se produce debido principalmente a la acción de la gravedad. Las características de los depósitos dependen de la naturaleza del agente de transporte.

También puede ocurrir este proceso (deposición) producto de fenómenos químicos como la meteorización. La meteorización puede ser **física, química o biológica**.

La **meteorización física** ocurre cuando se produce desintegración o ruptura en la roca, sin afectar a su composición química o mineralógica, es decir, la roca se disgrega en materiales de menor tamaño y ello facilita el proceso de erosión y transporte posterior.

La **meteorización química** ocurre cuando intervienen los procesos atmosféricos como el oxígeno, vapor de agua y dióxido de carbono produciendo una transformación en la roca que le provoca la pérdida de cohesión y alteración.

Y finalmente la **meteorización biológica** se produce por la transformación que provocan algunos seres vivos en las rocas, como por ejemplo, las raíces de las plantas que se introducen entre las grietas y actúan como cuñas dejando sus huellas a través de sustancias que segregan. (Ortiz, D.; 2004).

El transporte es el traslado de los materiales erosionados en un determinado lugar para su posterior sedimentación en otro diferente. La sedimentación es uno de los últimos procesos de la morfogénesis, consiste en la acumulación de materiales después de haber sido erosionados y transportados, igualmente un material depositado puede ser nuevamente erosionado por los agentes (por ejemplo: por la acción del agua, sobre sedimentos que depositó el viento).

La erosión es el desgaste del relieve y se produce cuando actúan los agentes naturales externos (agua, viento, hielo) que arrastran la tierra o la roca meteorizada. La roca blanda es más susceptible de ser fragmentada y llevada luego por acción de la gravedad, que la roca dura.

En regiones de climas muy secos o a la inversa en donde se registran altos porcentajes de humedad, intervienen los dos agentes erosivos: el agua y el viento. Pero no sólo los factores naturales pueden aumentar el riesgo erosivo, el hombre al intervenir el paisaje natural, también tiene mucha responsabilidad al respecto, especialmente cuando se deforestan amplias zonas de vegetación o se construye en lugares inapropiados.

A pesar de lo negativo que pueda parecer los procesos de deposición, meteorización y erosión, la verdad es que su incidencia en el relieve es importantísima, porque hacen posible la conformación del manto rocoso llamado regolito, y además crean nuevas formas de relieve. El relieve cuando este es llano o levemente ondulado, se ve favorecido por la acción selectiva del viento sobre las partículas más finas y fértiles, permaneciendo en el sitio afectado los componentes más finos como es el caso de la arena. (Strahler, A; *et al.* 1981).

3.4 Cobertura vegetal para la conservación, fijación y retención del suelo

La vegetación juega un papel fundamental en la conservación, fijación y retención del suelo, por lo que se considera a la recuperación de la cubierta vegetal como una de las técnicas indispensables para mitigar y revertir los efectos de la desertificación. La densidad de la vegetación es expresada en términos de biomasa y suele asociarse a la mejora de la conservación del suelo, gracias al aumento de la pedogénesis (proceso de formación de los suelos) y a la disminución de las pérdidas por erosión (Collado D, 1997).

La vegetación se puede ver disminuida por varios factores como el sobrepastoreo, manejos inadecuados del cultivo o por situaciones extremas de sequías que limiten el crecimiento de la misma.

La materia orgánica aportada por la vegetación desencadena procesos biológicos que conducen a la humificación y estructuración del suelo y hace disminuir la erodabilidad de dichos suelos.

Las raíces de las plantas y las algas representan la flora en el suelo. Las plantas y las algas son los productores primarios que a través de la fotosíntesis, con la energía del sol, convierten el agua del aire y el suelo junto con el dióxido de carbono (CO₂) del aire y en carbohidratos disponibles para otros organismos. Las raíces están influenciadas por el suelo en que viven. Cuando el suelo está compactado o tiene bajo contenido de nutrientes o el agua es limitada o hay otros problemas, las plantas no crecerán bien.

Además, las plantas también influyen sobre el suelo en que crecen. La presión física de las raíces que crecen a través del suelo ayuda a formar agregados con las partículas vecinas. Cuando el material vegetativo es devuelto al suelo, se convertirá en la fuente primaria de alimento para las bacterias y los hongos.

3.5 Factores medioambientales naturales y socio- culturales que inciden en la degradación de tierras

3.5.1 La Erosión Eólica como principal factor medioambiental:

La erosión eólica es el proceso por el cual el material superficial de los suelos es removido y transportado por el viento (Rodríguez, G., *et. al.* 1964). La acumulación del material removido puede ocurrir a distancias variables de la fuente de origen. Esto depende de la intensidad y duración del viento, además del tamaño de la partícula. La erosión eólica es un problema ambiental serio en muchas partes del mundo. Es un proceso histórico debido a la existencia de depósitos eólicos que datan de distintas edades geológicas. Principalmente este fenómeno ocurre en ambientes que tienen en común presencia de material fino, suelto y seco, áreas con superficies poco rugosas con escasa o reducida cobertura vegetal.

Las partículas removidas por el viento pueden ser transportadas por tres mecanismos diferentes: **saltación, reptación y suspensión**. El transporte de las partículas dependerá de las propiedades aerodinámicas (tamaño, forma y densidad) y de la capacidad de transporte del viento según su turbulencia (movimientos desordenados), viscosidad (magnitud o densidad que representa la "resistencia a fluir o circular") y densidad (cantidad de masa por unidad de volumen).

La saltación: es el modo de transporte más importante. El tamaño de partículas que se mueve por este medio varía de 0,05mm a 0,50mm. La resistencia de las partículas de mayor tamaño resulta de su mayor peso, las de menor tamaño deriva de su cohesión y por la protección brindada por las más grandes que la rodean.

La reptación: es el proceso de rolado y desplazamiento de las partículas de mayor tamaño sobre la superficie del suelo.

La suspensión: es el transporte más visible y describe el movimiento de las partículas más pequeñas (menores a 0,2mm de diámetro) a gran altura y a distancias muy largas. La expresión de este proceso son las tormentas de polvo las cuales pueden representar grandes pérdidas de suelo.

La intensidad de la erosión eólica va a depender de la erodabilidad que tenga el suelo y la erosividad del viento. La erodabilidad es la facilidad con la que se desprenden y transportan las partículas presentes en el sustrato; la misma, varía según la textura y la estabilidad de los agregados. El contenido de humedad, la materia orgánica y la textura le dan al suelo estabilidad y agregación. Es por ello que los suelos húmedos no se erosionan debido a la fuerza de atracción entre el agua y las partículas del suelo. Cuando un suelo tiene poca capacidad de retención de agua, se seca rápidamente y pierde cohesión entre las partículas.

Suelos con mayor contenido de limo y arcillas presentan mayor estabilidad de agregados estables, por el contrario, el alto contenido de arena limita la formación de agregados y los suelos son totalmente erodibles.

Para poder controlar la erosión eólica es importante que el suelo presente algún tipo de cobertura y algo de rugosidad con lo que se frenaría el desprendimiento de las partículas impidiendo o retardando, de esta manera, la erosión de dichos suelos.

3.5.2 El uso del suelo por parte del hombre a través de las actividades económicas poco sustentables en áreas marginales (principal factor social):

Siempre que se inicie algún tipo de actividad humana en suelos que estén en condiciones de equilibrio con el ambiente, éstos van a sufrir alteraciones de diferente magnitud según las condiciones de clima, relieve y tipo de actividad humana en la que se encuentren. En la mayoría de los casos, la actividad humana es negativa puesto que genera un deterioro acelerado de las características y propiedades físicas, químicas y biológicas, que poseían esos suelos antes de incorporarse a la agricultura. Esto significa, con el transcurrir del tiempo, que hay menos nutrientes y agua disponible para las plantas, por lo tanto, la productividad de los cultivos va a ir en decrecimiento.

Si el hombre no logra controlar esos problemas debe abandonar la tierra, porque la misma va a perder totalmente su capacidad productiva. Mientras que la pérdida de nutrientes puede ser fácilmente repuesta mediante el uso cada vez más frecuente de fertilizantes, la reposición del suelo perdido o erosionado, es prácticamente imposible. (Casas R., *et al.* 1995).

Las actividades de producción de mayor gravitación económica para el área de estudio son: en el área de cultivos de secano (donde se abastecen los cultivos sólo con agua de lluvia) predominan los cereales como el trigo que ocupa una superficie de 140.000 ha, además de otros cultivos como verdes de avena, cebada y centeno que parte de su producción es destinada a la ganadería (incluye lanares y vacunos); en el área de riego el principal cultivo es el cultivo hortícola de cebolla (Iurman, D. 2009). En la zona de riego el problema de la desertificación se encuentra asociada a la salinización de los suelos.

Predominan los sistemas mixtos agrícola-ganaderos, con el cultivo de trigo como producto tradicional, y la explotación ganadera basada principalmente en el monte y campo natural combinados con verdes invernales de: avena o avena+vicia (en el mejor de los casos), cebada, centeno, entre los principales.

3.5.2.1 Impactos de las técnicas y tecnologías agrícolas al medio ambiente

Los impactos son consecuencias derivadas del empleo incorrecto de las técnicas y tecnologías agrícolas sobre el medio ambiente en general. Las técnicas agrícolas se relacionan con el manejo y prácticas de laboreo-pastoreo que el hombre plantea sobre un determinado suelo. La tecnología es un término más moderno y se asocia a la vinculación, transferencia, asesoramiento y capacitación de nuevos conocimientos en los sectores productivos para contribuir al desarrollo productivo y económico más sustentable del área rural.

Teniendo en cuenta las características de clima semiárido, con vientos fuertes y suelos arenosos existe una problemática importante en esta zona consecuencia directa del desmonte o eliminación de la vegetación originaria para hacer agricultura. Es muy común observar voladuras de suelos, con alambrados y caminos cubiertos de arena y la consecuente pérdida de fertilidad de los suelos.

Como se mencionó anteriormente el cultivo hortícola más importante es el de cebolla, el cual para su ciclo productivo requiere o demanda aproximadamente veinte riegos que degradan al suelo por salinización además de la contaminación del agua y el suelo que se

produce por la cantidad de fertilizantes y fungicidas para las diversas enfermedades y malezas que se producen con dicho cultivo.

Este trabajo se concentrará en la observación directa de los impactos que se observan a través del avance de la frontera agrícola por parte del hombre. Esta observación se realiza en forma directa en el campo y/ o mediante otras técnicas de interpretación y análisis visual y digital de teledetección y SIG.

Según Díaz y Pérez (2007), la relación entre la mecanización agrícola y los recursos naturales debemos verla como un sistema integrado, donde la máquina interactúa con cada uno de los recursos y a la vez entre ellos, donde la contaminación de uno afecta al otro.

Todas las actividades que el hombre realiza sobre el medio natural, actuando y modificando los recursos naturales (suelo, agua y aire) han provocado contaminación ambiental. La misma es causa directa del cambio climático global.

En el siguiente punto se va resaltar sólo el impacto de las actividades de laboreo y de las técnicas que el hombre realiza sobre el recurso **natural del suelo**.

3.5.2.2 Impactos que provoca el laboreo al recurso natural “suelo”

Dentro de los impactos ocasionados al suelo se pueden mencionar a los asociados al laboreo y a los asociados a la aplicación de técnicas de cultivos.

Entre los impactos asociados con el **laboreo del suelo** se pueden citar: la compactación del suelo debido al peso de la maquinaria y de elementos como los discos de arado y el roturado excesivo del suelo, causales de pérdidas de biodiversidad biológica. El excesivo laboreo del suelo conlleva a la erosión y a la reducción de la capacidad productiva.

Generalmente en esa zona la preparación del suelo se realiza por medio de labranza convencional (Agamennoni R. 1996). Para esta labranza se requiere una o dos pasadas de rastra pesada para invertir los primeros 15 cm de suelo, eliminar y romper todo el rastrojo del

cultivo y maleza antecesores, luego se deja el cultivo en barbecho (roturado y sin cobertura) para que obtenga humedad para luego de unos meses pueda ser sembrado.

Las **principales ventajas** de esta labranza:

- La acción de los arados, elimina las malezas de raíz, y provoca la muerte de muchos gusanos y otras plagas animales.
- La roturación del suelo incrementa los poros, y mejora las filtraciones, drenaje y aireación.
- Se le incorpora un mayor porcentaje de materia orgánica al suelo.

Las **principales desventajas**:

- El suelo arado queda expuesto a la erosión por acción de agua y aire.
- El continuo tránsito de maquinaria compacta al suelo e impide el crecimiento de las raíces del cultivo.
- La frecuencia de los labores hace que los costos de combustibles sean muy elevados.

Además de estos impactos relacionados al laboreo, existe un conjunto de otros **factores degradantes que conducen a la desertificación del suelo**, entre los que cabe mencionar:

- La deforestación, que al quitar los árboles que cimientan la capa fértil de la tierra aceleran este proceso.
- Realización de quemas de rastrojos con el propósito de enriquecer la tierra con cenizas, lo cual, si bien produce alguna forma de mejora del suelo, también elimina microorganismos y afecta a la evolución del suelo como un ente vivo.
- Excesiva carga animal (cuando el número de animales excede la capacidad límite del suelo): que rompe el equilibrio dinámico entre ganado y tierra provocando que la cubierta vegetal del suelo se empobrezca considerablemente y se desencadenen los procesos erosivos.
- El viento: que barre los suelos desnudos de vegetación y arrastra la arena a tierras que lo inutiliza para los cultivos.

- La agricultura, al ocupar zonas fértiles desplaza la ganadería a zonas marginales y semiáridas.
- El pastoreo excesivo o sobrepastoreo que, en tierras frágiles o marginales, produce desequilibrios en los suelos, y pierden rápidamente su capacidad productiva.

Entre los impactos asociados a las **técnicas de cultivo inadecuadas** se encuentran:

- Los sembradíos en terrenos con mucha pendiente.
- El uso de sistemas de producción agro ganaderos post-revolución verde casi industrializados.
- La utilización de técnicas agrícolas inadecuadas como: laboreo excesivo y uso de maquinaria agrícola pesada, que incrementa la compactación.
- El empleo excesivo o indebido de plaguicidas y fertilizantes inorgánicos causantes del empobrecimiento biológico de los suelos.
- El desarrollo de sistemas y métodos de riego inadecuado, causante de procesos de salinización. Las sales solubles, particularmente si están en exceso, producen efectos perjudiciales en las plantas. Este fenómeno puede producirse por el uso de aguas excesivamente salinas en suelos de buena calidad o, al contrario, por el uso de aguas de buena calidad en suelos de elevado contenido de sales.
- La monocultura (falta de diversidad productiva) agropecuaria.

De modo general el alto contenido de biopatógenos contaminantes provenientes de los animales de trabajo y domésticos que se vierte directamente, provocan la contaminación de los suelos, cultivos, agua y también puede dañar la salud humana. En cuanto a la utilización de plaguicidas y fertilizantes en la actividad agrícola esto puede ocasionar una fuente de contaminación de suelos y fundamentalmente del agua, tanto superficial (ríos, lagos) como subterránea (acuíferos) (Martino, *et al.*, 2009).

Las rotaciones ganadero-agrícolas aumentan la productividad de la tierra sobre un ciclo de generalmente entre 3 a 5 años (o aun hasta 10 años en sistemas orgánicos). Esta dependencia surge a través de un vehículo como es el suelo. En particular, los nutrientes, los patógenos y las semillas de malezas dejadas en el suelo después de la cosecha de un cultivo, pueden afectar la productividad de cultivos subsiguientes (Iglesias, D., 2005).

3.6 Utilización de sensores remotos para el estudio de aspectos relevantes del suelo

Es importante tener en cuenta que cada cubierta tiene rasgos espectrales diferentes entre sí. Estos rasgos están dados por la **reflectividad** que tiene cada cobertura terrestre. Dicha reflectividad se expresa en el espectro electromagnético⁷ y es el resultado de la relación entre el flujo de energía incidente y el reflejado por un objeto de la superficie terrestre; el mismo va a depender de la composición física o química de las diferentes cubiertas (**figura 3.6**).

La presencia de vegetación limita el poder obtener información espectral edáfica. Esta se puede obtener en forma indirecta de acuerdo a las características de la cubierta vegetal o en función de la ubicación de los suelos dentro del paisaje. En cambio, en los suelos descubiertos el comportamiento espectral es mucho más uniforme que el de la vegetación dando como resultado una curva bastante plana y de carácter ascendente la cual se modifica de acuerdo a la composición química del mismo, textura, estructura y contenido de humedad (Chuvieco, E., 1996).

Los suelos de origen calcáreos son de color blanco y ello implica que tengan una alta reflectividad en las bandas del espectro electromagnético correspondiente en la porción del visible. Los suelos arcillosos, por su alto contenido de óxido de hierro, reflejan en la banda del rojo. Por el contrario, los suelos con mayor materia orgánica se oscurecen y tienen una baja reflectividad (Vázquez, P., *et. al.* 2006).

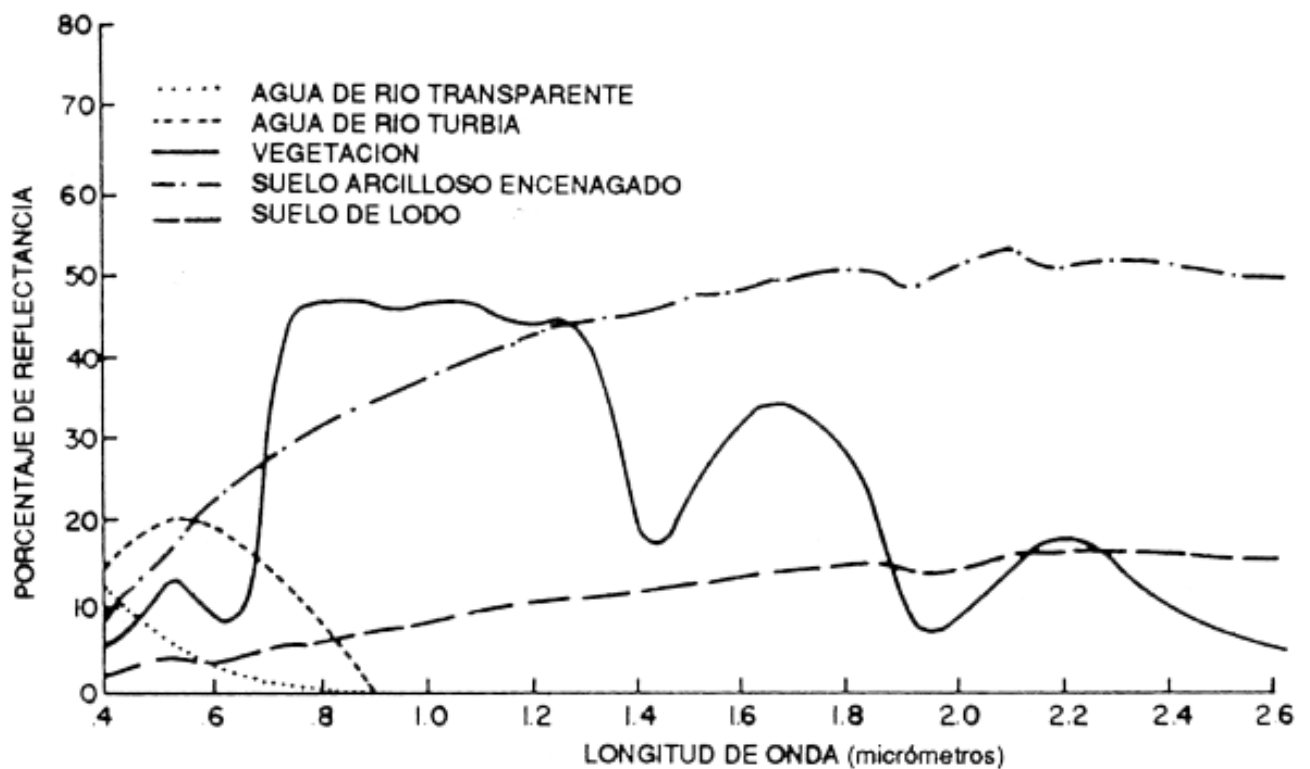
Con respecto a las características físicas del suelo, en líneas generales, puede afirmarse que la reflectividad espectral resulta mayor cuanto más finos y compactados sean los suelos.

El contenido de humedad de los mismos también incide en su reflectividad, debido a que influye inversamente en el rango del visible e infrarrojo, en torno a 1,45 y 1,92 micrones, y se visualiza con mayor intensidad en las bandas donde está presente la absorción de agua.

⁷ El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos cósmicos, rayos gamma y los rayos X, pasando por la radiación ultravioleta, la luz visible y la radiación infrarroja, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio.

En los suelos la textura, estructura y contenido de humedad están relacionados. Por esto, un suelo arcilloso tiende a tener un alto contenido de humedad, fuerte estructura y fina textura, lo que supone una baja reflectividad. Por el contrario, un suelo arenoso presenta una estructura débil y una textura gruesa que impide la retención de agua por lo que representará una reflectividad más elevada.

FIGURA 3.6: FIRMAS ESPECTRALES DE DIVERSAS COBERTURAS DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA



Fuente: <http://www.fao.org/docrep/003/t0446s/T0446S04.htm>

3.6.1 Antecedentes y estudios de impactos medioambientales utilizando imágenes de satélites y SIG

La teledetección espacial ofrece la posibilidad de registrar y evaluar las condiciones de superficie a distintas escalas, permitiendo estudios multitemporales gracias a su alta frecuencia de cubrimiento y en consecuencia, constituye una de las técnicas más utilizadas en estudios de desertificación.

Los sensores remotos representan una tecnología muy valiosa y en constante evolución para la cartografía y la evaluación de la degradación de los suelos. De los diversos productos disponibles, las imágenes de satélites son las más empleadas. La disponibilidad de imágenes multiespectrales, obtenidas con cierta periodicidad, permite monitorear los cambios de los procesos de erosión eólica.

Dentro de las tecnologías modernas, las imágenes satelitales y los SIG, son muy utilizados en estudios de evaluación de los impactos medioambientales causados por las técnicas agrícolas llevadas a cabo por el hombre.

Si se piensa en el SIG de una región, este contendrá información ambiental y socioeconómica de manera que pueda consultar las características de un determinado espacio o cuales son las áreas que cumplen con el conjunto de criterios recomendables para, por ejemplo, instalar un parque eólico. De este modo un SIG se convierte en una herramienta fundamental para llevar a cabo estudios de Ordenamiento del Territorio o Evaluación de Impacto Ambiental. El rasgo destacado del SIG consiste en su capacidad para elaborar modelos espaciales, procesos por el cual, a partir de la combinación de información disponible es posible inferir características nuevas del área en estudio.

Entre los antecedentes y estudios de impactos más importantes (Ponvert, D. *et al.* 2013) se pueden citar los siguientes:

- Estudios de degradación de suelos:

Desde el año 1998, en Cuba se han utilizado las herramientas antes mencionadas para valorar las diferentes variables que intervienen en el proceso paulatino de degradación del suelo. Para ello se han valorado las diferentes variables medioambientales que participan en el proceso, y mediante análisis multicriterios, se han integrado las posibles soluciones en un único mapa que muestran las áreas de terreno que son más susceptibles a procesos de desertificación. Uno de los estudios más actuales y relevantes que utilizó esta metodología y fue realizado por Cruz, *et al.*, 2010.

Cabe aclarar, en general cuando se habla de Cuba, se piensa en un país húmedo muy alejado del paisaje desértico. Éstas, son ciertas áreas dentro del territorio nacional. La gran mayoría no está en esa situación. Hay otras áreas, por ejemplo la zona de Guantánamo, que tiene niveles mayores de desertificación. Se trata de una zona árida y semiárida por las condiciones que se desarrollaron y que la enmarcaron en una situación compleja debido al proceso de desertificación.

En el caso de Camahuey, se trabaja fuertemente en una serie de programas, dentro de los cuales está el de Acción Nacional y Provincial de Desertificación y Sequía. Desgraciadamente, todavía quedan muchas acciones por hacer relacionados con los malos manejos que, todavía, hay sobre estas áreas como la deforestación, uso inadecuado de técnicas agrícolas, insuficiente disponibilidad de agua y la intensa sequía que se produjo en el período 2003-2006, en la zona Norte. La ciudad de Camahuey fue una de las más afectadas por la sequía porque se quedó con sólo el 7% de agua en sus diques para el abastecimiento de todo su territorio. Es una provincia con territorio llano, de sabanas y con más de 300 mil habitantes.

- Estimación de modelos de escorrentía y erosión:

Se destaca en este sentido estudios realizados en Cuba por: Alonso, *et al.*, 2007; Leal, *et al.*, 2007 y Almoza *et al.*, 2007. Igualmente, las imágenes de satélites y los SIG han servido como herramientas principales para realizar estudios de escorrentía superficial y erosión hídrica a escala de cuenca hidrográfica (Díaz, C., *et. al.* 1999). Ambas herramientas en

combinación con modelos como el de RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), incorporan como variables independientes los elementos de esta ecuación captados mediante imágenes de satélites de muy alta resolución espacial (Spot-XS) y de análisis espaciales con SIG.

También se resalta la tesis de la Lic. Claudia Paola Cardozo presentada en mayo de 2013 ante la Facultad de Matemática, Astronomía y Física y el Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich como parte de los requerimientos para la obtención del grado de Magister en aplicaciones espaciales de alerta y respuesta temprana a emergencias en la Universidad Nacional de Córdoba. Presenta el primer mapa de zonación de susceptibilidad por procesos de remoción en masa para la cuenca del río Tartagal (Salta, Argentina) usando técnicas de Sensores Remotos y un Sistema de Información Geográfica (SIG). En el trabajo se estima que la superficie afectada y el volumen del material removido durante el alud del 2009, fueron aproximadamente de 3 km² y 2 km³, respectivamente. La magnitud del evento fue de 6.3. Los resultados revelan que el 15.07 % de la cuenca presentó susceptibilidad baja, mientras que el 22.45 % evidenció susceptibilidad moderada y el 62.48 % registró susceptibilidad alta. (Cardozo, C. 2013)

- Estudios de la salinidad y fertilidad de los suelos:

Algunos estudios relacionados a la salinización y fertilidad de suelos que se han llevado a cabo en Cuba por Lau *et al.*, 1998, 2003 y 2006. Las imágenes de muy alta resolución espacial son herramientas apropiadas para detectar niveles de salinidad y sodicidad⁸ en el suelo asociados con variables medioambientales y físicas. Aplicando diversos algoritmos de clasificación que se apoyan en variables sensadas por satélites, apoyadas con mediciones de campo y análisis con SIG es posible obtener una zonificación del fenómeno.

- Aplicación de fertilizantes, pesticidas e insumos agrícolas a escala intraparciliar:

⁸ Los suelos sódicos contienen alta cantidad de sodio intercambiable y bajo nivel de sales solubles. El exceso de sodio intercambiable tiene efecto adverso sobre el crecimiento de plantas y estructura del suelo. Su resultado se traduce en reducción en los rendimientos de cultivos.

La agricultura de precisión permite ubicar las áreas de terreno con déficit de insumos mediante el análisis e integración de las variables obtenidas del barrido óptico-láser del suelo e inyectar insumos, justo en los lugares que presentan dichos déficits.

- Evaluación y monitoreo de terrenos labrados por la maquinaria agrícola:

Las imágenes de satélites de alta resolución espacial (Sopt-XS, Google Earth, IKONOS, QuickBird, y otras) son ideales para captar las áreas de terreno que han sido preparadas por la maquinaria agrícola. Luego estas imágenes pueden constituir una especie de “línea base” para realizar estudios posteriores comparativos sobre el cambio de uso y cobertura de la tierra.

En el trabajo (García Nieto, H, *et.al*, 2002): “Uso de sensores remotos y SIG para delimitar los cambios en el uso del suelo agrícola de 1970 a 1997 en el estado de Guanajuato (México)”. Se delimitaron cuatro clases de uso actual del suelo y se relacionaron con información del uso anterior, disponible en forma digital, con el propósito de estudiar los cambios en el uso del suelo agrícola durante el período 1970 - 1997. La delimitación del uso actual se realizó mediante el sistema ArcView, clasificando de manera visual, directamente en la pantalla de la computadora, imágenes de satélite Landsat TM de 1996 y 1997, con apoyo de información de cartas topográficas edición 1998, ortofotos digitales de 1993 y levantamientos de campo con GPS.

Mediante la comparación de estadísticas de los mapas de uso anterior y actual se cuantificaron los cambios generales en el uso del suelo y la sobreposición de ambas capas de información permitió localizar espacialmente dichos cambios. Se calculó una disminución de 57 051 ha (4%) en la totalidad del área agrícola del estado de Guanajuato en un periodo aproximado de 27 años. A pesar de la tendencia general de disminución del área agrícola, la localización de los cambios indica el abandono de algunas áreas agrícolas, incorporación de tierras de uso pecuario o forestal a la agricultura y crecimientos urbanos e industriales sobre áreas de uso agrícola. La delimitación de los principales cambios en el uso del suelo y su posterior relación con la aptitud para la agricultura permitirá aportar más elementos de juicio que pueden ser de utilidad para soportar alternativas productivas dentro de las propuestas de reordenamiento de uso del suelo.

3.6.2 Satélites Landsats y los distintos sensores (MSS, TM, ETM+, OLI y TIRS) utilizados para esta investigación: sus especificaciones técnicas

La serie de satélites de la familia Landsat tiene su origen en 1972 cuando se puso en órbita el primero, denominado ERTS (Earth Resource Technology Satellite). A partir del segundo lanzamiento, que tuvo lugar en 1975, se les rebautizó con el nombre de LANDSAT.

Los primeros 3 satélites Landsat tenían una fisionomía muy similar, con unas dimensiones aproximadas de 3 m de altura por 1.5 de diámetro, que se convertían en 4 m cuando se extendían los paneles solares. El peso de todo el sistema, rondaba los 960 kg.

Los Landsat 4 y 5, modifican en gran parte su morfología, instrumental a bordo y características orbitales.

En la siguiente **tabla 3.6.2a** se muestran las características principales del Landsat 4-5:

Tabla 3.6.2a: Principales características de los Satélites 4 y 5 de la Misión Landsat 1

Altura de vuelo	705 Km
Ciclo de recubrimiento	16 días
Periodo orbital	98.9 minutos
Hora adquisición en España	9.45 a.m hora solar

Sensores ERTS-1 y RBV (satélites Landsat 1, 2 y 3):

Cada satélite se constituía por un sistema de cámaras de televisión (tres en ERTS-1 y LANDSAT 2 y dos en el LANDSAT 3), las mismas observaban y registraban una escena de 185 x 185 Km, en forma de barrido. Los sensores a bordo de estos satélites eran RBV (Return Beam Vidicon) en LANDSAT 1 y 2, y MSS (Multispectral Scanner) en LANDSAT 3. Los sensores MSS cubrían 4 bandas de análisis, operaban en la faja del espectro electromagnético comprendida con dos bandas en el visible y dos bandas en el infrarrojo. Las bandas visibles (4 y 5) permitía la detección de aspectos antrópicos, como áreas urbanas o vías de comunicación a la vez que podían proporcionar información sobre la calidad de la aguas. Las dos bandas del infrarrojo cercano (6 y 7) permitían registrar parámetros vitales en la actividad de las plantas, además de ser especialmente sensibles a la humedad.

La resolución espacial varía de acuerdo a cada sensor; en el ERTS-1 y LANDSAT-2 es de 80x80m el pixel, con 4 bandas espectrales (dos en el visible y dos en el infrarrojo).

En el satélite LANDSAT 3, además de esas cuatro bandas presenta una banda espectral en pancromático con una resolución espacial de 40x40m.

Los tres primeros satélites LANDSAT fueron construidos a partir de una modificación del satélite meteorológico NIMBUS. Tenían una órbita circunpolar, sincrónica con el sol, orbita a una altura aproximada de 920 km. Los satélites realizaban una órbita completa alrededor de la tierra cada 103 minutos y 27 segundos, cubriendo 14 fajas de la superficie terrestre por día. Cada 18 días ellos pasaban sobre la misma región de la superficie de la Tierra. El horario de paso de los satélites por el Ecuador era a las 09:30 horario local.

Sensor MSS (satélites Landsat 2, 3 y 4):

El sensor MSS fue colocado a bordo de LANDSAT-4 por insistencia de los investigadores del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, quienes querían un sistema multiespectral para estudios agrícolas.

Se trata de un barredor óptico electrónico, que opera en cuatro canales del espectro electromagnético, dos en el visible (4 y 5) y dos en el infrarrojo cercano (6 y 7). Una escena terrestre observada por este sensor representaba un área de 185 x185 km. (<https://landsat.gsfc.nasa.gov/the-multispectral-scanner-system/>)

Sensor TM (satélite Landsat 5):

La principal aportación de los dos últimos Landsat es la incorporación de un nuevo sensor, denominado Thematic Mapper (TM), especialmente diseñado para la cartografía temática. Este sensor mejora su antecesor Multispectral Scanner (MSS) en los siguientes aspectos principales: aumenta su resolución espacial a 30 metros e incrementa la resolución espectral de 4 a 7 bandas, y la resolución radiométrica pasa de 6 a 8 bits.

Las mejoras que ofrece el sensor TM, es que facilita una mayor precisión para la cartografía temática, ampliando el rango de aplicaciones operativas tanto terrestres como marinas. (<https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-5/>)

En la siguiente **tabla 3.6.2b** se visualizan las características de los canales espectrales o bandas del sensor Thematic Mapper.

Tabla 3.6.2b: Características de los canales o bandas espectrales del sensor TM

Banda	Longitud de onda (micrómetros)	Región del espectro
tm1	0.45-0.52	Azul
tm2	0.52-0.60	Verde
tm3	0.63-0.69	Rojo
tm4	0.76-0.90	Infrarrojo cercano
tm5	1.55-1.75	Infrarrojo cercano
tm6	10-12	Infrarrojo térmico
tm7	2.08-2.35	Infrarrojo medio

Sensor ETM+ (satélite Landsat 7):

Fue puesto en órbita en junio de 1999. Tiene un peso de 2126 kg, su órbita es heliosincrónica a una altura de 705 km con una revisita de 16 días. El instrumento ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), emplea banda S para telemetría y control y banda X para la transmisión de las imágenes.

El sensor ETM+ es una mejora del TM empleado por la serie Landsat con la adición de una banda pancromática (en escala de grises), dos rangos de ganancia, una mejor resolución espacial en la banda térmica y la inclusión de dos calibradores solares. El tamaño de la escena es de 183 km x 170 km. Este sensor posee ocho bandas que pueden obtener imágenes de alta resolución de la superficie terrestre, el ancho de barrido es de 185 km, la resolución espacial es de 30 m en multiespectral y 15 m pancromática.

Las principales aplicaciones de las imágenes Landsat son: agricultura, forestación, cambio del uso de la tierra, desertificación, recursos hídricos, geología, silvicultura. (<https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-7/landsat-7-bands/>)

Sensores OLI- TIRS (satélite Landsat 8):

El 11 de febrero del 2013 a las 18:02.536 UTC (15:02.536 hora Argentina), fue lanzado el satélite Landsat 8 (cuyo nombre técnico es LDCM: Landsat Data Continuity

Mission o Misión de Continuidad de la Información Landsat) desde la base aérea Vandenberg en California, gracias a una operación conjunta entre la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Landsat 8, que reemplazará a Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM+, cuenta con dos instrumentos de toma de datos: el OLI (Operational Land Imager o Generador Operacional de Imágenes de Tierra) y el TIRS (Thermal Infrared Sensor, o Sensor Infrarrojo Térmico). Las escenas de Landsat 8 tienen un total de 11 bandas espectrales, 9 tomadas por el OLI y 2 por el TIRS. (<https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-bands/>)

En las siguientes **tablas 3.6.2c y 3.6.2d** se describen las principales características del sensor OLI y TIRS.

Tabla 3.6.2c: Características de los canales o bandas espectrales del sensor OLI

Bandas Espectrales de OLI	Longitud de onda (µm)	Resolución (m)
1 - Costero / Aerosol	0.433 - 0.453	30
2 - Azul	0.450 - 0.515	30
3 - Verde	0.525 - 0.600	30
4 - Roja	0.630 - 0.680	30
5 - Infrarrojo cercano	0.845 - 0.885	30
6 - Infrarrojo de onda corta	1.560 - 1.660	30
7 - Infrarrojo de onda corta	2.100 - 2.300	30
8 - Pancromática	0.500 - 0.680	15
9 - Cirrus	1.360 - 1.390	30

Tabla 3.6.2d: Características de los canales o bandas espectrales del sensor TIRS

Bandas Espectrales de TIRS	Longitud de onda (µm)	Resolución (m)
10 - Infrarrojo termal o de onda larga	10.30 - 11.30	100
11 - Infrarrojo termal o de onda larga	11.50 - 12.50	100

Los archivos de Landsat 8 son más grandes que los del Landsat 7, rondando los 2 GB, por tener más bandas que sus antecesores y tratarse de archivos de 12 bits y contener una banda de valoración de calidad (QA), que proporciona información sobre la “calidad” de

determinado píxel, respecto a anomalías en la toma del dato por problemas de instrumental u otras, tales como presencia de aerosoles, agua o nieve, etc.

Sensor Radar:

El Radar es el sensor activo de teledetección más difundido y se lo denomina Radar de Apertura Sintética (SAR). Los satélites de tipo activo, aunque menos numerosos que los pasivos, aportan nuevos datos que complementan y enriquecen la información captada por los radiómetros y otros sensores de tipo pasivo. Las imágenes radar, a diferencia de las imágenes de los sensores ópticos, ofrecen la posibilidad de cartografiar zonas del planeta que tengan presencia de nubes, y además permiten medir con precisión los cambios de la naturaleza, de un terreno o sus movimientos. Los satélites más modernos basados en tecnología radar son: Radarsat 1 y 2 y ERS 1 y 2. La misión topográfica SRTM es otro ejemplo de las aplicaciones del radar en teledetección.

El **Radarsat** es un satélite de teledetección canadiense del tipo activo. Su sensor SAR transmite un pulso de microondas a la tierra. EL SAR mide la cantidad de energía que regresa al satélite después de interactuar con la superficie de la tierra. La gran ventaja de las microondas es que no son afectadas por las condiciones meteorológicas (nubosidad) ni por la iluminación solar (puede "ver" en la oscuridad). En cambio, el radar de microondas es muy dependiente del ángulo de incidencia y de la polarización y frecuencia a la que se trabaje. Aporta valiosa información para monitorear los recursos naturales. Posee distintos modos de captura de imagen. Cada modo está definido por el área de cobertura y por nivel de detalle o resolución. Existen 7 tamaños de imágenes, que van desde el fino para áreas de 50x50km y 10 metros de resolución, hasta el scan SAR de 500x500km, con una resolución nominal de 100 metros por píxel. Las imágenes obtenidas son en blanco y negro, pero pueden combinarse con imágenes de otros satélites para generar imágenes en color.

El ERS-1 y 2 fueron lanzados en 1991 y 1995. Sus principales misiones son el estudio de los océanos, zonas costeras y casquetes polares. Incorporan los siguientes sensores:

- AMI (Active Microwave Instrument)
- Radar en la banda C
- SAR (Radar de Apertura Sintética)

- Dispersómetro (3 antenas)
- Altimetro (banda K)
- ATSR (Along Track Scanning Radiometer)
- Gome (Estudio de la capa de ozono)

En febrero del 2000 el transbordador espacial **Endeavour** de la NASA realizó, durante 11 días, la misión topográfica **SRTM** (*Shuttle Radar Topography Mission*) para generar un modelo digital de elevación (MDE) global mediante interferometría RADAR desde el espacio. Los datos disponibles son de libre distribución, tienen 30 metros de resolución por píxel, en el caso de los Estados Unidos y 90 metros para el resto del mundo. (Ibáñez Martínez, E., 2008)

La información digital obtenida por dicho radar ha sido bautizada como "SRTM90", y representa un enorme salto adelante para los científicos en su estudio de la topografía de nuestro planeta. La misión SRTM observó las masas de tierra situadas entre los 60 grados de latitud norte y los 60 grados de latitud sur, cubriendo aproximadamente desde la punta sur de Groenlandia hasta el extremo sur de Sudamérica

3.6.3 Tecnología Lidar

El LIDAR (Light Detection and Ranging) es un sistema que permite obtener una nube de puntos del terreno tomándolos mediante un escáner láser aerotransportado (ALS). El ALS emite pulsos de luz infrarroja que sirven para determinar la distancia entre el sensor y el terreno. Puede ser transportado en un avión o un helicóptero. Cuando se quiere primar la productividad y el área es grande se utiliza el avión, y cuando se quiere mayor densidad de puntos se usa el helicóptero, debido a que éste puede volar más lento y bajo. (Chuvieco, E, 1996).

Para realizar este escaneado se combinan dos movimientos. Uno longitudinal dado por la trayectoria del avión y otro transversal mediante un espejo móvil que desvía el haz de luz láser emitido por el escáner.

Para conocer las coordenadas de la nube de puntos se necesita la posición del sensor y el ángulo del espejo en cada momento. Para ello el sistema se apoya en un sistema GPS diferencial (Sistema de Posicionamiento Global) y un sensor inercial de navegación (INS).

Conocidos estos datos y la distancia sensor-terreno (obtenida con el distanciómetro) se pueden obtener las coordenadas buscadas. El resultado es de decenas de miles de puntos por segundo.

Para poder referenciar correctamente el punto que se ha medido en el terreno, se utiliza la combinación de dos técnicas diferentes:

- INS (Sistema de Navegación Inercial): permite medir la orientación exacta del sensor. Este sistema mide los ángulos con una precisión de 0.001 grados, lo que permite compensar los movimientos bruscos que sufre el sensor a bordo del avión, pudiendo calcular en cada momento las coordenadas exactas del punto que estamos midiendo en el terreno.
- GPS diferencial se utiliza para poder medir la posición exacta del sensor.

Cuando el rayo láser llega al terreno se comporta de forma diferente dependiendo de las características de los objetos que se encuentre: En una superficie sólida (edificios, suelo, etc.), el rayo se refleja y vuelve al avión. En el agua el rayo láser es absorbido y no vuelve al avión, por lo que no se obtiene información. En vegetación, al chocar con la copa del árbol parte del rayo se refleja y vuelve al avión, pero parte del rayo la atraviesa hasta llegar al suelo. El sistema guarda el primer y último pulso. De esta forma se obtienen las alturas del terreno con una precisión del orden de 15 cm. en altura. Si el sensor trabaja con una frecuencia de hasta 150 Khz, el proceso de medida descrito anteriormente se repite 150.000 veces por segundo, lo que permite obtener modelos de alta precisión, con una resolución espacial de 1 metro por pixel. (Chuvieco, E, 1996).

Otras características de este sistema, son:

- Por cada pulso emitido puede captar 2 o más ecos. Esto permite recoger información a diferentes alturas. Por ejemplo, si se está sobrevolando una zona arbolada, el primer eco puede responder a la copa de los árboles y el último a la superficie terrestre.
- La intensidad reflejada. Puede ser muy útil para la clasificación posterior.

3.7 Los Sistemas de Información Geográfica

En la actualidad la complejidad de los problemas ambientales requiere la incorporación de nuevas técnicas y herramientas, del uso de una mayor cantidad de datos, de mejores conocimientos y de la elaboración de modelos. En este contexto los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son de gran utilidad al apoyar la descripción, explicación y predicción de patrones y procesos relacionados con el manejo de los recursos naturales en diferentes escalas geográficas (Longley, *et al.*, 2010). En sus comienzos los SIG fueron un conjunto de aplicaciones innovadoras basadas en procesos computarizados para crear mapas, pero en la actualidad los SIG son alimentados por datos y modelos correctos para ser un elemento básico en la organización, interpretación, y comunicación de la información espacial de una manera eficiente y efectiva (INIA, 2007). Por esta razón son utilizados para apoyar a los tomadores de decisiones al modelar una serie de escenarios potenciales, útiles para la planeación del desarrollo y planeación de los bienes y servicios ambientales (Edeso Fito, J. *et al.* 2000).

Un SIG es un sistema computarizado diseñado para manipular datos geoespaciales a diferentes escalas, es decir, el procesamiento de datos geográficos es esencial en el análisis de los objetos y fenómenos donde lo espacial es relevante. Un elemento es un objeto que se encuentra sobre la superficie de la tierra, más o menos permanente, mientras que un fenómeno está relacionado con elementos que tienen mayor dinamismo, por ejemplo: la erosión o el cambio en la cobertura vegetal y en el uso del suelo. Un SIG utiliza datos geoespaciales porque contiene información georreferenciada, es decir, contiene valores en dos ejes cartesianos (X e Y) o coordenadas geográficas (latitud y longitud), también puede elaborar modelos tridimensionales con la incorporación del eje Z. En consecuencia, el procesamiento del dato es llamado geoinformación y es un tipo específico de información que involucra datos espaciales. Por ello el procesamiento de la información geográfica es esencial para describir, explicar y predecir el comportamiento presente o futuro de un objeto o fenómeno de interés ambiental. En función a las tareas ejecutadas se puede identificar dos tipos de sistemas de información: a) de procesamiento de transacción, referido al registro y manipulación de la ocurrencia de las operaciones como por ejemplo: operaciones bancarias y sistema de reserva de pasajes de transporte; b) de soporte de decisiones, donde el énfasis se pone en la manipulación, análisis y modelamiento, como por ejemplo: el diseño e implementación de planes de manejo forestal o en predicciones sobre el cambio en la cobertura vegetal.

3.8 Los principales programas o softwares comerciales utilizados en el SIG

Existen en el mundo una gran cantidad de programas computarizados, algunos de ellos sin costo y de libre acceso en internet, mientras que otros tienen acceso restringido y costo, en la **tabla 3.8** se muestran algunos de los programas libres organizados en función del sistema operativo que utilizan, entre los que se destacan el GRASS (Geographic Resources Analysis Support System), el ILWIS (Integrated Land and Water Information System), el SPRING (Sistema de Procesamiento de la Información Georreferenciada), el Quantum GIS y el gvSig (Generalitat Valenciana Sistema de Información Geográfica). Estos se destacan porque combinan herramientas de procesamiento de imágenes adquiridas por sensores remotos con análisis espacial.

Tabla 3.8: Programas de SIG libres y sistemas operativos en los que trabaja

Programas	Windows	Mac OS X	GNU/Linux	Unix
MapServer	Si	Si	Si	Si
GeoPista	Java	Java	Java	Java
GeoServer	Si	Si	Si	Si
GRASS	Si	Si	Si	Si
gvSIG	Java	Java	Java	Java
ILWIS	Si	No	No	No
Generic Mapping Tools	Si	Si	Si	Si
JUMP	Java	Java	Java	Java
Kosmo	Java	Java	Java	Java
LocalGIS	Java	Java	Java	Java
QuantumGIS	Si	Si	Si	Si
SAGA GIS	Si	Si	Si	Si
SEXTANTE -gvGIS	Java	Java	Java	Java
MapGuide Open Source	Si	Si	Si	Si
uDIG	Si	Si	Si	No
MapWindows GIS	Si	No	No	No
SPRING	Si	No	Si	Solaris

Capítulo: III MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL- LOS PRINCIPALES SOFTWARES COMERCIALES UTILIZADOS EN EL SIG

En la **tabla 3.8.1** se muestran 13 programas de SIG comerciales más utilizados entre los que se destacan el ArcGIS el cual es la versión más actualizada y sencilla del programa ArcInfo diseñado por la compañía ESRI (Environmental Systems Research Institute). Dicho programa marco un avance en el desarrollo de los SIG en la década de 1970, al definir y aplicar el concepto Arco- Nodo en los SIG de carácter vectorial. Además de este software existen otros que son muy utilizados como los sistemas MapInfo e IDRISI, el primero tiene carácter vectorial y fue desarrollado por la empresa del mismo nombre, el segundo es un sistema que integra herramientas de percepción remota y SIG, fue desarrollado por la Universidad de Clark en Estados Unidos.

Tabla 3.8.1: Programas de SIG comerciales y sistemas operativos en los que trabaja

Programas	Windows	Mac OS X	GNU/Linux	Unix
ArcGIS	Si	No	No	Si
ArcView	Si	No	No	No
ArcInfo	Si	No	No	Si
Autodesk Map	Si	No	No	No
Caris	Si	No	No	No
CartaLinx	Si	No	No	No
Geomedia	Si	No	No	Si
IDRISI	Si	No	No	No
Manifold	Si	No	No	No
MapInfo	Si	No	Si	Si
Maptitude	Si	No	No	No
MicroStation Geographics	Si	Abandonado	No	Abandonado
GE Smallworld	Si		Si	Si
SITAL	Si	No	No	No
TatukGIS	Si	No	No	No
TNTMips	Si	No	No	Si
TransCAD	Si	No	No	No
SavGIS	Si	No	No	No

Capítulo: IV

4. Revisión histórica en estudios de suelos de Argentina y propios del área de estudio

4.1 Un poco de Historia

Los estudios de suelos comenzaron en la Argentina como una necesidad para producir cultivos. Alrededor de 1850 la producción de ganado era suficiente para cubrir las necesidades domésticas pero era necesario importar trigo. Hubo intentos sin éxito para desarrollar granjas con la población nativa y en consecuencia el gobierno apeló a promover la inmigración. Para ellos, era necesario conocer la calidad de la tierra y comenzaron a recolectarse algunos datos dispersos de suelos sin la producción de mapas de suelos.

En 1898 se creó el Ministerio de Agricultura con cuatro Secretarías; Agricultura y Ganadería, Comercio e Industrias, Tierras y Colonias, e Inmigración. Se promovió la colonización y se produjeron algunos mapas de suelos sobre la base de criterios geológicos. Entre 1930 y 1940 al mismo tiempo que se construían grandes presas hidroeléctricas, se desarrollaron proyectos para áreas de regadío y apareció la necesidad de conocer los suelos que se iban a regar (Gómez, *et al.*, 1994).

Durante los años 50' ocurrió un período de sequía prolongado con la consecuente erosión eólica intensa en el área semiárida y una disminución importante en la producción de cultivos de granos, lo que determinó una fuerte tendencia a estudiar los suelos de modo de prevenir la desertización. Finalmente, la cartografía de suelos comenzó como una necesidad política para la implementación de una reforma de impuestos.

Como una consecuencia, en los años 60' comenzó un proyecto muy ambicioso para incrementar el conocimiento del recurso suelo. Se denominó: "Plan Mapa de Suelos de la Región Pampeana" y lo llevó adelante el INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). El resultado de este proyecto fue muy prolífico en publicaciones. Sirve como ejemplo el mapa de suelos de la Región Pampeana en escala 1:50.000 (INTA, 1974-1997).

Apoyaron este emprendimiento la ayuda internacional y el compromiso de jóvenes profesionales de diferentes disciplinas (geología, agronomía, geografía, ciencia del suelo y otros). Se utilizaron los conceptos y tecnologías más actualizados del momento para los trabajos de génesis, clasificación y cartografía de suelos. Se utilizaron fotografía aéreas sistemáticamente así como la 7ª Aproximación de la taxonomía norteamericana de suelos (Soil Survey Staff, 1960) como sistema de clasificación de suelos y la Clasificación de las Tierras por Capacidad de Uso (Klingebiel Y Montgomery, 1961) como sistema interpretativo. Los estudios de suelos y paisaje se centraron en la Región Pampeana (Tricart, J. 1973), pero la experiencia constituyó una verdadera escuela para especialistas en clasificación y cartografía de suelos. Más adelante, ellos fueron los líderes de grupos de trabajo en diferentes provincias fuera de la Región Pampeana y trabajaron para organizaciones nacionales y provinciales, universidades y centros de investigación. De esta manera, el país contó con una red de especialistas utilizando una metodología homogénea adaptada a las peculiaridades de cada región.

En los años 80' comenzó a prepararse el Atlas de Suelos de la República Argentina (SAGyP – INTA, 1990) dentro de un Proyecto de las Naciones Unidas, integrando información acerca de regiones estudiadas con profundidad debido a su alta productividad, junto con otras sin cartografía de suelos como consecuencia de su baja vocación agrícola.

4.2 ¿Qué significa fisiografía?

Etimológicamente fisiografía viene de *physios* (naturaleza) y *graphos* (descripción). Es decir, “descripción de las producciones de la naturaleza”, entendidas como el conjunto, orden y disposición de todas las entidades que forman el universo. (Villota, Bogotá 1992).

Con el estudio fisiográfico se busca explicar los caracteres generales de la distribución de los suelos en el paisaje, considerando su evolución a través del tiempo geológico, su posición en formas típicas, su clasificación fisiográfica para correlacionarla con la pedología (estudio del suelo en su ambiente natural) y así sacar conclusiones válidas para el uso adecuado de los suelos.

4.3 Características de los Suelos del sur bonaerense: sus perfiles y texturas

Estos suelos presentan características físico-químicas que los hacen particulares (Papadakis, J. 1963). Son en su mayoría Haplustoles y Calciustoles. Son de textura arenosa a arenosa franca, muy sueltos, susceptibles a la erosión eólica, con niveles de materia orgánica en promedio cercano al 1%, que rara vez superan valores del 2%. Los niveles de fósforo determinados por el método de Bray Kurtz oscilan entre 5 y 30 ppm (partes por millón), aunque en áreas de monte natural estos valores podrían superar los 50 ppm. El desarrollo de los suelos y la diferenciación de horizontes son escasos en los suelos de la región. La cantidad de calcáreo acumulado debido a las reducidas precipitaciones produce fuertes reacciones al ácido clorhídrico en todo el perfil.

Debido a la típica textura gruesa de los suelos, la infiltración básica puede oscilar entre 25 y 50 mm/h, llegando hasta máximos de 200mm/h. La misma composición granulométrica genera densidades aparentes del orden de un mínimo de 1.4 a un máximo de 1.7 Mg/m³. La retención de agua en el suelo es baja llegando de un máximo de 12% en peso a capacidad de campo a un mínimo de 6% en peso de agua en el punto de marchitez permanente. La humedad disponible cada 10 cm de perfil es de aproximadamente entre 8 y 12 mm, lo cual sumado a la demanda hídrica hace que se trate de suelos a los que necesariamente haya que aplicar agua en forma complementaria cuando se trata de cultivos de alto consumo. (Sánchez, R., *et.al*, 1998)

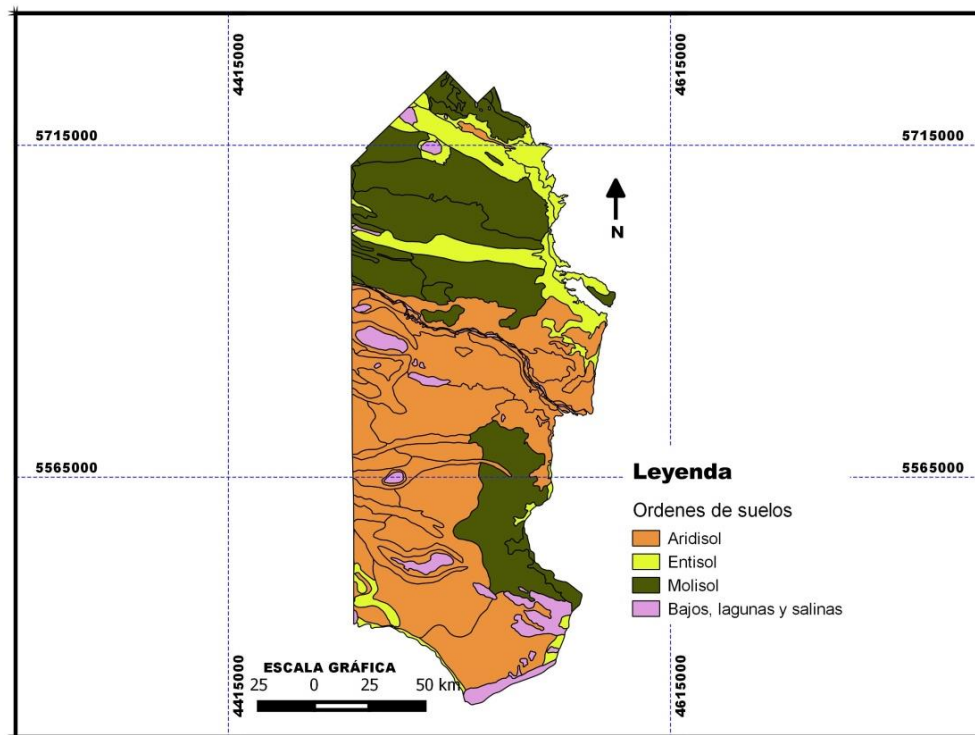
4.3.1 Cartografía de suelos y Modelos Digitales del Terreno del área en estudio

4.3.1.1 Sus órdenes

Como base para este estudio de degradación de suelos en los partidos de Villarino y Patagones, se utilizaron mapas elaborados por el Instituto de Suelos del INTA Castelar relevados a escala 1:500.000. Los mapas temáticos de la **figura 4.3.1.1** corresponden a los órdenes, el de la **figura 4.3.1.2A** a grandes grupos y **figura 4.3.1.2.B** a texturas de suelos.

En el área se pueden encontrar tres grandes órdenes de suelos como: Molisoles, Entisoles e Inceptisoles o Aridisoles.

FIGURA 4.3.1.1: ÓRDENES DE SUELO DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES



Fuente: Elaboración propia en base a la cartografía de suelo de la Provincia de Buenos Aires a escala 1:500.000, editado SAGYP - INTA, 1989; Proyecto PNUD ARG 85/019.

Los *Molisoles* son suelos con horizonte superficial muy oscuro, relativamente fértil, profundo y rico en bases. La mayoría de ellos presentan vegetación de pastizales, aunque se encuentran también bajo vegetación arbustiva. La actividad biológica es muy importante en la génesis de este tipo de suelos y está relacionada a la adición de materia orgánica y posterior descomposición subsuperficial de todos los residuos en presencia de los cationes provenientes particularmente del calcio y magnesio. La evaluación de la materia orgánica en estas condiciones conduce al fenómeno de melanización (proceso de oscurecimiento de los horizontes superficiales del suelo por la evolución de restos orgánicos frescos hacia formas complejas (humus), con la participación de los microorganismos), la cual es responsable del oscurecimiento del suelo.

Los *Entisoles* son suelos cuya evolución incipiente no ha permitido desarrollar horizontes genéticos. Esto puede deberse a varias razones, entre ellas: que los macro y micro climas fríos áridos pueden limitar la cantidad y duración del movimiento del agua en el suelo; y a que procesos erosivos particulares traslade el material superficial rápidamente de un lugar a otro y no permita la formación de los horizontes de suelo.

Capítulo: IV CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS DEL SUR BONAERENSE: SUS PERFILES Y TEXTURAS

Los *Aridisoles* tienden a acumular y concentrar sales, debido al extremo desbalance existente entre la evapotranspiración y la precipitación. Después de la escasez de agua, el alto contenido de sales es un atributo desfavorable y constituye la segunda restricción en orden de importancia en el uso agronómico de estos suelos. Las sales solubles pueden eventualmente ser removidas o al menos reducida su concentración por el riego. Desgraciadamente en las regiones cubiertas por estos suelos, la disponibilidad de agua de riego de calidad es escasa. Además, con el riego, se debe tener un mecanismo de evacuación de sales, para evitar la formación de salinidad y alcalinidad. Los sistemas de riego y drenaje deben ser mantenidos correctamente para evitar que los suelos se vuelvan salinos.

Estos suelos no tienen un horizonte aluvial enriquecido en arcillas silicatadas (horizonte argílico) o materiales amorfos mezclados con aluminio y carbón orgánico (horizonte sódico). Se encuentran en climas subhúmedos, los procesos de alteración son los más importantes en la génesis de los mismos. Este orden agrupa suelos que presentan uno o más horizontes diagnósticos de formación más o menos rápida y en cuya génesis no han intervenido en forma significativa procesos de traslocación de material o alteración extrema.

Estos presentan una morfología expresada en forma más débil en suelos maduros y en algunos casos poseen semejanza con el material parental, que se explica debido a:

- ✓ La presencia de materiales parentales altamente resistentes.
- ✓ Abundancia de ceniza volcánica.
- ✓ Posiciones fisiográficas extremas, tales como tierras quebradas y depresiones.
- ✓ Superficies geomorfológicas tan jóvenes que limitan el desarrollo del suelo.

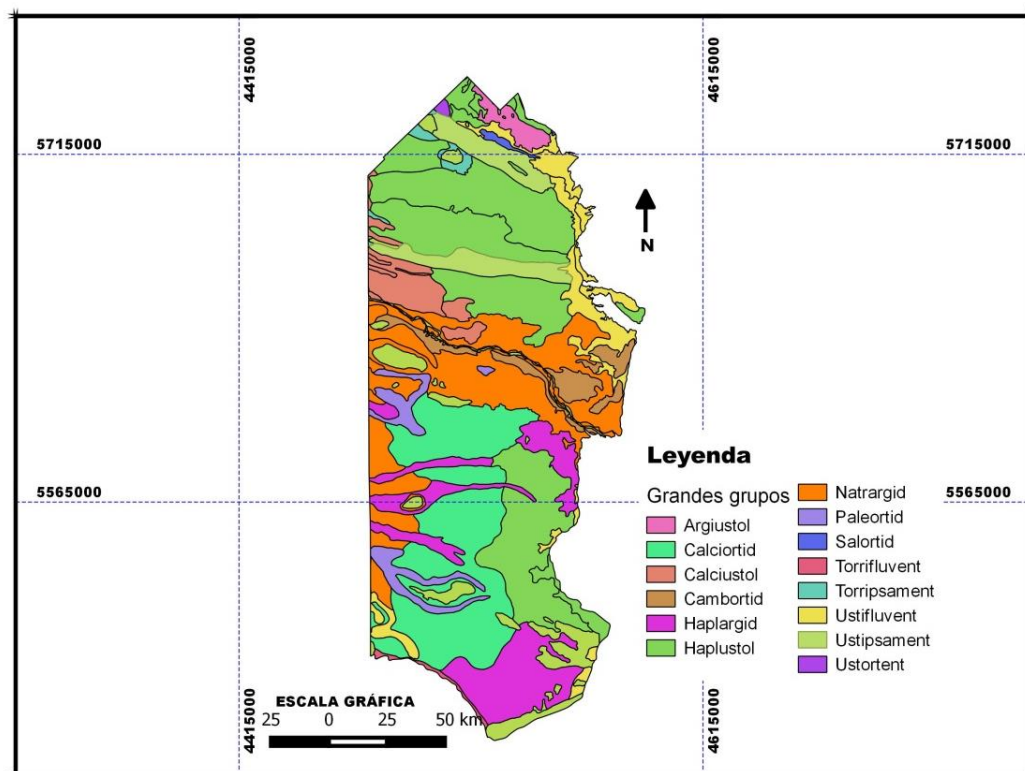
De tal manera, las mesetas que se hallan en la provincia, al sur de Bahía Blanca, constituyen la parte más oriental de un sistema de terrazas, característico de las provincias de Río Negro, Chubut y Santa Cruz. La parte superior de las mismas está formada por conglomerados de rodados o rodados desagregados o bien por capas calcáreas muy cementadas, de hasta 1 metro de espesor (SAGyP y CFA. 1995).

La pobre oferta ambiental se ve agravada por las dificultades de subsistencia de la población que frecuentemente, buscando resultados de corto plazo, realizan riego o labranzas inapropiadas o sobrepastoreo. Estos procedimientos causan sin duda el rápido deterioro de estas tierras lábiles (frágiles).

4.3.1.2 Los grandes grupos y sus texturas de suelos

Los principales grupos de suelos presentes en ambos partidos del sur bonaerense son clasificados como: Haplustoles, Calciustoles y en menor grado están los Ustipsament, Ustifluent Acuico, Natrargid, Haplargid, Argiustol, (figura 4.3.1.2A).

FIGURA 4.3.1.2A: GRANDES GRUPOS DE SUELO DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES



Fuente: Elaboración propia en base a la cartografía de suelo de la Provincia de Buenos Aires a escala 1:500.000, editado SAGYP - INTA, 1989; Proyecto PNUD ARG 85/019.

Algunas

Los *Haplustoles* ocupan una pequeña área del norte de partido de Villarino. Están cubiertos por una capa loésica de poco espesor (40-80 cm) depositada sobre un sustrato de tosca o roca.

Dentro del grupo de los *Ustipsament* se distinguen dos materiales originarios vinculados con distintos tipos de paisaje: en áreas de médanos y cordones arenosos predomina un sedimento eólico de textura arenosa cuyo espesor por lo general supera los cinco metros; y en las planicies y/o mesetas se encuentra un material de textura franco arenosa mezclado en parte con carbonato de calcio pulverulento. Atravesando el ambiente mesetiforme se destacan antiguos valles fluviales de orientación W-E.

Capítulo: IV CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS DEL SUR BONAERENSE: SUS PERFILES Y TEXTURAS

Los *Ustifluent Acuico* son suelos donde el área está cubierta por sedimentos marinos depositados durante las transgresiones cuaternarias. En general predominan capas de texturas franco limosa a franco arcilloso y en el contacto de estas acumulaciones con las formaciones continentales se han encontrado bancos de fósiles marinos y gravas. El paisaje de este se compone de extensas llanuras marinas y canales de marea, actualmente transformados en salitrales.

En los *Natrargid* las características texturales de los sedimentos le dan origen a los suelos de llanuras aluviales y son en general muy heterogéneas; no obstante se pueden apreciar ciertas tendencias en cuanto a determinados tamaños de partículas. En los planos de inundación de los ríos Colorado y Negro la textura más común es franca a franca arenosa.

En los *Haplargid* los materiales originarios predominantes son arenas finas, transportadas por el viento y depositadas sobre tosca y rodados líticos o materiales limo arenosos, más antiguos, débilmente consolidados. Las arenas aumentan su espesor desde el oeste al este del dominio; en la parte occidental su potencia media es de 1,5 metros. En algunos perfiles se hallan rodados sueltos cuyos tamaños varían entre unos pocos milímetros y 3 ó 4 centímetros. Estos rodados forman en otros sitios conglomerados cementados por carbonato de calcio que limitan la profundidad del perfil edáfico.

En los *Calciortid* los materiales originarios son arenas y limos transportados y depositados por acción eólica, que contienen abundantes carbonatos de calcio pulverulento. Estos sedimentos cubren antiguas superficies tapizadas por rodados líticos, que muchas veces se entremezclan con el material eólico y aparecen en forma de capas a distintas profundidades del perfil de suelo. El paisaje de este grupo edáfico registra variaciones de oeste a este.

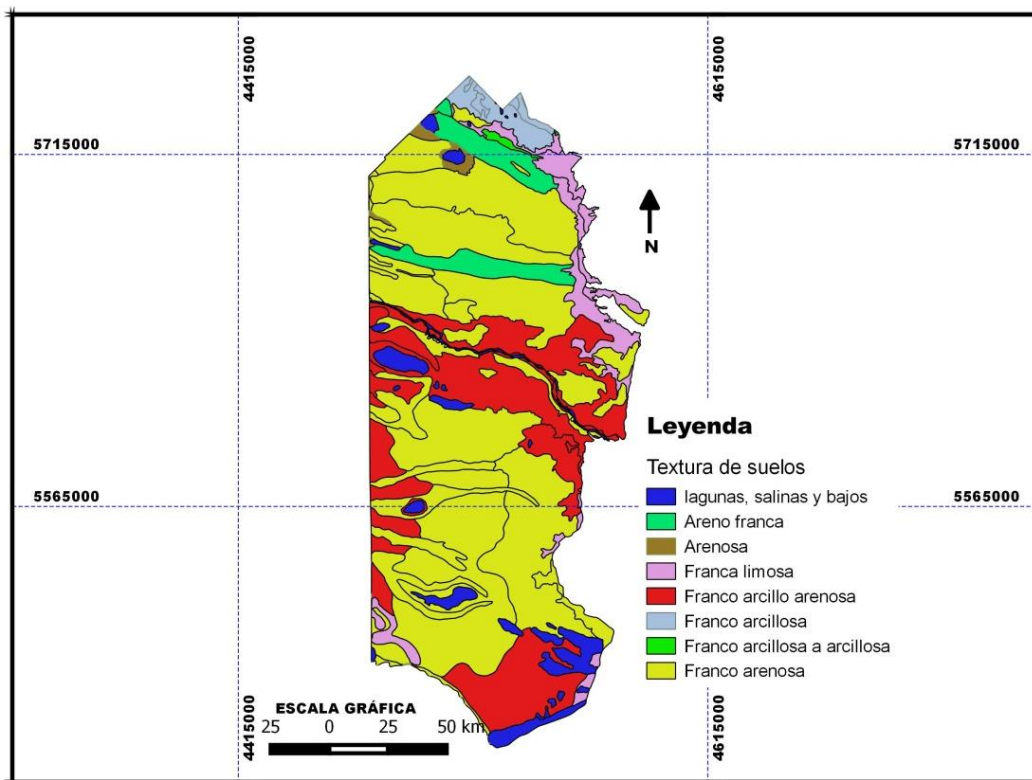
En el límite entre las provincias de Buenos Aires y Río Negro, las formas dominantes son mesetas, y hacia el este las mismas van perdiendo importancia areal, quedando reducidas a prolongaciones estrechas de orientación oeste-este. Las mesetas rocosas rematan en la parte alta en espesas capas de rodados cementados con abundante carbonato de calcio. Sobre las mismas hay espesores variables de arena, donde se han desarrollado los suelos. Entre mesetas adyacentes se encuentran planicies arenosas onduladas en las que se destacan cordones eólicos de orientación oeste-este.

Capítulo: IV CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS DEL SUR BONAERENSE: SUS PERFILES Y TEXTURAS

En general, los suelos de esta zona son de textura arenosa a arenosa franca (**figura 4.3.1.2B**), muy sueltos, susceptibles a la erosión eólica, con niveles de materia orgánica en promedio cercano al 1%, los cuales rara vez superan valores del 2%. Los niveles de fósforo oscilan entre 5 y 30 ppm, y en áreas de monte natural estos valores pueden superar los 50 ppm. El desarrollo de los suelos y la diferenciación de horizontes son escasos. Existe gran cantidad de calcáreo acumulado en todo el perfil producto de las mínimas precipitaciones.

Debido a la típica textura gruesa la infiltración básica puede oscilar entre 25 y 50 mm/h, llegando hasta máximos de 200. La misma composición granulométrica genera densidades aparentes del orden de un mínimo de 1.4 a un máximo de 1.7 Mg/m³ (Pecorari, C.; *et. al.* 1993). La retención de agua en el suelo es baja, debido al tamaño de grano, llegando de un máximo de 12% en peso de capacidad de campo a un mínimo de 6% en peso de agua en el punto de marchitez permanente. La humedad disponible cada 10 cm de perfil es de aproximadamente entre 8 y 12 mm, lo cual sumado a la demanda hídrica hace que se trate de suelos a los que necesariamente haya que aplicar agua en forma complementaria cuando se trata de cultivos de alto consumo (Sánchez R., *et al.*, 1998).

FIGURA 4.3.1.2B: MAPA DE TEXTURA DE SUELOS DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES



Fuente: Elaboración propia en base a la cartografía de suelo de la Provincia de Buenos Aires a escala 1:500.000, editado SAGYP - INTA, 1989; Proyecto PNUD ARG 85/019.

4.4. Modelo digital del terreno (MDT) para determinar pendientes

Desde el siglo XVII la representación del relieve siempre ha tenido importancia relevante para conocer la información que existe acerca de los elementos en la superficie de la tierra, siendo de gran importancia para el análisis y estudios de muy diversa índole en los campos de ingeniería civil y ciencias de la tierra, en particular, el estudio de la forma del terreno y los elementos presentes en el mismo constituye un importante insumo para muchos usuarios como cartógrafos, geólogos, hidrólogos, ingenieros, militares y ahora en la actualidad para los sistemas de información geográfica (SIG).

El modelo digital de elevación (MDE) desde su creación en la década de los 50 ha constituido un medio para el conocimiento y representación del terreno y para lograr análisis de los elementos presentes en el mismo mediante el uso de equipo y software especializado para tal fin. En la actualidad los modelos constituyen un medio para lograr la representación del relieve muy variable y funcional ya que a partir del mismo se puede conocer la conformación o morfología del terreno (MDT) y los elementos de origen antrópico y vegetación presente en el terreno. El MDT es conocido como MDE, y el caso particular de este, es la representación de la cota del terreno en relación a un sistema de referencia concreto.

Además es posible derivar o generar información a partir de los MDE que nos posibilita que tengamos más datos de apoyo para el cumplimiento de objetivos, toma de decisiones y desarrollo de proyectos relacionados con el relieve, los datos de apoyo derivados pueden ser curvas de nivel, corrientes de agua, mapas de pendientes, redes irregulares de triángulos (TIN), imágenes del relieve sombreado o mapa de sombras, puntos acotados de altura, modelos vectoriales de la altura de los elementos presentes en el terreno, líneas estructurales, entre otros.

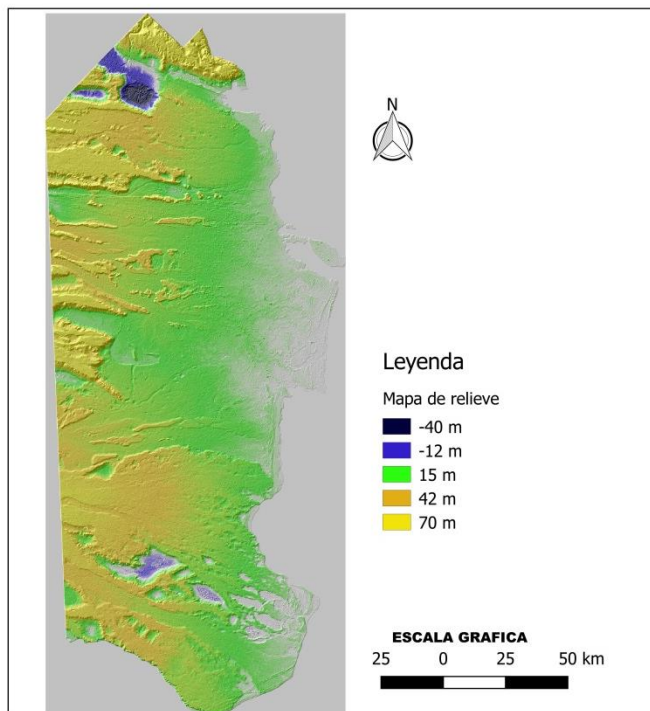
Hoy en día, junto con los SIG, el MDE tiene un abanico de representaciones que permiten al usuario desarrollar mejores análisis de estos datos del relieve ya que permiten visualizar los mismos mediante líneas hipsométricas, realizar perfiles longitudinales, obtener vistas en 3D, modelamiento dinámico en 3D, gamas tradicionales de color, intervalos de color de acuerdo a la variación y rangos de la elevación, sobreposición de datos o información en formato vectorial o ráster de diferentes ámbitos, temas y aplicaciones.

Uno de los elementos básicos de cualquier representación digital de la superficie terrestre son los Modelos Digitales de Terreno (MDT). Los MDT son conjuntos de capas de información, generalmente de ráster, que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones que se denomina modelo digital de elevaciones (MDE). Los modelos se construyen para conocer o predecir propiedades del objeto real.

Un MDE es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar (**figura 4.4**), que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. Estos valores están contenidos en un archivo de tipo ráster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados. En este trabajo se utilizó el MDE para obtener otras capas del MDT como pendiente, orientación, curvatura, rugosidad, entre otras.

La pendiente en un punto del terreno se define como el ángulo existente entre el vector normal a la superficie en ese punto y la vertical. Su estimación es sencilla a partir del MDE, aunque existen diferentes procedimientos que dan lugar a diferentes resultados (cuando se trabaja con un programa es importante conocer cuál es el algoritmo que utiliza para calcular pendientes) entre los métodos habituales están: pendiente máxima de la celdilla central con respecto a los valores vecinos, adecuado para evaluación de la erosión; pendiente media de la celdilla central con respecto a cada uno de los valores vecinos; pendiente en el sentido del flujo descendente, adecuado en celdillas correspondientes a cauces en aplicaciones de tipo hidrológico; ajuste de una superficie a los 9 valores de elevación correspondientes a la celdilla central y sus 8 celdillas vecinas.

FIGURA 4.4: MAPA DE RELIEVE OBTENIDO A TRAVÉS DEL MDE, PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES



Fuente: Elaboración propia en base del Modelo digital de Elevación del satélite ASTER con una resolución de 90 m.

Los métodos para la generación de los MDE pueden dividirse en dos grupos:

1. Métodos directos. Estos se obtienen a partir de mediciones que se realizan directamente sobre el terreno, en los cuales podemos citar:
 - La toma directa de datos por medio de levantamientos topográficos con estación total o con GPS.
 - Uso de altímetros transportados desde una plataforma aérea como el radar o láser.
2. Métodos indirectos. Cuando se utilizan documentos analógicos o digitales elaborados previamente para generar un modelo digital de elevación, en los cuales podemos citar:
 - La digitalización de curvas de nivel y puntos de altura de la cartografía topográfica realizada mediante procesos convencionales de conversión automática (mediante escáner y vectorización) o manual (uso de tableta digitalizadora o en pantalla).
 - Restitución fotogramétrica numérica, analítica y digital (procesos fotogramétricos).

4.5 Utilización de dos sistemas de clasificación para el análisis multitemporal de la dinámica de usos y coberturas de suelo para los años 1975-2001 y 2015

El área presenta una gran diversidad de paisajes resultado de los distintos usos y coberturas de suelo. Cuando se habla de cobertura se hace referencia a los atributos de la tierra por ejemplo: agua, pastizales, arbustales, salitrales, bosques, etc; mientras que el uso de la tierra hace referencia al resultado de la relación humana sobre el medio natural.

Para este análisis se trabajó con información base del informe técnico N° 28: “Evaluación expeditiva del recurso suelo y uso y cobertura de la tierra en el sur de la Provincia de Buenos Aires”, llevada a cabo por el Ing. Agr. Sergio A. Lamberto y todo su equipo de trabajo.

Se presenta el levantamiento expeditivo del “Uso y Cobertura de la Tierra”, así como la distribución geográfica de los arbustales y matorrales xerófilos y halófilos conocidos en la zona como “monte”. Hasta el año 1975 no se tenía documentada esta información. A partir de allí, para este relevamiento y para la utilización de sensores remotos, se utilizó el sistema de clasificación utilizado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S.G.S) con algunas modificaciones (Anderson, *et al.* 1976). Para el año 2001 también se utilizó este mismo sistema de clasificación. Para el año 2015 se realizó la cartografía de uso y cobertura de suelo utilizando el Sistema de Clasificación de Cobertura de la Tierra (LCCS) utilizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Todo sistema de clasificación debe presentar una estructura en la que se incluyan todas las clases de coberturas posibles de un área de estudio determinada (Anderson *et al.* 1976). Dichas clases deben estar compuestas por criterios diagnósticos llamados clasificadores que por lo común metodológicamente son definidos previamente, con la intención de generar una identidad y registro específico de las clases de cobertura del suelo potenciales que podrían ser visualizadas a cualquier escala como unidades del paisaje (Di Gregorio y Jansen, 2000). La conformación estructural de las leyendas encontradas por lo general están concebidas en fases y niveles denotados como: nivel I, nivel II y nivel III, en el que la identidad de las clases se hacen más descriptivas e informativas a medida que se asciende en los niveles, generándose una redefinición de clases y estableciéndose entre ellas una estructura no sólo jerárquica sino anidada en función de las primeras. Esta condición de

jerarquía en niveles, hace necesario que las clases tengan una fórmula o un número, o código, que acompañen al nombre estándar, facilitando seguir la anidación existente entre ellas (Di Gregorio & Jansen 2000).

4.5.1 Sistema de Clasificación de cobertura de suelo aplicado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)

El sistema de clasificación de uso y cobertura de la tierra fue esencialmente diseñado para darle aplicabilidad nacional en los Estados Unidos de América, con el objetivo de categorizar coberturas de vegetación y usos de la tierra a través de información obtenida por sensores remotos, para poder satisfacer las necesidades de agencias federales y estatales en torno al desarrollo anárquico y descontrolado, al deterioro de la calidad ambiental, al fomento del control agropecuario y de pérdida de hábitat y vida silvestre (Anderson, 1976). En 1976 Anderson y otros ajustaron la clasificación de la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) de manera que pudiese ser hecha mediante interpretación de imágenes de satélite (originariamente del satélite ERTS y luego Landsat), a partir de este año se ha avanzado a nivel tecnológico, requiriéndose siempre de imágenes satelitales o fotografías aéreas, para realizar estudios de coberturas. El análisis se realiza a través de: nivel 1 considerando 9 clases de usos y coberturas; nivel 2 con distintos subniveles correspondiente a cada una de las clases citadas en el nivel anterior; y el nivel 3 con mucho más detalle que el nivel 2 (**tabla 4.5.1**).

Tabla 4.5.1: Leyenda de clasificación de cobertura y uso de la tierra del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (Anderson *et al.* 1976).

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
1. Superficie urbana	1.1 Residencial	1.1.1 Unidades de una sola familia
	1.2 Comercial y servicio	1.1.2 Unidades multifamiliares
	1.3 Industrial	1.1.3 Alojamiento en grupo
	1.4 Transporte y comunicación	1.1.4 Hoteles residenciales
	1.5 Complejos comerciales e industriales	1.1.5 Casas móviles
	1.6 Superficie urbana mixta	1.1.6 Alojamiento transitorio
	1.7 Otras zonas urbanas	1.1.7 Otros
2. Tierras agrícolas	2.1 Cultivos y pastos	2.1.1 Cultivos
	2.2 Huertos, viñedos, viveros, áreas hortícolas y ornamentales	2.1.2 Pastos
	2.3 Operaciones confinadas de alimentación	
	2.4 Otras tierras agrícolas	
3. Tierras de	3.1 Pastizales herbáceos	

pastoreo	3.2 Pastizales arbolados o con malezas	
	3.3 Pastizales mixtos	
4. Tierras forestales	4.1 Bosques deciduos	
	4.2 Bosques siempre verde	
	4.3 Bosques mixtos	
5. Superficies de agua	5.1 Arroyos y canales	
	5.2 Lagos	
	5.3 Pantanos	
	5.4 Bahías y estuarios	
6. Humedales	6.1 Humedales boscosos	
	6.2 Humedales no boscosos	
7. Tierras secas	7.1 Pisos salinos y secos	
	7.2 Playas	
	7.3 Zonas arenosas distintas a playa	
	7.4 Roca desnuda expuesta	
	7.5 Franjas de mina, canteras y pozos de grava	
	7.6 Áreas de transición	
	7.7 Tierras secas mixtas	
8. Tundra	8.1 Tundra arbustiva	
	8.2 Tundra herbácea	
	8.3 Tundra desnuda	
	8.4 Tundra húmeda	
	8.5 Tundra mixta	
9. Nieve, hielo perenne	9.1 Campos de nieve	
	9.2 Glaciares	

Fuente: Clasificación de cobertura y uso de suelo del USGS adaptado por Anderson año1976

La solución a estas necesidades fue abordada por legisladores, planificadores y funcionarios con competencia, haciendo uso de datos de uso y cobertura del suelo, respecto a la distribución de las áreas naturales, agropecuarias, urbanas y recreacionales, que facilitaron y permitieron analizar estos procesos de cambio, para implementar planes eficaces en pro del futuro del desarrollo nacional.

4.5.2 Sistema de Clasificación de cobertura de la tierra FAO (LCCS)

Este es un sistema que permite iniciar una clasificación de uso y cobertura de la tierra para obtener un resultado consistente con principios generales y no con categorías estándar. Las categorías son generadas a partir de un software o programa que va construyendo la leyenda según la información que se le vaya cargando. Está diseñado para aplicarse en cualquier parte del mundo y está fundamentado en disminuir ambigüedades entre clases, al

evitar la superposición de límites descriptivos entre ellas. Proporciona consistencia en la descripción de las clases a través de criterios diagnósticos independientes denominados clasificadores, constituidos por factores físicos ambientales y socioeconómicos que se ponen de manifiesto en su estructura modular polifásica. Es considerado como uno de los más comprensivos y flexibles, razón por la cual tiene mayor aceptación internacional al ser el único que está en vías de ser aceptado como norma ISO TC 211. (Di Gregorio y Jansen, 2000)

Se observa que para dar inicio de aplicación a los sistemas de clasificación, el de la FAO parte de un principio dicotómico que dividen la estructura en dos grupos (áreas con vegetación y áreas sin vegetación) o (clases forestales y no forestales) respectivamente, a diferencia de USGS que parte inicialmente de varios tipos de cobertura ubicados en el nivel I.

El sistema de FAO está organizado según (Di Gregorio y Jansen, 2000) en fases jerárquico-modulares identificadas con numeración romana. Cada fase jerárquico-modular ofrece de manera predeterminada en un software agregar variables físico-ambientales que acompañan a las formas de cobertura natural y de reemplazo, que de manera automatizada brinda opciones de vegetación y así se construye una determinada clase de cobertura. Estos aspectos suelen ser llamados clasificadores y pueden ser divididos en dos tipos según el autor (antes mencionado):

- Clasificadores de atributos técnicos y específicos: involucran aspectos que se refieren a:
 - i) la presencia o no de vegetación,
 - ii) el estado de la vegetación (si es natural, seminatural o agropecuaria),
 - iii) el aspecto florístico,
 - iv) el tipo de cultivo y
 - v) la artificialidad de las coberturas para el caso de las zonas urbanizadas.
- Clasificadores de atributos ambientales: involucran elementos abióticos que pueden influir directa o indirectamente sobre la cobertura del suelo (clima, altitud, relieve, litología y erosión). Estos suelen encontrarse combinados o individuales dentro de una clase.

Ambos tipos de clasificadores pueden conformar la identidad de las clases de cobertura en una leyenda, proporcionando en algunos casos mayor apertura de aplicación

dependiendo de la escala de mapeo, condicionando que las clases en un mapa tengan representación total o parcial (Di Gregorio & Jansen 2000).

El sistema de clasificación LCCS es un sistema estandarizado y jerárquico cuya estructura asegura una alta precisión geográfica. Las clases se definen por combinación de atributos independientes o clasificadores, cuyo número aumenta a medida que lo hace el detalle. Los clasificadores son la presencia de vegetación, la condición edáfica y la artificialidad de la cobertura. En cualquiera de los niveles anteriormente expuestos, las clases deben tener una composición determinada de aspectos relevantes que señalen lo que se quiere, en relación al tipo de cobertura.

El primero toma como límite de clase el porcentaje de cobertura: (A) para áreas con cobertura vegetal superior al 4% más de 2 meses al año, (B) para áreas con valores inferiores al 4% durante 10 meses o más. La condición edáfica es Terrestre cuando la cobertura es influenciada por el sustrato edáfico; Acuática cuando lo está por la presencia de agua durante extensos periodos. El clasificador artificialidad puede ser Artificial para coberturas de origen antrópico; o Natural o Semi Natural. La combinación de los clasificadores origina las siguientes 8 clases (**tabla 4.5.2**)

Tabla 4.5.2: Leyenda de clasificación de cobertura de la tierra de FAO (Di Gregorio y Jansen, 2000)

CLASES DE COBERTURAS
A11- Áreas terrestres cultivadas y/o manejadas
A12- Áreas naturales con vegetación terrestre
A23- Vegetado cultivado acuático o regularmente inundado
A24- Vegetación natural de áreas regularmente inundadas o anegadas
B15- Superficies artificiales y áreas asociadas
B16- Suelo o roca desnuda
B27- Cuerpos de agua, hielo o nieve artificial
B28- Cuerpos de agua, hielo o nieve natural

Fuente: Clasificación de cobertura y uso de suelo por Di Gregorio y Jansen, año 2000

4.6 Factores influyentes en el proceso de degradación de suelos

4.6.1 El uso del suelo con las principales actividades económicas desarrolladas por los productores de la zona

La importancia del tema está dada porque la agricultura y la ganadería son las actividades económicas más importantes generadoras de renta de los partidos de Villarino y Patagones; esto ejerce una gran presión sobre: el ecosistema de monte nativo provocando su significativa reducción y, sobre las áreas irrigadas y de secano de los partidos alterando las propiedades físicas y químicas de los suelos ocasionando su deterioro y degradación.

Es importante tener en cuenta que no son los cultivos los que degradan el suelo sino las prácticas de manejo utilizadas por el hombre. Este es el principal agente modificador del paisaje. Las causas de los deterioros ambientales, en la mayoría de los casos, reconocen la no utilización de tecnologías adecuadas, como la falta de conciencia conservacionista y de una política definida en la materia (Viglizzo, E. 1991).

En el uso del suelo agrícola –ganadero, la alteración de la biodiversidad de los paisajes (Bilenca, D., *et al* 2009), está generalmente asociada a la pérdida de cobertura del suelo y al incremento de la erosión eólica e hídrica lo que originan los procesos de degradación dichos suelos.

Se conoce que la degradación del hábitat por sobrepastoreo de herbívoros domésticos introducidos que afectan gravemente al desarrollo de plantas nativas. La cobertura vegetal total puede ser drásticamente reducida por el pastoreo excesivo y en muchos de los casos hasta se originan cambios en la estructura de la comunidad vegetal por especies vegetales menos apetecibles para los animales. (Bertiller, L. *et al*, 2009)

Como ya se mencionó en el capítulo II en la ubicación del área de estudio, se encuentran tres zonas bien diferenciadas, ellas son: zona de cultivos bajo riego, zona de cultivos de secano y zonas de monte y pastizales.

En la zona de secano se visualiza un fuerte avance de la frontera agrícola sobre el área de arbustales y pastizales naturales. Para la incorporación de estos terrenos a la producción

agrícola, el hombre realiza diversas prácticas de desmontes utilizando topadoras, arados o rolos para el volcado o eliminación total o parcial de la vegetación. En estos ambientes es frecuente la realización de desmonte mecánico que reduce la biomasa arbustiva y aumenta la accesibilidad para la productividad forrajera del pastizal (Villasusso, N. *et al*, 2002). Esto se denomina desmonte ganadero. Otra práctica que desarrolla el hombre es el desmonte agrícola y consiste en la erradicación total de la vegetación nativa, y luego esos suelos son utilizados para la implantación de verdeos o producción de granos. Estos procedimientos son altamente destructivos del medio ambiente y acentúan los procesos de desertificación.

Actualmente los principales cultivos económicos en el área irrigada del valle bonaerense del Rio Colorado (VBRC) son: cultivos hortícolas principalmente cebolla, cultivos de graminoideas y no graminoideas. Algunos de estos cultivos demandan mayor cantidad de riego, por lo que esta práctica provoca salinización de los suelos y por ende la degradación de los mismos (Cappannini, D. *et al* 1966).

Debido a las condiciones climáticas y al tipo de vegetación de la zona, es frecuente en el periodo estival, la ocurrencia de incendios producto de rayos provenientes de tormentas eléctricas. La mayoría de estos son de origen natural pero un gran porcentaje se deriva de causas humanas. Entre los incendios de origen humano se puede decir que pertenecen a este grupo: las quemas prescriptas o controladas (que por alguna razón esa quema pueda escapar a todo posible control humano); por presencia de colillas de cigarrillos encendidas, por el mal funcionamiento de alguna máquina y que por su chispa encienda los pastos de su alrededor, por el olvido de brazas o fuego encendido, entre otras

4.6.2 Inventario histórico y cuantificación de los Incendios en el sur bonaerense (período 1970-2015)

En la mayoría de los ecosistemas terrestres el fuego ha ocurrido en forma constante desde tiempos muy remotos antes de la existencia del hombre. Los incendios, siempre que tengan un origen natural, son parte dinámica del ecosistema pero dejan de serlo cuando el hombre lo utiliza para sus fines agrícolas-productivos, en las quemas prescriptas, y cuando por alguna razón se descontrola y provoca grandes pérdidas ambientales, económicas y en algunos casos humanas. La frecuencia, intensidad y en ocasiones intencionalidad de los

Capítulo: IV FACTORES INFLUYENTES EN EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DE SUELOS – INVENTARIO Y CUANTIFICACIÓN DE LOS INCENDIOS

incendios producidos en esta región representa uno de los problemas referidos a la degradación del medio ambiente. Las áreas afectadas por este siniestro sufren la destrucción de la cobertura vegetal que por su lenta recuperación, debido al propio ambiente semiárido, dejan el suelo expuesto a serios riesgos de degradación sufriendo pérdida de biodiversidad, distintos procesos erosivos, perturbaciones del ciclo hidrológico y de nutrientes.

Las zonas más afectadas por los incendios concuerdan principalmente con las áreas destinadas a la actividad ganadera. El pastoreo, la labranza y el fuego, productos de la actividad humana dan como resultado cambios profundos en la modelación del paisaje, fauna y en la estructura de la vegetación.

El fuego prescripto es utilizado por los humanos como herramienta por la necesidad de renovar pasturas, para facilitar la siembra, eliminar el rebrote de especies nativas o introducidas y disminuir la cantidad de material vegetal combustible en caso de gran acumulación de biomasa vegetal, entre otras necesidades.

El hombre trajo innumerables cambios en los ambientes que fue ocupando y utilizando, además, produjo importantes alteraciones en las frecuencias de las quemas que afectaron y afectan directamente los ambientes antropizados. (Kunst *C. et al.*, 2003).

Áreas como esta que presentan distintos grados de aridez y sufren importantes procesos de desertificación son más propensas a los fuegos naturales y pueden facilitar y necesitar a los fuegos prescriptos. La falta de control de los mismos puede provocar la pérdida de condiciones productivas en un área y dejar avanzar un proceso de desertificación.

Los efectos del fuego se ejercen sobre la comunidad vegetal y animal del ecosistema y también sobre el suelo, afectando sus propiedades físicas, químicas y biológicas. El suelo es el componente fundamental de todos los ecosistemas: la productividad y sostenibilidad dependen de su calidad. Calidad definida como: la capacidad de funcionar como un ecosistema diverso y resiliente, por soportar una productividad primaria y secundaria neta sostenible y por proteger la calidad del ambiente.

Capítulo: IV FACTORES INFLUYENTES EN EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DE SUELOS – INVENTARIO Y CUANTIFICACIÓN DE LOS INCENDIOS

En general, se sostiene que el fuego afecta al suelo por las altas temperaturas y las cenizas, que modifican los ciclos de los nutrientes, aceleran la mineralización de la materia orgánica y generan una mayor concentración de gases y humedad. Todos estos efectos van a estar más o menos acentuados dependiendo de la frecuencia e intensidad de los fuegos y sobre todo por el manejo posterior que se le dé al sitio quemado (Hobbs, *et al.*, 1991). Con respecto a la frecuencia en la que se produce, una sola quema puede no tener influencias significativas en el contenido de materia orgánica del suelo. Las quemas anuales repetidas pueden reducir el contenido de humus de la superficie del suelo porque se disminuye la acumulación de residuos orgánicos.

En incendios prescritos de pastizales o bosques los efectos de calentamiento del suelo por fuego son menores debido a que los mismos son de baja magnitud y duración, y la profundidad del suelo hasta donde influye es escasa. Los cambios más importantes de temperatura del suelo se dan entre los 0,3 cm y 2 cm y no cambia a profundidades alrededor de los 5 cm. Esta temperatura puede aumentar después de ocurrido el evento porque la superficie queda ennegrecida por la ceniza y esto absorbe la radiación solar. También existe una reducción del contenido de agua del suelo y esto se debe al aumento de la demanda de agua del suelo por la proliferación y el rápido crecimiento de plantas. El lapso entre la quema y el crecimiento de la vegetación es donde el suelo queda más desprotegido y tiene grandes riesgos de pérdidas por escorrentías, evaporación y erosión superficial.

Además de estos factores están los propios del ecosistema como por ejemplo: cantidad de combustible disponible, estado de la vegetación, tipo de vegetación y otros factores propios del suelo como la relación agua-aire, textura, estructura, contenido y calidad de la materia orgánica. Todo esto determina una relación no directa entre la intensidad y la temperatura que se logra en el suelo. El fuego induce determinados cambios sobre el funcionamiento de los ecosistemas y en la composición florística y faunística provocando pérdidas de biomasa y de la calidad de los suelos, además de modificar el balance hídrico.

Una elevada recurrencia de incendios puede alterar la dinámica espacial y temporal de procesos claves en los ecosistemas como puede ser la pérdida de biodiversidad o de resiliencia (Díaz-Delgado, 2003). Resiliencia es la capacidad de regeneración después de una perturbación que determina en gran medida la variabilidad espacial y temporal de los paisajes.

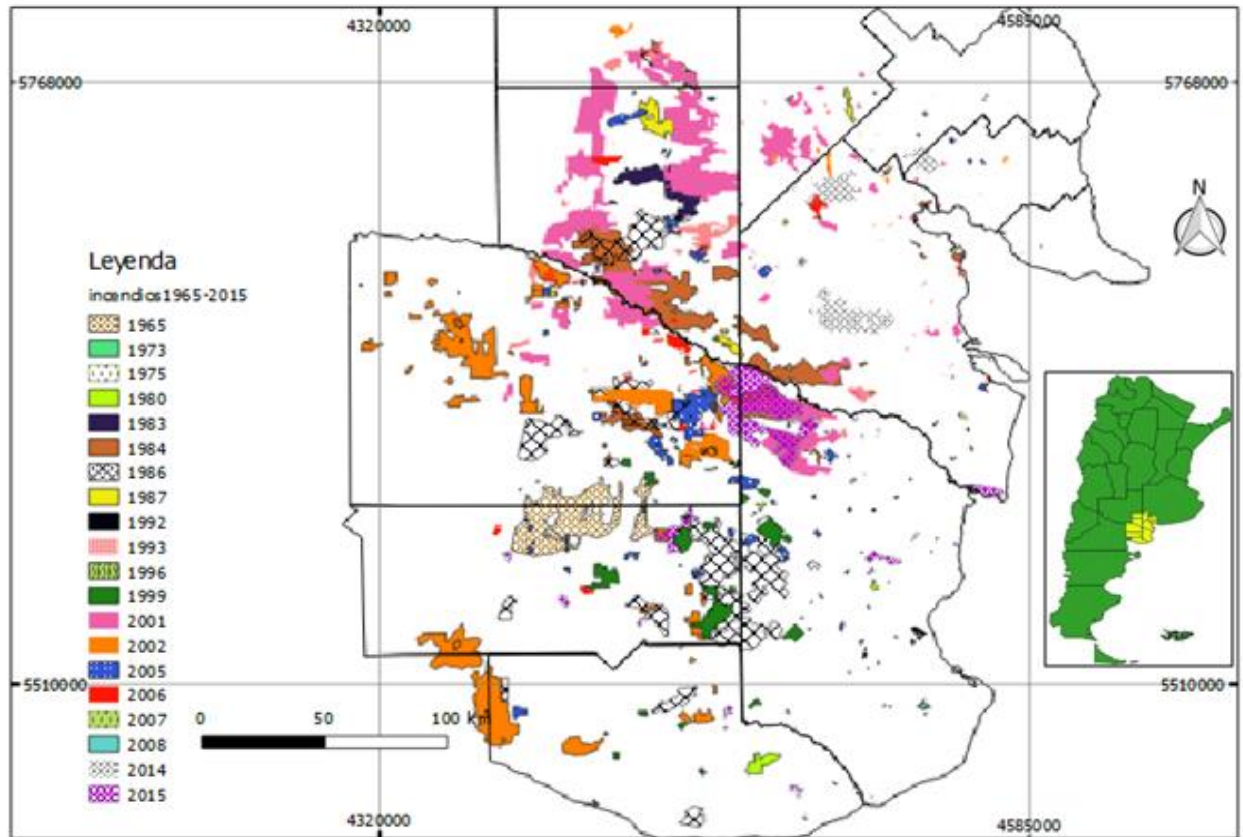
El fuego considerado como emergencia ambiental, demanda tecnologías que permitan analizar el origen geográfico de los mismos, así como registrar el desarrollo espacio-temporal y sus consecuencias. La observación desde satélites, teledetección o percepción remota es una alternativa muy sólida para cartografiar las áreas quemadas debido a que permite una observación en conjunto y sistemática de la superficie terrestre, en bandas del espectro electromagnético que permite discriminar o visualizar dichas áreas afectadas.

La utilización de Sistemas de Información Geográfica y la Teledetección han permitido tener a disposición datos espaciales de la resolución espacio-temporal ideal para comenzar a evaluar los sectores afectados por los incendios y determinar las explotaciones comprometidas durante el período 1970-2015 para los partidos de Villarino y Patagones. Para este estudio se utilizaron imágenes históricas y actuales de los satélites Landsat 1-5 sensor MSS-TM, Landsat 4-5 sensor TM- ETM, Landsat 7 sensor ETM+ y Landsat 8 sensores OLI-TIRS. Existe un importante catálogo histórico de imágenes satelitales que están disponibles en la página web: <http://earthexplorer.usgs.gov/> no tienen costo y son de fácil acceso, para su descarga sólo requiere una registración previa.

Toda esta información provista por los diferentes satélites y los datos de campo pueden ser almacenados, gestionados, manipulados y representados gráficamente utilizando SIG. La información multitemporal permite cuantificar las áreas quemadas, la recurrencia y la distribución espacial, heterogeneidad de los paisajes y la identificación de tierras susceptibles a la erosión y/o desertificación. En esta región semiárida existe una mayor incidencia de incendios en el periodo estival, entre las estaciones de primavera y verano, principalmente en los meses de diciembre, enero y febrero. Los fuegos son de mayor violencia siendo de gran magnitud afectando extensas superficies tanto en el área de secano como las zonas irrigadas.

Primeramente para el estudio histórico de las zonas afectadas se cubrió una superficie de 14.858.735 has entre las unidades políticas (partidos o departamentos) de las provincias de: Buenos Aires, La Pampa y Río Negro. Se obtuvieron imágenes desde enero de 1970 a febrero de 2015. Se procesaron unas 20 imágenes satelitales de satélite Landsat de los diferentes sensores y se digitalizaron sobre la pantalla los polígonos de las zonas quemadas para cada uno de los años donde había ocurrido el evento (**figura 4.6.2A**).

FIGURA 4.6.2A: MAPA TEMÁTICO CON LA DISTRIBUCIÓN DE LOS INCENDIOS PARA LAS PROVINCIAS DE LA PAMPA, RÍO NEGRO Y BUENOS AIRES PARA EL PERÍODO 1970-2015



Fuente: elaboración propia a través de imágenes históricas descargadas del sitio web <http://earthexplorer.usgs.gov/>

Para la realización de todo este análisis se armó la base de datos y se cuantificó la superficie de dichos focos ígneos (**tabla 4.6.2a**). Los resultados de esta cuantificación muestran que en el periodo 1970-2015 se quemaron un total de 2.335.792 has de pastizales y bosque nativo con un total de 579 focos ígneos.

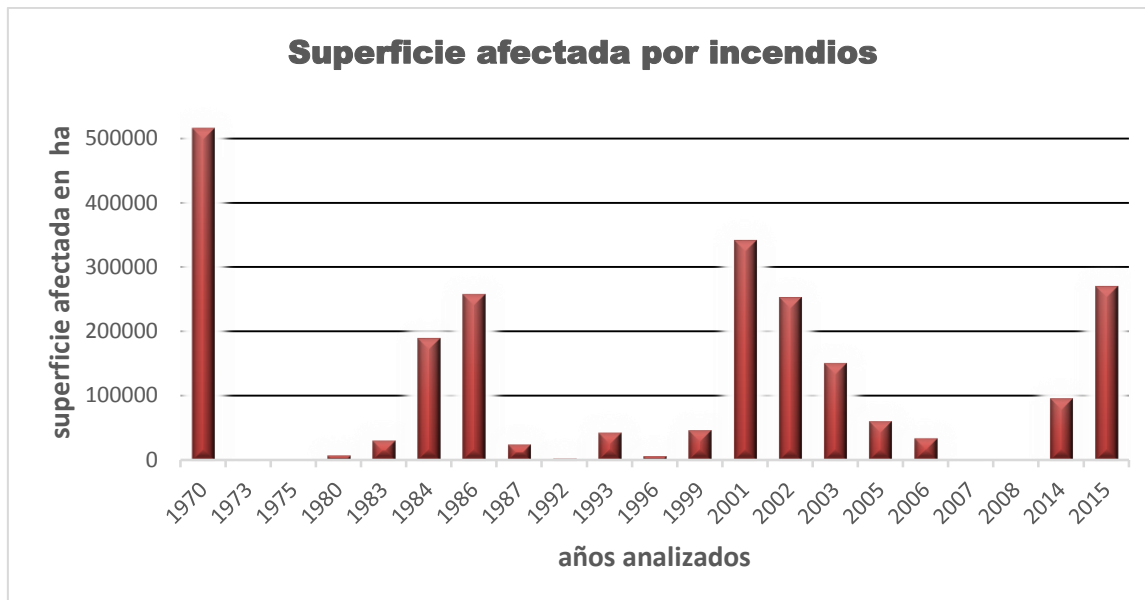
Para la década del 70 se cuantificó unas 518.011 has siniestradas, para la década del 80 la superficie registrada fue de 511.289 has con grandes incendios en los años 1983, 1984 y 1986; seguidamente en la década del 90 la superficie registrada fue menor alcanzando las 98.779 has donde en el año 1993 y 1999 ocurrieron los principales focos ígneos; la década del 2000 fue la más significativa porque se quemaron 814.402 has durante los años 2001 al 2006; y en lo que refiere a la década del 2010 y sobretodo en los años 2014 y 2015 se quemaron 235.665 has.

Tabla 4.6.2a: Cuantificación de superficie quemada y número de focos ígneos en los distintos años analizados para las Provincias de La Pampa, Río Negro y Buenos Aires

Año	Superficie quemada (has)	n° de focos
1970	516816	8
1973	419	2
1975	776	7
1980	7809	4
1983	30565	4
1984	190069	19
1986	258345	23
1987	24501	14
1992	2976	19
1993	42448	34
1996	6562	2
1999	46793	20
2001	341943	64
2002	252689	72
2003	150662	23
2005	60771	87
2006	34416	49
2007	20	1
2008	901	5
2014	95628	40
2015	270683	82
TOTAL	2335792	579

El siguiente gráfico (**gráfico 4.6.2A**) muestra cómo ha sido la distribución de los años que han sufrido mayor cantidad de superficie quemada para la región antes mencionada. Se visualiza la existencia de años que representan mayor superficie afectada, como es el caso de los años: 1970 que superó las 500.000 has; 1984 y 1986 con superficies entre 190.000 y 260.000 has; 2001 y 2003 con superficies entre las 300.000 y 150.000 has; y el más reciente salto producido entre el 2014 y 2015 con superficies afectadas entre las 100.000 y 300.000 has.

GRÁFICO 4.6.2A: DISTRIBUCIÓN DE SUPERFICIE AFECTADA POR INCENDIOS EN HECTÁREAS, PERIODO 1970-2015, EN LAS PROVINCIAS DE LA PAMPA, RÍO NEGRO Y BUENOS AIRES



Luego del análisis y cuantificación de los incendios de toda esta región, se trabajó a nivel local analizando lo que había ocurrido con ellos en los distritos de Villarino y Patagones, evaluando una superficie total de 2.380.565 has entre ambos municipios, comprendido para el mismo período de años citados anteriormente (**tabla 4.6.2b**).

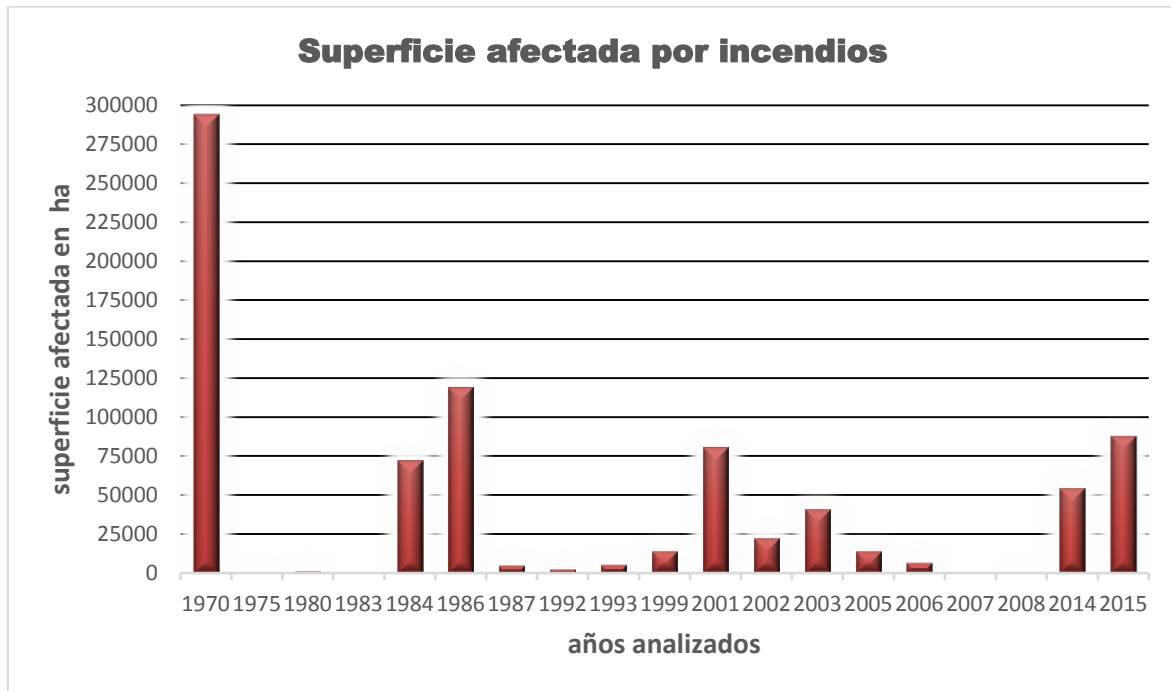
En la década del '70 se registró la mayor superficie quemada con un total de 295.319 has; en la década del '80 la superficie siniestrada fue un poco menor pero igualmente elevada alcanzando las 197.666 has con picos en los años 1984 y 1986; para la década de '90 la superficie fue considerablemente menor con unas 22.048 has; para la década del 2000, principalmente en los años 2001 al 2005, la superficie fue de 165.214 has; y en la década actual fue de 142.148 has en sólo dos años (2014 y 2015) donde ocurrieron incendios de importancia relevante.

Tabla 4.6.2b: Cuantificación de superficie quemada y número de focos ígneos en los distintos años analizados, distritos de Villarino y Patagones, provincia de Buenos Aires

año	Superficie quemada (has)	n° focos
1970	294543	4
1975	776	7
1980	1293	3
1983	208	2
1984	72174	12
1986	119109	4
1987	4882	6
1992	2569	15
1993	5399	11
1999	14080	5
2001	80817	27
2002	22315	11
2003	40622	3
2005	14030	34
2006	6611	13
2007	20	1
2008	799	3
2014	54301	11
2015	87847	7
Total	822395	179

El **gráfico 4.6.2B** muestra similitud al **gráfico 4.6.2A** en cuanto a la distribución de los años que han sufrido mayor cantidad de superficie quemada para el área de estudio. Los años con mayor superficie afectada han sido: 1970 con 294.543 has, 1986 con unas 119.109 has, 2015 con unas 87.847 has, 2001 con 80.817 has, 1984 con 72.174 has y 2014 con 53.301 has; y con superficies quemadas algo menores que oscilan entre las 40.622 y 14.030 has, se pueden citar los años 1999, 2002, 2003 y 2005.

GRÁFICO 4.6.2B: SUPERFICIE AFECTADA POR INCENDIOS EN HECTÁREAS, PERIODO 1970-2015 EN LOS DISTRITOS DE VILLARINO Y PATAGONES AL SUR DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES



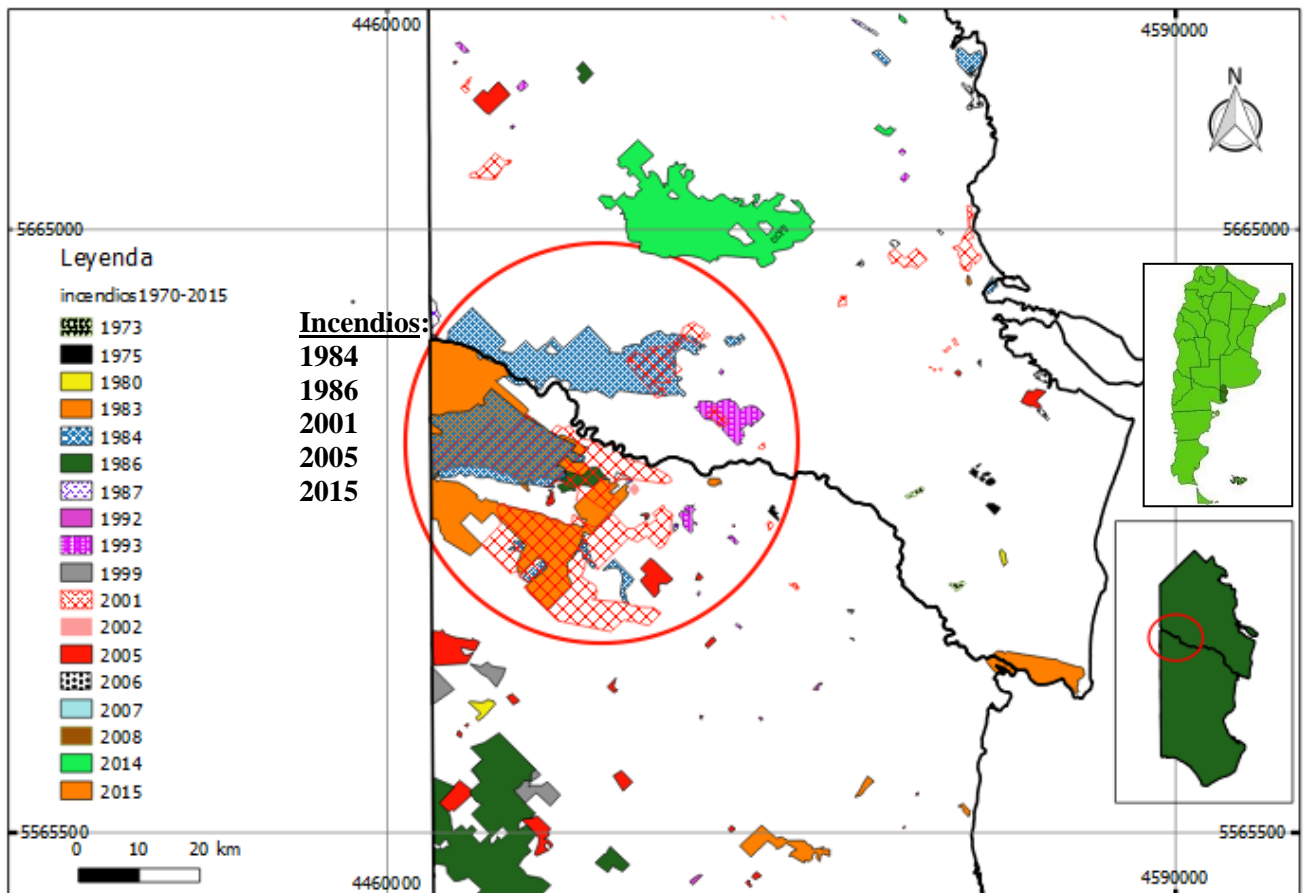
En la siguiente cartografía (**figura 4.6.2B**), se muestra un ejemplo, de un sector específico que por la comparación de las capas de información de los distintos incendios, se evidencian zonas en las que coinciden hasta cinco incendios en una misma área correspondiente a los años: 1984 con una superficie de 31.369 has quemadas, 1986 con 3.580 has, 2001 con 59.231 has, 2005 con 200 has y 2015 con 59.594 has, en algunos casos, suelen ser incendios de gran extensión. Esta zona se encuentra ubicada al noroeste del distrito de Patagones y es un área principalmente ganadera donde la cobertura de suelo predominante son los pastizales y arbustales abiertos con pastizales, estas zonas son muy susceptibles sufrir este fenómeno.

Esta recurrencia puede deberse a que las condiciones ambientales y las propiedades de la vegetación son propicias para que se produzcan los incendios reiteradamente en un mismo lugar o bien puede estar asociada o ser producto de la intencionalidad. Autores como Noble I. (1989) señalan que la mayoría de los pastizales naturales son resilientes al fuego pero no

Capítulo: IV FACTORES INFLUYENTES EN EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DE SUELOS – INVENTARIO Y CUANTIFICACIÓN DE LOS INCENDIOS

necesariamente estables, ya que pueden ocurrir cambios significativos en la estructura y composición de los mismos.

FIGURA 4.6.2B: MAPA TEMÁTICO QUE MUESTRA LA RECURRENCIA DE INCENDIOS PARA UN ÁREA ESPECÍFICA DEL MUNICIPIO DE PATAGONES



Fuente: elaboración propia a través de imágenes históricas descargadas del sitio web

<http://earthexplorer.usgs.gov/>

4.6.3 La degradación en los suelos irrigados del Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC) producto de la salinidad del agua de riego

La mayoría de los suelos irrigados en el mundo están expuestos al peligro de la salinización o sodificación. Estimaciones de la FAO (1976) indican que más del 50% de esas tierras han sido dañadas por este suceso. La salinización es uno de los procesos claves que puede conducir a la desertificación. Es un fenómeno que va en aumento creciente en todo el mundo. La agricultura es una de las causas principales de ocurrencia de este evento por su alto consumo de agua y por la contaminación química de la misma.

La salinización es el proceso de acumulación de sales solubles en el agua presentes en los suelos. La sal dominante en general es el cloruro de sodio (NaCl), razón por la cual el suelo también se llama **suelo salino-sódico** (Rosell, R.; *et.al.* 1964).

Existen diversos orígenes de la salinidad que puede ser:

- **Continental:** Incluye el traslado, redistribución y acumulación de carbonatos, sulfatos y cloruros en regiones de tierras sin drenaje.
- **Marino:** Característico de llanuras costeras de clima seco, donde se acumulan las sales de origen marino (principalmente el cloruro de sodio).
- **De delta:** En estas zonas propiamente dichas, sobretodo de clima seco y templado, se acumulan sales de origen continental trasladadas por los ríos y de origen marino.
- **Artesiano:** Consiste en la evaporación de las aguas freáticas en las grandes llanuras continentales o elevaciones de la superficie como resultado de la actividad tectónica.
- **Antropogénico:** Es el resultado de la actividad irresponsable del hombre tales como regar con aguas de mala calidad, no crear el drenaje adecuado a las áreas de riego provocando encharcamientos y acumulación por exceso de agua que salinizan el suelo.

Este fenómeno se puede dar en forma natural, cuando se trata de suelos bajos, planos y de poca pendiente, que son periódicamente inundados por ríos y arroyos o si el nivel de las napas de agua subterráneas es poco profundo y el agua que asciende por **capilaridad** contiene sales disueltas. Dichas características son propias del área de estudio.

Capítulo: IV FACTORES INFLUYENTES EN EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DE SUELOS- SALINIZACIÓN DEL VBRC

La capilaridad es el movimiento de ascenso del agua hasta la superficie, allí se evapora por la alta radiación solar, dejando depósitos de sal. Cuando este proceso tiene un origen antropogénico, generalmente está asociado al mal uso de las prácticas de los sistemas de riego.

Entre las causas de salinidad del área de estudio, se pueden citar:

- Elevación del manto freático salinizado muy relacionado con el incremento de los sistemas de riego en áreas de drenaje inadecuado
- Riego con aguas de mala calidad
- Ingresión salina en acuíferos costeros
- Fuentes de agua de mala calidad
- Deforestación
- Fuentes geológicas

La consecuencia directa de la salinización del suelo es la pérdida de fertilidad, lo que perjudica o imposibilita el cultivo agrícola debido a la quema de las raíces de las plantas por el alto contenido de sales (Aguirre, M; *et al.* 2009). Es común frenar o revertir el proceso mediante costosos “lavados” de los suelos para **lixiviar** (dosificar una cantidad mayor de agua que la estrictamente necesaria para las plantas, a fin de que, al escurrir esta agua hacia los drenes, evite la acumulación de sales en el terreno) las sales, o pasar a cultivar plantas que toleren mejor la salinidad. Por otro lado, se debería planificar mejor el uso de los sistemas de riego modernos, pudiendo de esta forma prevenirse la salinización dimensionando adecuadamente las estructuras y estableciendo prácticas de riego adecuadas.

Algunas medidas para contrarrestar la salinidad:

- Solución al drenaje
- Riego con aguas de buena calidad
- Reforestación
- Realización de prácticas orgánicas

Capítulo: IV FACTORES INFLUYENTES EN EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DE SUELOS- SALINIZACIÓN DEL VBRC

- Utilización de variedades de cultivos y plantas tolerantes a la salinidad
- Nivelación del terreno
- Aplicaciones químicas (enyesado, etc)
- Investigaciones sistemáticas para el monitoreo de la calidad del agua y del suelo

En el ámbito regional, este problema se puede observar en los suelos bajo riego del área del Valle Inferior (IDEVI) y Alto Valle de la Provincia de Río Negro y en el área de la Corporación de Fomento del Río Colorado (CORFO) en los partidos de Villarino y Patagones, en la provincia de Buenos Aires (Pico, J. 1964). Las aguas que predominan en esta área están clasificadas como C3 S3 (aguas altamente salinas y altas en sodio).

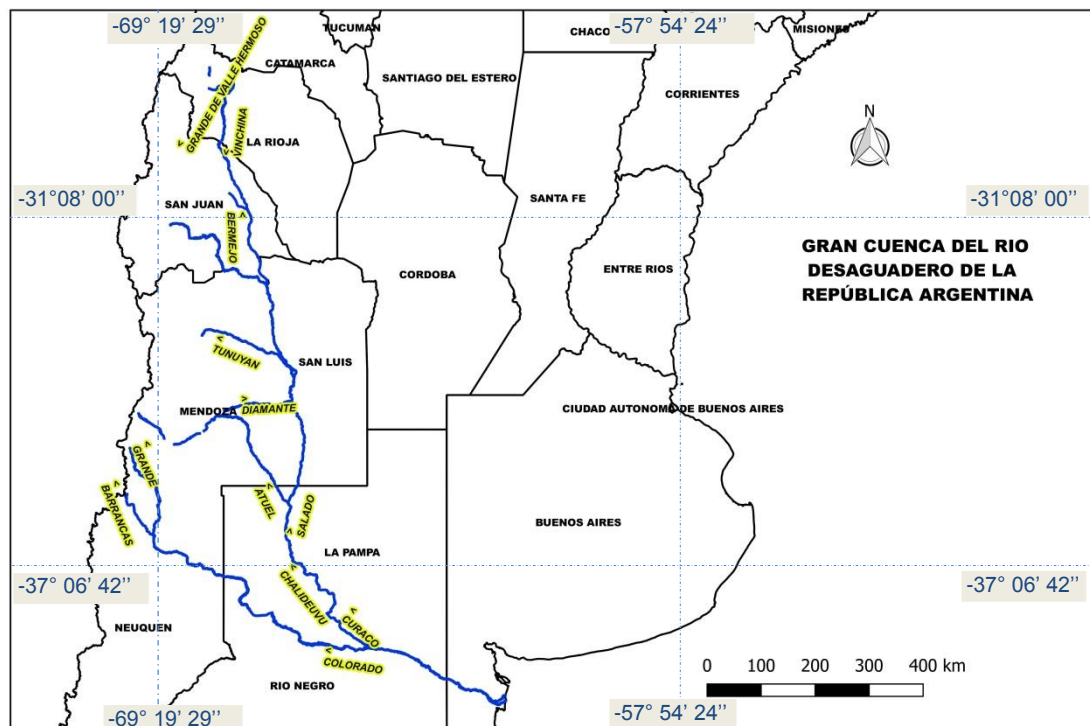
Actualmente puede agravarse un poco más este problema de salinización debido al conflicto existente por la apertura del llamado “Tapón de Alonso” (Centro de Investigaciones Geográficas, 1983). El mismo se encuentra localizado dentro de la gran cuenca del Río Desaguadero-Salado (**figura 5.6.3A**) y está situado al sur de la provincia de La Pampa.

La Cuenca del Desaguadero-Salado es la más extensa de las cuencas interiores de la República Argentina y se desarrolla desde la provincia de Catamarca hasta La Pampa. Se caracteriza por un colector principal que corre rumbo N-S, recibiendo sucesivamente los nombres de Vinchina-Bermejo-Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó (Morisoli, 2007). En La Pampa, penetra con rumbo Noreste - Suroeste a lo largo de 37 km aproximadamente, hasta su encuentro con el Atuel en el Paso la Horqueta. En el río Curacó, el nivel de base está dado por tres grandes cuencas palustres: laguna Urre-Lauquen (7.345,92 ha.), laguna La Amarga (13.744,12 ha) y laguna La Dulce (6.198,67 ha aproximadamente). La laguna La Amarga, al alcanzar su capacidad máxima de almacenamiento (actualmente 930,42 hm³), derrama el excedente en grandes bañados contiguos (**figura 4.6.3B**), que van aumentando en ancho, curso abajo y hacia el este, donde el río Curacó, en su tramo final corre como cauce bien definido hasta su desembocadura en el río Colorado (Covas. *et al.*, 1987).

Este “tapón” como su nombre lo indica es un terraplén de contención que sirve de obturador para frenar el paso de aguas salinas del Río Curacó al Río Colorado. Si se quita esta barrera ocurrirá que El Curacó cuando viene crecido, sus aguas se derivan a la Laguna: “La

Amarga” una vez que se completa la capacidad de la laguna pasa el agua al Río Colorado lo saliniza y se torna complicado el consumo de agua humano y para riego.

FIGURA 4.6.3A: MAPA DE LA CUENCA DEL RÍO DESAGUADERO CON UNA LONGITUD APROXIMADA DE 1.498 KM A LO LARGO DE SU CURSO Y RECIBE VARIAS DENOMINACIONES

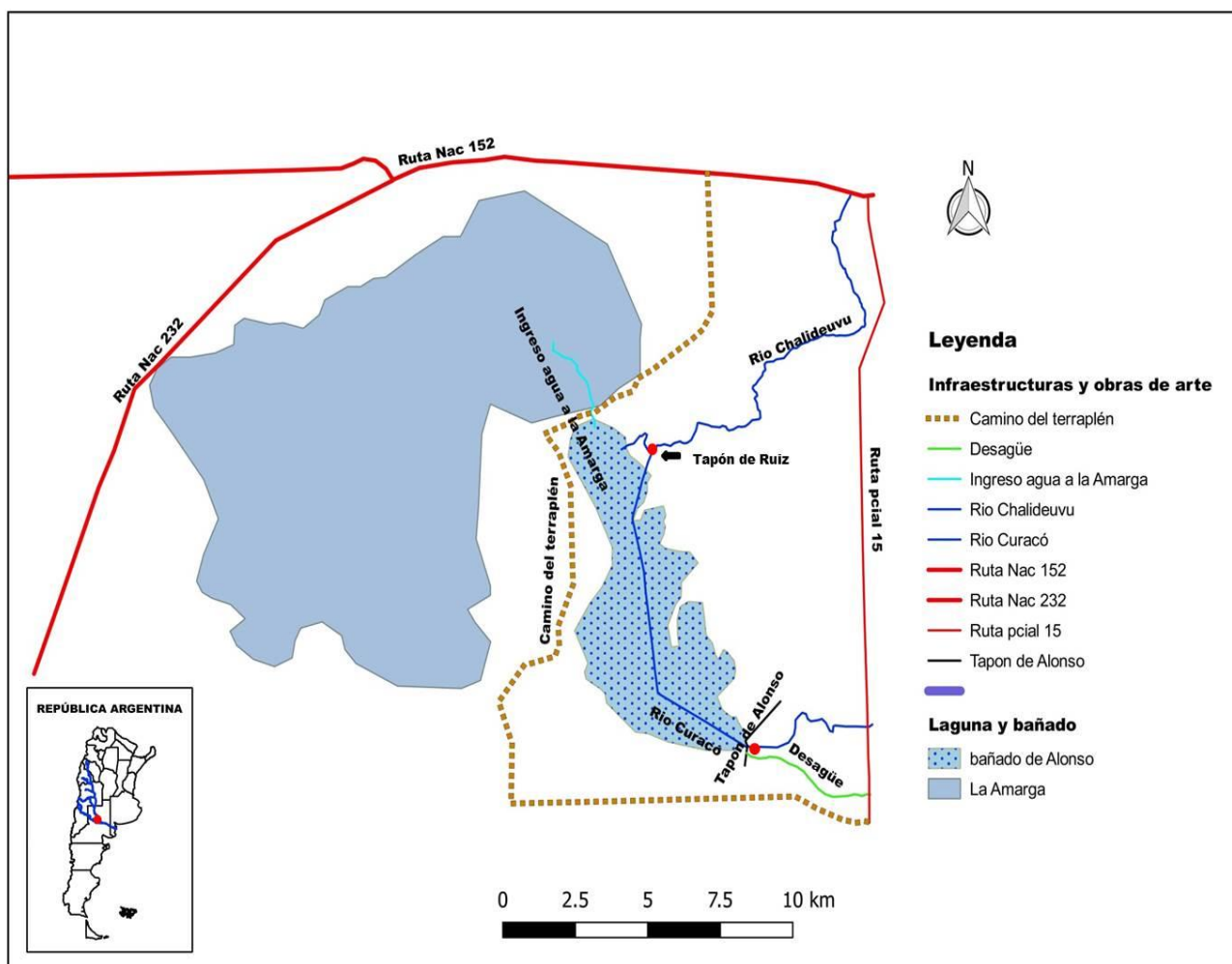


Fuente: Elaboración propia con apoyo del archivo de ríos descargado del sitio web del IGN <http://www.ign.gov.ar/sig>

Según el subsecretario de Infraestructura Hidráulica en el gobierno de la Provincia de Buenos Aires actual (2016), Rodrigo Silvosa, mencionó en una nota periodística que se le realizó en el programa “Bahía Hoy”, lo siguiente: “Nosotros monitoreamos cuando llegamos a un punto crítico, tuvimos conversaciones con los gobiernos de Río Negro y La Pampa. Luego de varias mesas de negociación, hicimos la presentación en la corte suprema para avanzar al respecto”. ¿Cuál es el plan de acción? Este funcionario señaló: "Pedimos que se conforme el Comité de Cuentas del Río Atuel para regular los manejos del agua entre todas las provincias. Se preparó la documentación durante varias semanas. En 2007 ya hubo un problema similar y lo que queremos es no esperar que esto se agrave. Por eso vamos por la vía

judicial". "Se puede sacar la sal o se combina con otras fuentes. El punto es que no hay necesidad de estar contaminando o agregándole sales a un agua. Se trata de ordenar el recurso hídrico y entenderse entre las provincias. Queremos replicar la experiencia de Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO). Esto va a generar, sin dudas, una reunión entre gobernadores", finalizó.

FIGURA 4.6.3B: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL COMPLEJO CONFORMADO POR LA LAGUNA “LA AMARGA” Y EL “BAÑADO DE ALONSO”



Fuente: Elaboración propia utilizando el programa de Google Earth para la realización del dicho esquema

4.7 Análisis multitemporal del avance de la frontera agrícola sobre el monte nativo para los períodos 1975-1987, 1987-2002 y 2002-2015

Esta zona no es la excepción de lo que ocurre en otras partes del mundo porque aquí también el hombre ha intervenido en la modificación del paisaje natural extrayendo la vegetación originaria para introducir cultivos y ganado para su supervivencia. Como se describió, en el Capítulo: II punto 2.3 de la presente investigación, la vegetación nativa es de tipo arbustiva compuesta de arbustales y pastizales, comúnmente llamada en la región “monte”.

El monte, sobre todo en el partido de Patagones, ha sido importante como objeto de talas en la expansión del área agrícola y fuente de combustible. Hoy la presencia tiene uso como tierra de cultivos y pastoreo (González, M.; 1987). El área en estudio es la mayor superficie en la provincia de Buenos Aires cubierta con monte nativo, con un porcentaje en la actualidad del 35% para Patagones y un 30% para Villarino (Pezzola, A. *et al*, 2000).

La ampliación de la frontera agrícola es un proceso que se viene desarrollando en el país desde la época de la colonización (Barsky, O., 1991). Posteriormente las campañas al “desierto”, permitieron aumentar considerablemente las áreas cultivadas, posibilitando el acceso de los agricultores a las nuevas tierras, las que antes eran dominio del indio. Con la llegada del ferrocarril en 1909, se generan núcleos poblacionales en toda su línea, las tierras fiscales eran entregadas por el entonces Instituto Colonizador Provincial, para el desmonte con destino a la agricultura con el propósito de lograr el avance de la frontera agrícola.

Gran parte de los bosques naturales de la Argentina, han sido explotados para la industria del tanino, producción de durmientes, maderas, postes, varillas, leña y carbón. El uso ganadero de bovinos, ovinos y caprinos, se ha desarrollado en base de los pastos que crecen en abras naturales o bajo el monte y de los brotes tiernos y frutos de las especies leñosas que están a su alcance. La actividad pastoril se hizo sin planificación y sin considerar la conservación de los recursos naturales. Todas estas actividades fueron motores de nuevas situaciones de desequilibrio en ambientes naturales generando montes degradados y reduciendo las posibilidades al máximo del uso por parte del hombre. La extracción de la vegetación originaria genera la recolonización de otras especies colonizadoras o invasoras que

son de menor valor forrajero. Situaciones similares se produjeron en campos que fueron desmontados y luego abandonados. Estos hechos condujeron a una arbustización de los estratos bajos, cerrándolos a la ganadería y a una declinación de las pasturas del sotobosque. En las zonas naturales más abiertas, el sobrepastoreo y sobrecarga animal, favoreció mediante la diseminación de semilla la instalación de especies leñosas que poco a poco aumentaron su población.

En algunas zonas el uso inapropiado de los recursos naturales, condujo al fracaso de los colonos y también al deterioro de tierras. Actualmente el avance de esta frontera agropecuaria se realiza en territorio cubierto de bosques o montes naturales, localizados en regiones áridas o semiáridas del país. Estas regiones presentan características ecológicas muy particulares porque tienen un equilibrio muy débil que puede ser alterado profundamente

En el área de estudio se presenta un escenario mostrando netamente un área triguera marginal (Pezzola, A *et al*, 2003). Paralelamente está el aumento de la ganadería, aunque esta no pastorea libremente sino que sus movimientos están limitados por el alambrado y la presencia de los molinos de viento (Silva, M. 1995).

La agricultura y la ganadería son las actividades económicas más importantes generadoras de renta de estos distritos. Estas actividades ejercen una gran presión sobre el ecosistema del monte provocando su reducción y degradación (Pezzola, A, *et al*, 2002). En los paisajes semiáridos la alteración de la biodiversidad con el uso agrícola-ganadero suele estar asociada a la pérdida de cobertura del suelo y al incremento de la erosión eólica.

El desmonte es el medio que utiliza el hombre para incorporar esas tierras a sus actividades agrícolas-ganaderas. Inicialmente el desmonte se hizo con hachas, machetes, picos y palas. Luego aparecieron los sistemas mecánicos como: las topadoras, rolos, cadenas. Y por último, aparecieron los sistemas químicos como es el caso de los arbusticidas.

Cada región presenta características particulares que hacen que el uso de la tierra se oriente hacia una determinada actividad. Por lo general, se observa una tendencia a destinar la tierra desmontada a la agricultura para cosecha. Esto va a depender de la rentabilidad que

tenga cada actividad y el de poder amortizar los gastos que ocasione la extracción de la vegetación en el menor tiempo posible (Puricelli, C., 1992). A veces esta circunstancia produce que el productor implante cultivos que por sus requerimientos o por las características propias del suelo originen procesos acelerados de erosión y degradación de los suelos. Este proceso se agrava además por la falta de difusión de las rotaciones agrícolas-ganaderas y la falta de aplicación de ciertas prácticas conservacionistas imprescindibles para el mantenimiento y preservación de las propiedades físicas y químicas del suelo (Marino, J., *et. al.* 1988).

Los campos recién desmontados para la agricultura presentan algunas de las siguientes particularidades:

- a) Hay gran crecimiento vegetativo, debido a una mayor fertilidad. Eventualmente esto perjudica a los rendimientos de los cultivos para cosecha y favorece a los cultivos forrajeros.
- b) Los suelos se quedan sin reserva de humedad. Luego del desmonte los suelos se presentan muy secos en superficie y en profundidad debido a la exploración radical de las especies arbóreas.
- c) Los cultivos desperejados o heterogéneos por la falta de uniformidad de suelo en los primeros 30 cm de suelo por lo que el cultivo se presenta en distintos grados de crecimiento y en algunos casos no crece.
- d) La erosión de suelos que se produce cuando este queda desprovisto de vegetación natural que lo proteja de los vientos fuertes de la zona provocando voladuras de suelo. En zonas onduladas y con pendientes se presentan formas de surcos, cárcavas y zanjitas; productos de la erosión hídrica provocada por las lluvias.
- e) La pérdida de materia orgánica, degradación de la estructura superficial del suelo y la disminución de la fertilidad. Luego de 10-15 años de uso inadecuado del suelo se acentúa el deterioro y la degradación del mismo presentando como síntoma más significativo la consolidación que se traduce en una lámina sólida delgada superficial, después de ocurrida una precipitación. Se nota una mayor densificación de la capa arable superficial y de capas sub-superficiales como los llamados pisos de arado, producto de las sucesivas actividades agrícolas que alternaron con periodos de inactividad.

En las figuras de los mapas sucesivos se puede visualizar como el hombre ha ido fragmentando y degradando la vegetación originaria correspondiente al monte nativo. Esta degradación está dada a favor del avance la frontera agrícola. El mayor avance se produce principalmente en el partido de Patagones y es menor este avance en el partido de Villarino.

4.7.1 La evolución de la cobertura arbustiva dentro del área de estudio 1975, 1987, 2002 y 2015

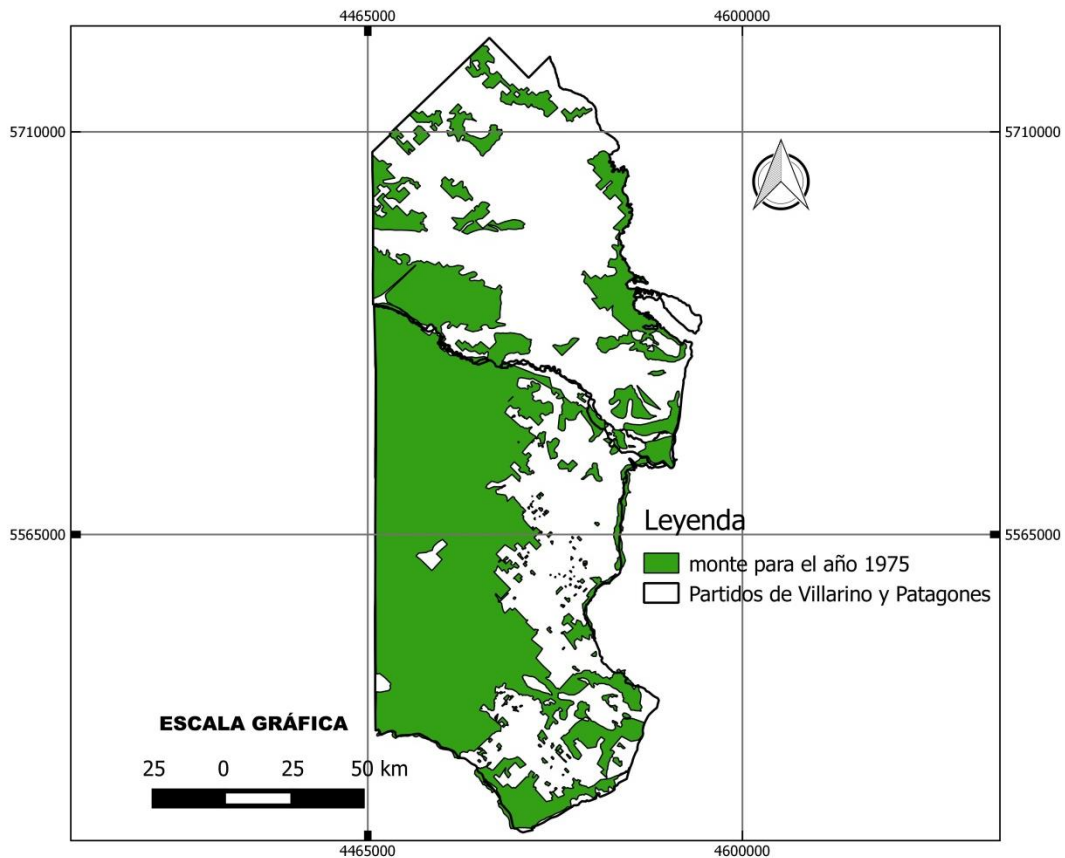
Para cada período analizado se utilizaron imágenes de los satélites Landsat (1, 2, 3, 4, 5, 7 y 8) de los sensores MSS, TM, ETM +, OLI-TIRS con imágenes correspondientes a las distintas fechas analizadas. Se pudo localizar y cuantificar la superficie que ocupaba el monte dentro de ambos partidos.

Como punto de partida para la realización de la cartografía temática para el año 1975, se trabajó con la información y cartografía base impresa en papel. Esta presenta los datos relevados por el grupo de investigadores (González Uriarte Magdalena; González Martín, Kruger Hugo, Lamberto Sergio, Arbanesi Gerardo, Vercesi V), que llevaron a cabo la realización del informe técnico N° 28: “Evaluación expeditiva del recurso suelo y uso y cobertura de la tierra en el sur de la provincia de Buenos Aires”.

Además de ello, se contó con el apoyo de imágenes satelitales históricas disponibles en internet que se descargaron del sitio: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Las imágenes utilizadas corresponden a los satélites Landsat 1, 2, 3, 4 y 5 sensor MSS y los path y row utilizados fueron: 242/087; 242/088; 243/087; 243/088.

Las imágenes descargadas corresponden a las fechas: 22 de noviembre y 09 de diciembre de 1975. A partir de su descarga se procedió al procesado de las mismas con el software SAGA Gis. Una vez procesada se pudo realizar el reconocimiento visual y la digitalización en pantalla de los polígonos correspondientes a la capa de información de monte.

FIGURA 4.7.1A: MONTE PARA EL AÑO 1975 DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES

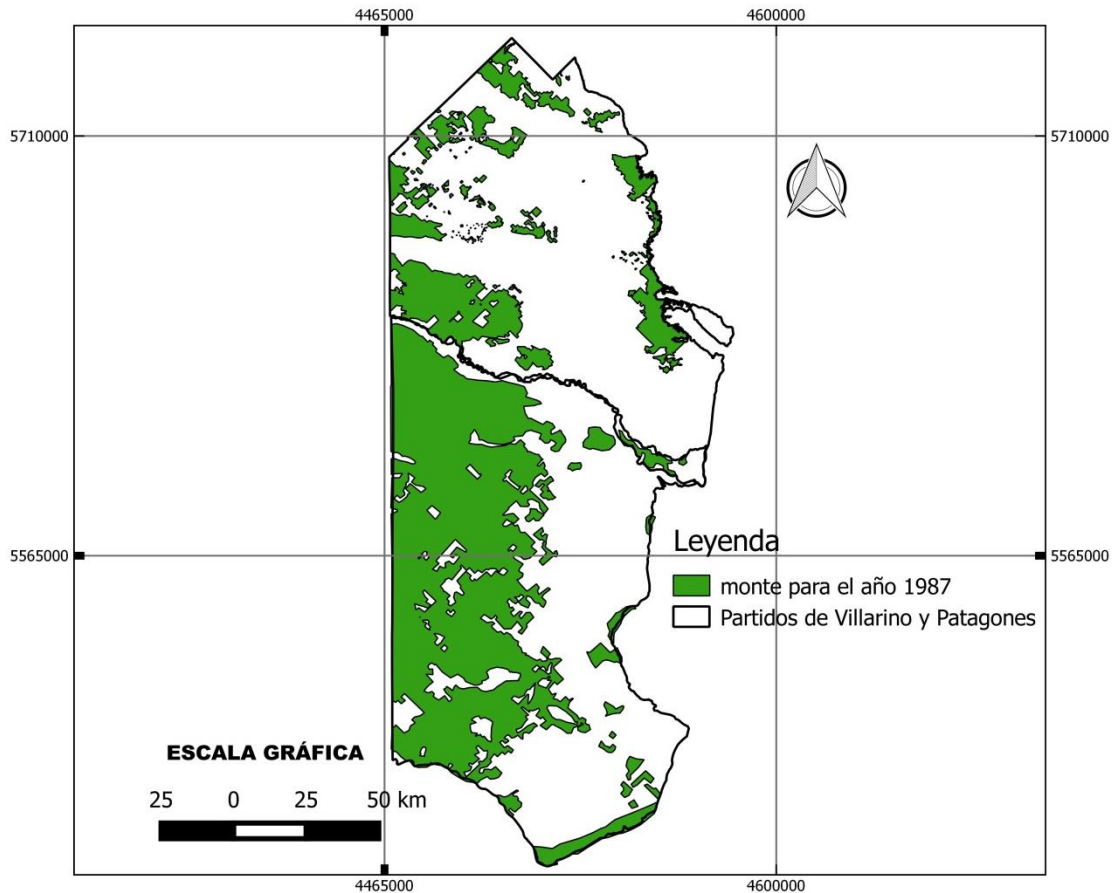


Fuente: elaboración propia con apoyo de cartografía base del informe técnico N° 28: “Evaluación expeditiva del recurso suelo y uso y cobertura de la tierra en el sur de la provincia de Buenos Aires” (González Uriarte, M y otros, 1987) e imágenes históricas descargadas del sitio web <http://earthexplorer.usgs.gov/>

Una vez elaborada la cartografía base de monte para el año 1975 se siguió con el análisis para el año 1987 para el área de estudio. Para dicho año se obtuvieron imágenes satelitales del satélite Landsat 4-5 del sensor TM con fecha del 20 de octubre de 1987 para los path y rows: 226/087; 226/088; 227/087 y 227/088, también disponibles y gratuitas en internet.

Luego de ser descargadas y procesadas las imágenes para el año 1987, se colocó como referencia la capa de información de monte para el año 75 y se comenzó a hacer los recortes de las modificaciones que había recibido el monte originario. En la discriminación visual es muy evidente la gran presión que ha ejercido el hombre por ampliar la frontera agropecuaria.

FIGURA 4.7.1B: MONTE PARA EL AÑO 1987 DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES

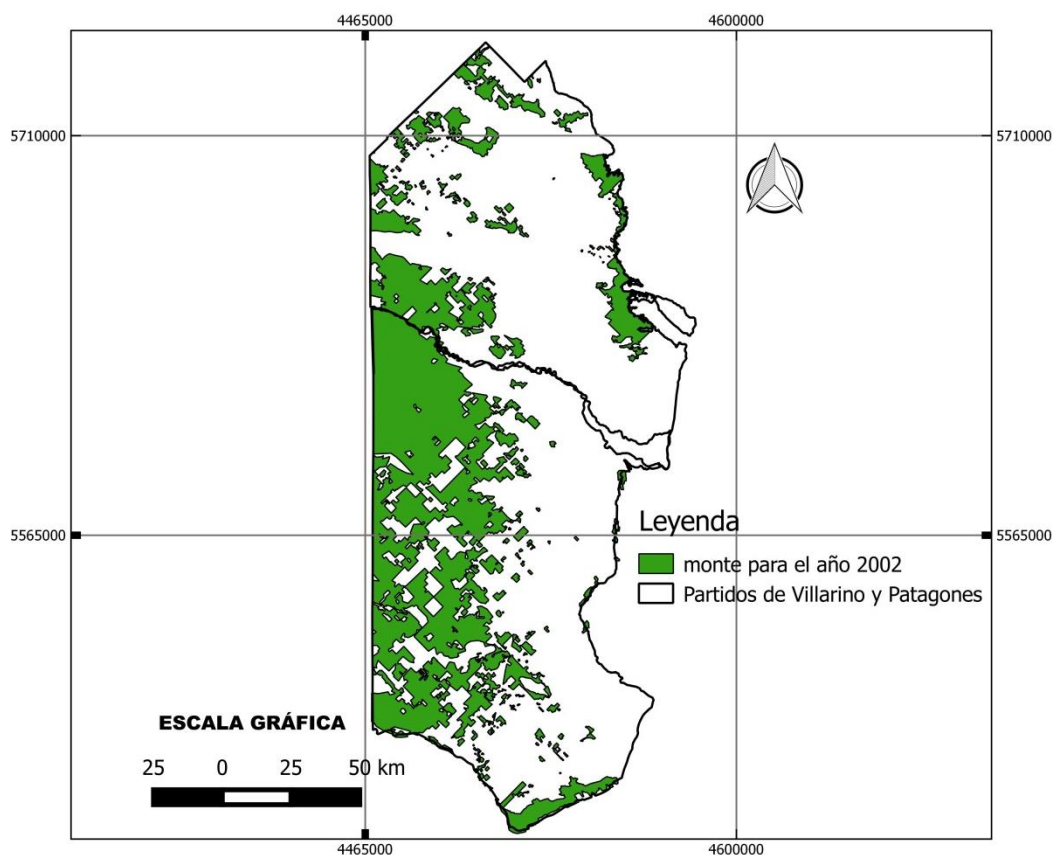


Fuente: elaboración propia con apoyo de cartografía elaborada anteriormente para el año 1975 e imágenes históricas descargadas del sitio web <http://earthexplorer.usgs.gov/>

Para el año 2002 también se descargaron imágenes del satélite Landsat 7 del sensor ETM+ para las mismas pasadas (path y rows) que con fecha del 22 de noviembre de 2002.

En la **figura 4.7.1C** se sigue evidenciando como el hombre ha ido extrayendo el monte. Se ven grandes vacíos con respecto a la cobertura originaria. Esto da idea del gran ritmo con el que se ha desforestado el monte y por lo tanto degradado el suelo. Esta situación es muy bien reflejada al sur y suroeste del partido de Patagones y es menos notoria o se ve un poco más conservado al noroeste del mismo y en casi todo el partido de Villarino.

FIGURA 4.7.1C: MONTE PARA EL AÑO 2002 DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES



Fuente: elaboración propia con apoyo de cartografía elaborada anteriormente para el año 1987 e imágenes históricas descargadas del sitio web <http://earthexplorer.usgs.gov/>

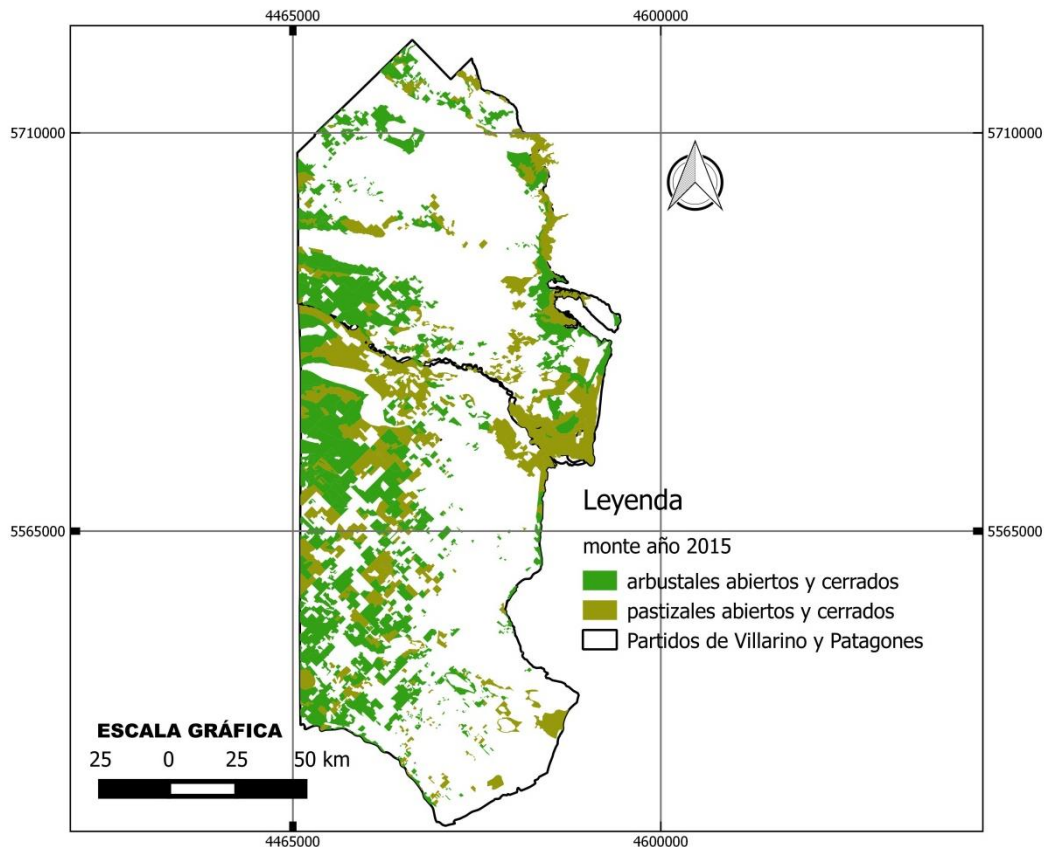
Siguiendo con la metodología de trabajo, en el caso del año 2015 se descargaron imágenes satelitales gratuitas del satélite Landsat 8 sensores OLI-TIRS, para los mismos path y rows que en el '87 y '02, para las fechas del 02 y 11 de noviembre del 2015.

A diferencia de los tres momentos anteriormente analizados que consideraban al monte como un conjunto entre arbustales y pastizales xerófilos, en este caso particular, el monte se lo dividió en arbustales abiertos y cerrados, y en pastizales abiertos y cerrados con arbustos (**figura 4.7.1D**).

Capítulo: IV ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL AVANCE DE LA FRONTERA AGRÍCOLA SOBRE EL MONTE NATIVO (1975-2015)

Si se considera sólo a los arbustales cerrados y abiertos se puede observar el gran avance de la frontera agrícola y el consecuente decrecimiento que ha sufrido la cobertura vegetal originaria del monte.

FIGURA 4.7.1D: MONTE PARA EL AÑO 2015 DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES



Fuente: elaboración propia con apoyo de cartografía elaborada con el sistema de clasificación de la cobertura de la tierra a 2015 e imágenes satelitales Landsat 8, fechas 02 y 11 noviembre de 2015, descargadas del sitio web <http://earthexplorer.usgs.gov/>

4.7.1.1 Resultados de la cuantificación del monte nativo

Partido de Villarino:

Con el análisis realizado a través de la utilización del SIG, se pudo obtener la información expeditiva del grado de deforestación del monte para el partido de Villarino. Para

Capítulo: IV ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL AVANCE DE LA FRONTERA AGRÍCOLA SOBRE EL MONTE NATIVO (1975-2015)

1975, el monte nativo ocupaba una superficie de 284.578 has, es decir, un 67% del partido. Estos datos se tomaron como punto de partida para nuestro estudio.

Visualizando los datos de la **tabla 4.7.1.1a** se puede ver que para el periodo **1975-1987**, se produjo la mayor disminución de la vegetación originaria. En tan sólo 12 años se pasó de un 27% a un 20%, es decir, hubo una disminución de un 7%. Entre **1987-2002** esta reducción fue de un 2% desmontándose sólo unas 22.897 has en un periodo de 15 años. Se puede apreciar a simple vista que para el lapso entre **2002-2015**, que la superficie de monte en vez de reducirse aumentó. Este aumento no es real debido a que para el 2015 se dividió en dos grupos de coberturas: los arbustales abiertos y cerrados con y sin emergentes; y los pastizales abiertos y cerrados con árboles y arbustos (**tabla 4.7.1.1b**). En este caso se debe enfocar sólo al grupo de los arbustales y ahí si se ve una reducida desforestación llegando a quitarse aproximadamente unas 10.000 ha de monte representando una disminución del 1% entre el periodo anterior y este.

Tabla 4.7.1.1a: Superficie de Monte para los distintos años en el partido de Villarino

Años analizado	1975	1987	2002	2015	
Superficie en has	284.578	211.988	189.091	Arbustales	179.693
				Pastizales	133.073
Porcentaje	27%	20%	18%	Arbustales	17%
				Pastizales	13%

Tabla 4.7.1.1b: Superficie de Monte para Villarino, Año 2015

LEYENDA	TIPO DE COBERTURA	SUPERFICIE (has)	GRUPOS DE COBERTURAS
22222	arbustal abierto con emergentes	42.178	
22221	arbustal abierto sin emergentes	93.115	
22110	arbustal cerrado	44.400	179.693
23140	pastizal cerrado con árboles y arbustos	4.259	
23130	pastizal cerrado con arbustos	28.627	
23230	pastizales abiertos con arbustos	100.187	133.073
	Total	312.766	

Partido de Patagones:

Para **1975**, el monte nativo ocupaba una superficie de 911.171 has, es decir, un 65% del partido. Como en el caso de Villarino también estos datos se tomaron como punto de partida para el estudio de desmonte y posterior avance de la frontera agrícola. El análisis realizado con la utilización del SIG, nos brinda la posibilidad de obtener información en forma expeditiva del grado de deforestación de esta comunidad.

Esto indica que para el período **1975-1987** se observó una disminución de la superficie del monte del 16% aproximadamente, correspondiente a 228.804 has, para un intervalo de 12 años. Esta alta tasa de pérdida del paisaje, está asociada al desmonte de grandes superficies, logrando de esta manera la incorporación de esas tierras para su explotación agrícola, a mediados de la década del 70 (Matarazzo, R. 2003). A partir de la década del 80 se disminuyó el desmonte debido a que se suspendieron los créditos para la realización de dicha actividad.

Entre **1987-2002**, fue de un 5 %, una superficie neta deforestada de 157.738 has. En este último periodo evaluado es un indicador un aumento progresivo del avance de la frontera agrícola.

Para el período **2002 -2015**, según muestran las **tablas 4.7.1.1 c y 4.7.1.1d** de superficie de monte para Patagones pareciera que prácticamente no se ha desmontado, pero no es así, porque para el año 2015 se tomaron dos tipos de cobertura que conforman el monte original, como es el caso de los: arbustales abiertos y cerrados que representan el 20% de la superficie del partido y los pastizales abiertos y cerrados con arbustos representando el 15% de dicha superficie.

El monte para el año **2002** representa un 36% de la superficie ocupada por esta cobertura mientras que si sólo se analiza la cobertura de arbustales abiertos y cerrados para el año **2015**, se puntualiza que esta cobertura solo ocupa el 20%, por lo que se puede afirmar que el desmonte ha sido de un 16% en este periodo.

Capítulo: IV ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL AVANCE DE LA FRONTERA AGRÍCOLA SOBRE EL MONTE NATIVO (1975-2015)

Tabla 4.7.1.1c: Superficie de Monte para los distintos años en el partido de Patagones

Años analizados	1975	1987	2002	2015	
Superficie en has	911.171	682.367	524.629	Arbustales	285.321
				Pastizales	225.644
Porcentaje	63%	47%	36%	Arbustales	20%
				Pastizales	15%

Tabla 4.7.1.1d: Superficie de Monte para Patagones, Año 2015

LEYENDA	TIPO DE COBERTURA	SUPERFICIE (has)	GRUPOS DE COBERTURAS
22222	arbustal abierto con emergentes	48.840	285.321
22221	arbustal abierto sin emergentes	217.324	
22110	arbustal cerrado	19.157	
23140	pastizal cerrado con árboles y arbustos	4.826	225.644
23130	pastizal cerrado con arbustos	34.476	
23230	pastizales abiertos con arbustos	186.342	
	Total	510.965	

Esta representación florística fue degradada en los 40 años de estudio en 104.885 has para Villarino y en 625.850 has para Patagones, con una tasa media anual de pérdida de biomasa del 0,48% para el primero de los partidos y un 3,48% para el segundo de dichos partidos. Esto causó gran deterioro del sistema suelo produciendo cambios edáficos ya sea de textura o en nutrientes, por la desaparición del horizonte fértil de aquellos suelos expuestos a la erosión eólica. Se produjo entonces una aridización de los mismos y en estos casos la recuperación de la comunidad original es prácticamente imposible.

La fórmula empleada para el cálculo de la tasa de deforestación (r) se obtuvo del Inventario Nacional Forestal. 2000. Instituto de Geografía de la UNAM-INE, según lo propuesto por la FAO (1996):

$$r = 1/(t_2-t_1) * \ln A_2/A_1$$

dónde:

A1 es la superficie en el tiempo inicial,

A2 es la superficie en el tiempo siguiente;

t es el intervalo de tiempo entre las dos fechas de medición;

ln es el logaritmo natural de la variable que equivale a la duración del período evaluado.

4.8 Evolución multitemporal del uso y cobertura del suelo para 1975, 2001 y 2015 en el sur bonaerense

La cartografía de uso y cobertura del suelo para el año 1975 de los partidos de Villarino y Patagones se elaboró sobre la base de imágenes satelitales Landsat, las mismas impresas en papel en falso color, compuesto a partir de las bandas 4, 5 y 7 a escala 1:667.000; con fechas: 28-12-1975 (Villarino) y 22-11-1975 (Patagones). Se utilizó el “sistema de clasificación de cobertura y uso de la tierra para utilizar datos teledetectados”, (Anderson et al., 1976). Se han incorporado varias modificaciones propias del área de estudio porque al ser un sistema abierto este lo permite. Estas modificaciones no afectan a los contenidos básicos pero sí a los términos de la leyenda, porque en vez de ser numérica se transformó en alfanumérica.

Dicho sistema propone 4 “niveles” de clasificación: Nivel I (grandes grupos), Nivel II (grupos), Nivel III (subgrupo) y Nivel IV (tipo de uso y cobertura). En este trabajo se han cartografiado sólo dos niveles de clasificación: Nivel I corresponde a los grandes grupos, Nivel II al grupo (**figura 4.8A**). Por ejemplo: el gran grupo de tierras agrícolas se divide en dos grupos: tierras agrícolas de secano (As) y tierras agrícolas bajo riego (Ar).

Gran grupo de tierras agrícolas:

Este grupo hace referencia a las tierras que se utilizan para la producción primaria de alimentos y fibras. En este grupo se pueden encontrar asociaciones y consociaciones entre parcelas con cultivos intensivos y parcelas donde se practica el pastoreo (ya sea intensivo o extensivo). Este grupo discrimina en dos a las tierras agrícolas: **agrícolas de secano (As) y agrícolas bajo riego (Ar)**.

En las imágenes satelitales, el grupo de **tierras agrícolas de secano**, las parcelas de ambos partidos presentan formas netas y tonos variados que responden al estado de sus cultivos y pasturas. Predominan los cultivos de trigo, centeno, agropiro, cebada forrajera, sorgos y pasto llorón; también se practica la cría de ganado bovino, ovino y caprino (sobre todo al sur de Patagones).

El grupo de **tierras agrícolas bajo riego (Ar)** se divide en dos subgrupos: el de las tierras que se abastecen con agua subterránea extraída por bomba y molinos de viento y el que se abastecen con agua proveniente de los ríos, que ha sido canalizada para su uso. En este trabajo no se lo subdividió en estos dos subgrupos debido a que la escala de digitalización no permite la discriminación entre un subgrupo y otro; quedando agrupadas ambos en el mismo grupo de tierras agrícola bajo riego.

En estos oasis de riego se cultivan principalmente hortalizas (papa, tomate, cebolla, ajo, zapallo, pimiento); frutales (manzana, uva, durazno, membrillo, pera, ciruela, nogal); cereales (trigo, cebada, avena, maíz) y forrajeras (alfalfa, festuca, agropiro, entre otras). Las zonas que no se pueden regar se utilizan para el pastoreo del ganado bovino, ovino y porcino, además de los bovinos de algunos tambos.

Gran grupo de tierras de pastoreo (P):

Las tierras de pastoreo, históricamente, han sido definidas como tierras en las cuales por lo menos parte de la vegetación natural tiene valor forrajero para la cría de ganado, ya sea vegetación herbácea, arbustos y matorrales o mixtas. (Lamberto S., *et al*, 1987).

En este gran grupo se han reunido en la misma unidad de mapeo a cuatro grupos de cobertura, según receptividad ganadera decreciente, como son: la zona mixta con vegetación herbácea, matorrales y arbustales (P); los arbustales, matorrales y pastizales xerófilos (P1); los pastizales psamófilos (P2); los matorrales y arbustales halófilos (P3).

Gran grupo de tierras eriales (Th):

Estas son tierras de aptitud limitada para soportar vida y en las cuales menos de una tercera parte del área tienen vegetación u otra cobertura. En general son áreas de espesores someros de suelos con arenas y pocas rocas.

Gran grupo de planicies salinas (S):

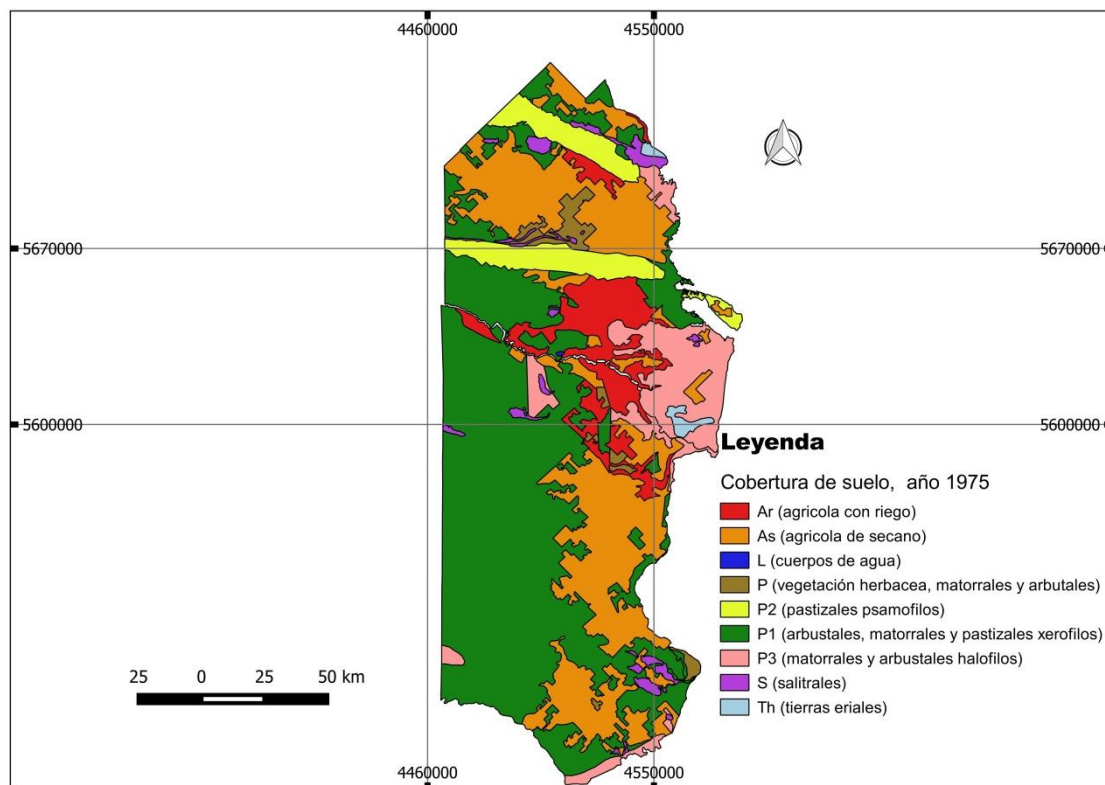
En ambos distritos están presentes como salitrales costeros o interiores. Comprende las superficies planas en las que el agua se ha evaporado y las altas concentraciones de sales producen altos niveles de radiancia que son captadas por los sensores del satélite Landsat.

Gran grupo de lagos y lagunas (L):

En este grupo se incluyen los cuerpos de agua de mayor y menor tamaño, fundamentalmente en zonas donde se presentan depresiones de la superficie terrestre. Estos cuerpos acuíferos pueden o no tener comunicación y salida al mar.

En la siguiente cartografía (**figura 4.8A**) se muestra claramente la distribución de las diferentes coberturas de suelo. La misma responde a patrones climáticos, edáficos, ambientales, y humanos principal modificador del paisaje.

FIGURA 4.8A: MAPA TEMÁTICO DE LA COBERTURA DE SUELOS PARA EL AÑO 1975, UTILIZANDO EL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DEL SERVICIO GEOLÓGICO DE LOS ESTADOS UNIDOS (U.S.G.S), (ANDERSON, 1976)



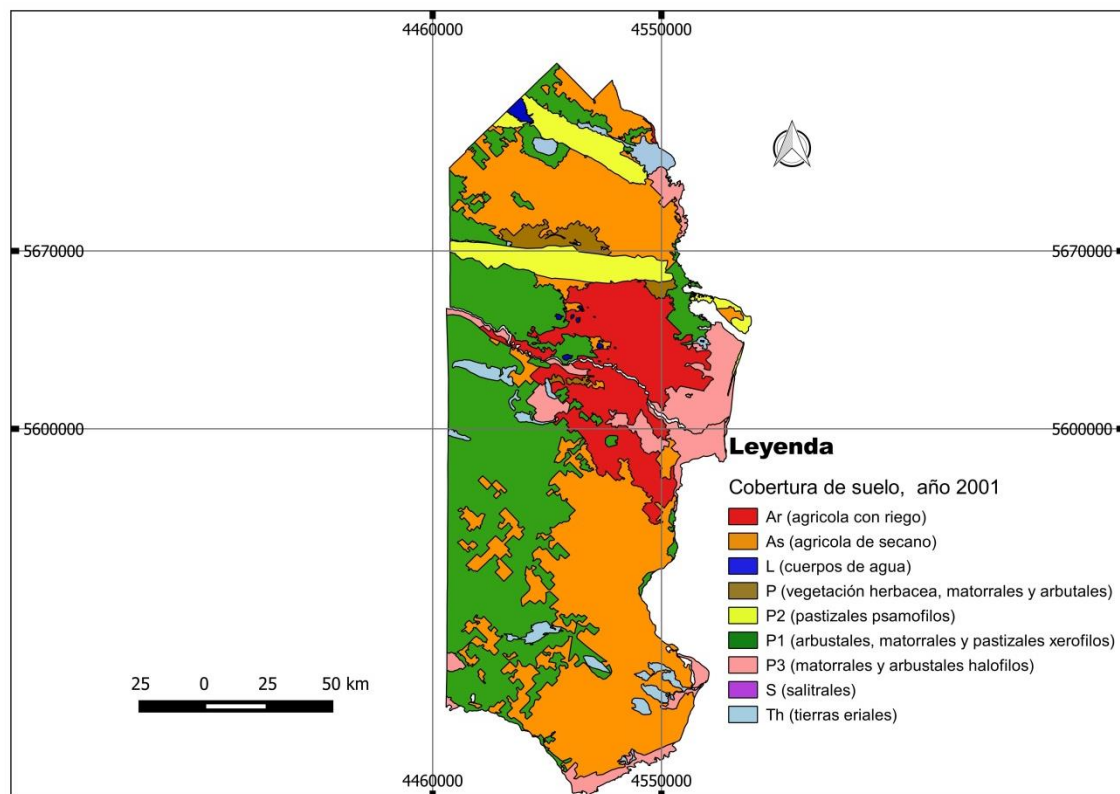
Fuente: elaboración propia a través de imágenes históricas descargadas del sitio web

<http://earthexplorer.usgs.gov/>

Posteriormente se realizó la actualización al año 2001 de dicha cartografía del año 1975 siguiendo con el criterio de clasificación del U.S.G.S (**figura 4.8B**). Para ello se trabajó con imágenes del satélite Landsat 7 sensor ETM+ para la fecha: 16 de septiembre de 2001 en

Villarino y Patagones donde se digitalizaron sobre la imagen en pantalla las distintas unidades homogéneas de coberturas de suelos.

FIGURA 4.8B: MAPA TEMÁTICO DE LA COBERTURA DE SUELOS PARA EL AÑO 2001, UTILIZANDO EL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DEL SERVICIO GEOLÓGICO DE LOS ESTADOS UNIDOS (SUSG.), (ANDERSON, 1976)



Fuente: elaboración propia a través de imágenes históricas descargadas del sitio web

<http://earthexplorer.usgs.gov/>

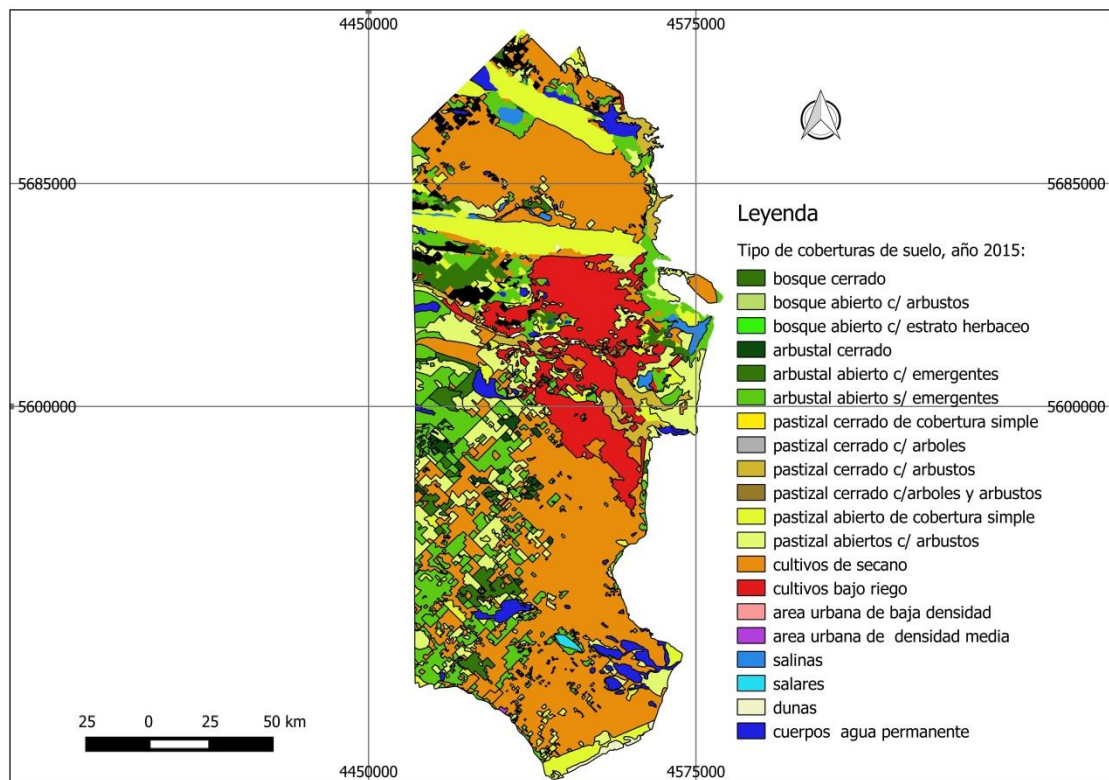
Siguiendo con el análisis multitemporal del relevamiento de uso y coberturas de suelo para esta área, se evaluó la existencia de las mismas para el año 2015 (**figura 4.8C**). Se contó con la información de campo de los referentes zonales de las Estaciones Experimentales del INTA. Para la generación de las clases LCCS se acordó entre estos referentes una leyenda de coberturas *a priori*, formada por un total de 8 clases a nivel I, las que derivan en 18 clases a nivel V.

La delineación de las distintas unidades cartográficas se realizó mediante interpretación visual y digital (Chuvieco, E., 1996) de las imágenes Landsat 8 sensor OLI-

TIRS, obtenidas gratis desde el sitio web: <http://earthexplorer.usgs.gov/>, correspondientes al 11 de noviembre de 2015, geo-referenciadas al sistema de proyección POSGAR98 WGS84.

Se relevaron las coberturas con toma de puntos GPS en cuatro salidas al campo. Esta información se aplicó a la interpretación de las imágenes y se utilizó en la validación cartográfica.

FIGURA 4.8C: MAPA TEMÁTICO DE LA COBERTURA DE SUELOS PARA EL AÑO 2015, DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES APLICANDO EL LCCS (SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE LA COBERTURA DE LA TIERRA) UTILIZADO POR LA FAO; (DI GREGORIO & JANSEN 2000)



Fuente: elaboración propia a través de imágenes Landsat 8 sensor OLI-TIRS descargadas del sitio web <http://earthexplorer.usgs.gov/>

Una vez realizada la cartografía para el área de estudio y para cada año analizado, se trabajó en la cuantificación de cada una de las unidades homogéneas correspondiente a cada una de las coberturas de suelo. Los resultados de esta cuantificación se muestran en las siguientes tablas.

Visualizando la **tabla 4.8a** de tipo de uso y coberturas de suelo en el partido de Villarino para los años 1975 y 2001 se puede observar que algunas categorías han variado significativamente, como por ejemplo: las tierras agrícolas bajo riego que aumentaron un 5,2% al año 2001 y las tierras agrícolas de secano con un incremento de sólo un 2,1%.

Mientras que otras clases decrecieron, como es el caso de los arbustales, matorrales y pastizales xerófilos (P1) y matorrales y arbustales halófilos (P3); en el caso de P1 se redujo un 2,1 % y en P3 un 6,5%. El resto de las coberturas se mantuvo o varió muy poco.

Tabla 4.8a: Tipo de coberturas de suelo en el Partido de Villarino para los años 1975 y 2001

LEYENDA	Año 1975	Año 2001
	sup en has	
Tierras agrícolas de riego (Ar)	115.662	170.099
Tierras agrícolas de secano (As)	284.000	304.922
Cuerpos de agua (L)	5.212	6.975
Vegetación herbácea, matorrales y arbustales (P)	30.720	37.254
Arbustales, matorrales y pastizales xerofilos (P1)	246.066	224.291
Pastizales psammófilos (P2)	149.811	152.801
Matorrales y arbustales halófilos (P3)	163.095	96.022
Salinas y salares (S)	27.348	29.550
Tierras eriales (Th)	12.987	12.987
total	1.034.901	1.034.901

Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de la digitalización y cuantificación de dichas coberturas de suelo, utilizando el sistema de clasificación del SUGS adaptado por Anderson en el año 1976

En cuanto al Partido de Patagones en los años 1975 y 2001 (**tabla 4.8b**), se ve reflejado un gran aumento de las tierras agrícolas de secano pasando de un 25,3% en el '75 a un 40,3% en el año 2001. Las tierras agrícolas bajo riego sólo se incrementaron un 4,2%. En cambio la clase correspondiente a la capa de arbustales, matorrales y pastizales xerófilos (P1) decreció un 20% al año 2001. El resto de las categorías, como pasó en el caso de Villarino, se mantuvieron casi inalteradas o con poca variación.

Tabla 4.8b: Tipo de coberturas de suelo en el Partido de Patagones para los años 1975 y 2001

LEYENDA	Año 1975	Año 2001
	(sup en has)	
Tierras agrícolas de riego (Ar)	78.569	132.049
Tierras agrícolas de secano (As)	365.181	580.872
Cuerpos de agua (L)	3.188	6.975
Vegetación herbácea, matorrales y arbustales (P)	15.165	3.610
Arbustales, matorrales y pastizales xerofilos (P1)	855.182	567.012
Matorrales y arbustales halófilos (P3)	77.887	104.527
Salinas y salares (S)	47.178	47.305
total	1.442.350	1.442.350

Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de la digitalización y cuantificación de dichas coberturas de suelo

Posteriormente se trabajó con los datos de las distintas categorías correspondiente a los usos y coberturas de suelo para el año 2015 aplicando el sistema de clasificación de cobertura de suelo (LCCS) utilizado por la FAO. En las siguientes tablas (**tablas 5.2c y 5.2d**) se presentan los datos de superficie en hectáreas y porcentaje de ocupación para cada tipo de cobertura para los distritos de Villarino y Patagones.

Para Villarino (**tabla 4.8c**) el mayor porcentaje se le atribuye a la clase de cultivos conformada por los cultivos de secano con una superficie de 346.515 has y los cultivos bajo riego con 152.024 ha, y representan el 48,17% de la superficie total del partido. El segundo lugar lo ocupan los pastizales, tanto cerrados como abiertos, con casi el 29%. El tercer lugar está formado por el grupo de los arbustales (cerrados y abiertos) con 17,36 %.

Existe un porcentaje muy pequeño con el 0,28% que corresponde a la cobertura de bosques que se encuentran situados principalmente al noroeste de este partido como relictos de bosques de caldenes del Distrito Fitogeográfico del Caldenal de la provincia del Espinal.

Las coberturas menos representativas pero igualmente presentes corresponden a: los cuerpos de agua naturales permanentes con el 2,65%; a las áreas sin vegetación (salinas, bajos salinos, dunas, rocas) con el 2,43%; y a las superficies artificiales y/o construidas donde se encuentra el grupo de áreas urbanas de densidad baja con un 0,13%.

Tabla 4.8c: Categorías y tipos de cobertura de los suelos Nivel V LCCS, partido de Villarino para el año 2015, provincia de Buenos Aires

Categoría LCCS	Tipo	Cobertura LCCS	Superficie en has	%
A 11 Vegetación Terrestre Cultivadas y Manejadas	Cultivos	Cultivos de herbáceas graminoideas en secano	346.515	48,17
		Cultivos de herbáceas graminoideas y no graminoideas bajo riego	152.024	
A12-Vegetación Terrestre Natural y Semi-natural	Bosques	Bosque cerrado	872	0,08
		Bosque Abierto con arbustos	1.210	0,20
		Bosque Abierto con estrato herbáceo	724	
	Arbustos	Arbustal Cerrado	44.400	4,29
		Arbustal Abierto sin emergentes	93.115	13,07
		Arbustal Abierto con emergentes	42.178	
	Pastizales	Pastizales Cerrados de cobertura simple	1.342	3,40
		Pastizales Cerrados con arboles	308	
		Pastizales Cerrados con arbustos	28.627	
		Pastizales Cerrados con árboles y arbustos	4.865	
Pastizales Abiertos de cobertura simple		164.753	25,58	
	Pastizales Abiertos con arbustos	99.969		
B15- Superficies artificiales y áreas asociadas	Áreas Urbanas	Urbana de baja densidad	1.374	0,13
B16-Áreas Naturales Desnudas	Áreas desnudas	Consolidadas (salinas)	23.171	2,43
		No consolidadas (dunas y bajos salinos)	1.979	
B28-Cuerpos de Agua Natural	Cuerpos de Agua	Natural Estacionarios permanentes	27.475	2,65
		Total	1.034.901	100

Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de la digitalización y cuantificación de dichas coberturas de suelo utilizando el sistema de clasificación LCCS de FAO

Para Patagones (**tabla 4.8d**) también el mayor porcentaje corresponde al área de cultivos de secano con 607.456 has y cultivos bajo riego con 137.043 has, y representa el 51,62 % más de la mitad de la superficie de este distrito. El segundo lugar está compuesto por la categoría A12 (Vegetación Terrestre Natural y Semi-natural) con el 39,48% dividido entre las cobertura de arbustales (cerrados y abiertos) con el 19,78% y pastizales (cerrados y

abiertos) con el 19,70%. Los menores porcentajes están asociados a las superficies o áreas urbanas (baja y media densidad) con un 5,08%, a los cuerpos de agua permanente con un 3,14%; y las áreas desnudas (salinas, bajos salinos, dunas, rocas) con el 0,67% de la superficie total del partido

Tabla 4.8d: Categorías y tipos de cobertura de los suelos Nivel V LCCS, partido de Patagones para el año 2015, provincia de Buenos Aires

Categoría LCCS	Tipo	Cobertura LCCS	Superficie en has	%
A 11 Vegetación Terrestre Cultivadas y Manejadas	Cultivos	Cultivos de herbáceas graminoideas en secano	607.456	51,62
		Cultivos de herbáceas graminoideas y no graminoideas bajo riego	137.043	
A12-Vegetación Terrestre Natural y Semi-natural	Arbustos	Arbustal Cerrado	19.157	1,33
		Arbustal Abierto sin emergentes	217.324	18,45
		Arbustal Abierto con emergentes	48.840	
	Pastizales	Pastizales Cerrados con arbustos	34.476	2,72
		Pastizales Cerrados con árboles y arbustos	4.826	
		Pastizales Abiertos de cobertura simple	58.544	16,98
Pastizales Abiertos con arbustos	186.342			
B15- Superficies artificiales y áreas asociadas	Áreas Urbanas	Urbana de densidad media	495	5,08
		Urbana de baja densidad	72.839	
B16-Áreas Naturales Desnudas	Áreas desnudas	Consolidadas (salinas)	3.123	0,67
		No consolidadas (dunas y bajos salinos)	6.531	
B28-Cuerpos de Agua Natural	Cuerpos de Agua	Natural Estacionarios permanentes	45.354	3,14
		Total	1.442.350	100

Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de la digitalización y cuantificación de dichas coberturas de suelo utilizando el sistema de clasificación LCCS de FAO

A lo largo de todo este capítulo, el análisis estuvo centrado en los factores influyentes en los procesos de degradación de suelos donde se lo consideró al hombre como principal agente modificador del ambiente. Este por su excesivo uso agrícola y ganadero va degradando y despojando al suelo de sus propiedades físicas y químicas que inciden en la producción.

Capítulo: V

5. METODOLOGIA DE TRABAJO

Esta investigación está muy vinculada a proyectos en los que trabaja el INTA de Hilario Ascasubi como es el caso de los proyectos nacionales y regionales con participación en el territorio local, entre ellos: Sistemas de Información y prospectivas económica y Proyecto de Indicadores de Sustentabilidad (PROISUS); Red de Información Agroeconómica Nacional (RIAN), Monitoreo del uso y cobertura del suelo por sensores remotos para la República Argentina, SIG ambiental, productivo y socio-económico para el ordenamiento; Proyecto de Monitoreo y Control de la Erosión Eólica de Argentina; Sistema de Información Territorial (SIT); Dinámica de uso y cobertura de suelo; y Relevamiento y Cartografía de suelos.

Esta temática, permanentemente presente en el sudoeste de la Prov. de Buenos Aires, fue la inspiradora en la realización de la investigación, la que ha intentado conformar un complemento desde el campo de las Geotecnologías a los proyectos anteriormente mencionados, tratando de materializar un aporte y un nexo entre las diferentes disciplinas que analizan el complejo ambiente del paisaje agrícola – ganadero.

La selección del sensor y la resolución espacial del análisis digital son criterios primordiales e íntimamente ligados para el mapeo de las distintas coberturas del suelo, ya que las características de los insumos y la resolución de los datos imponen los alcances del análisis. En este caso se consideró emplear información proveniente de distintas fuentes: mapas topográficos y catastrales, fotografías aéreas, imágenes satelitales; además de una abundante recopilación bibliográfica y de relevamiento del terreno. Se cuentan con cartas topográficas a escala 1:50.000, mapas catastrales a escala 1:100.000 e imágenes satelitales de los satélites Landsat 5 TM, 7 ETM+ y 8 OLI- TIRS, con resoluciones de 30 m por pixel. El tamaño del pixel establece la escala del trabajo, cuanto más pequeño sea éste más precisa es la representación de la realidad (terreno) en el mapa.

El modo en que se compaginó toda la información forma parte de un razonamiento **inductivo-deductivo** acoplado con todos los datos relevados a campo. El modo **inductivo**

intenta ordenar la observación tratando de extraer conclusiones de tipo universales desde la acumulación de datos particulares. El modo **deductivo** parte de principios generales y con la ayuda de ciertas reglas se demuestran los teoremas o principios secundarios. El método deductivo logra inferir algo observado a partir de una ley general. Esto lo diferencia del llamado método inductivo, que se basa en la formulación de leyes partiendo de los hechos que se observan.

Para esta tesis se realizó un corte temporal bajo un enfoque espacio-temporal donde se incorporó la noción multitemporal para el análisis del caso concreto Villarino-Patagones en el sur de la Provincia de Buenos Aires. Se tomó como referencia el periodo 1975-2015 para analizar de la evolución del cambio de uso y cobertura de suelo visualizando un importante avance de la frontera agrícola; y se trabajó en el periodo 2005-2009 con un tema vertical de gran importancia para poder realizar el estudio de la vulnerabilidad de las áreas a degradarse o erosionarse analizando la ocurrencia de incendios de pasturas. Se consideró a este último periodo por la gran sequía que se produjo en ese lapso provocando graves problemas de erosión y degradación de los suelos. Se elaboraron mapas temáticos de distribución y cuantificación de focos ígneos, de los distintos usos y coberturas de suelo, de desmontes y de áreas vulnerables o susceptibles a la erosión.

Con la realización de este trabajo se pretende implementar una metodología interdisciplinaria, aplicada a un relevamiento regional integrado, en donde la información proveniente de diversa documentación sea concentrada, relacionada y analizada en un entorno informático utilizando para ello programas de licencia libre. En el caso del SIG se utilizó el QGIS versión Essen 2.14.0 y para el procesado de imágenes satelitales se trabajó con el SAGA Gis. El QGIS es un SIG de código abierto licenciado bajo GNU - General Public License y es un proyecto oficial de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Corre sobre Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android y soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos vector, datos ráster y bases de datos. En cuanto a los modelos de análisis de cambio y predicciones a futuro se trabajó con la versión de prueba del IDRISI TerrSet.

Estos programas permiten obtener e integrar, a través del uso de tecnología SIG aplicando el análisis de multicriterio relacionando y combinando las capas de información de los mapas de suelo, uso y cobertura de suelo y geoambientes. Se determinarán las superficies

y porcentajes de cobertura vegetal, las áreas vulnerables a degradarse y los suelos que efectivamente sufrieron los embates de la erosión eólica para el año 2009.

Un importante elemento auxiliar en esta tarea son las Técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) que, unidas a los SIG, forman una potente herramienta de gran utilidad y validez (Bosque Sendra Joaquin, 2000). La función del análisis de multicriterio en un SIG es la de mejorar nuestra capacidad para decidir con criterio.

Un sistema de información es la cadena de operaciones que nos lleva desde la planificación de la observación y recolección de los datos hasta su almacenamiento y análisis, y luego a la utilización de la información obtenida en algún proceso de toma de decisiones. Como resultado de esto se logra una cartografía que permite visualizar rápidamente la localización, distribución de los datos almacenados y analizados y así poder gestionar y tomar ciertas decisiones que solucionen, controlen, minimicen y mitiguen una problemática que se encuentre afectando los componentes del medio (económicos, sociales, ambientales, entre otros).

En este análisis se verán las posibilidades de interconexión de SIG y EMC y su uso en resolver diversos tipos de problemas de planificación ambiental: localización de zonas más vulnerables a degradarse; y la selección de zonas a proteger. Esta integración puede ser definida como un proceso que conforma y transforma datos geográficos (mapas de criterios en donde se consideran las diferentes alternativas creadas a partir de las observaciones y estudios realizados dentro de una región) y juicios de valor (las preferencias del tomador de decisiones e incertidumbres) para obtener la evaluación total de las alternativas de decisión (Borouhaki y Malczewski, 2008).

El análisis multicriterio (AM) es una estrategia que sirve de apoyo para la toma de decisiones durante el proceso de planificación que permite integrar distintos criterios de acuerdo a la opinión de actores en un solo marco de análisis para dar una visión integral de la problemática. El concepto fue propuesto por Saaty (1977) mediante el Análisis Jerárquico de Procesos (AHP) siendo una herramienta que en la actualidad combinado con los SIG se ha convertido en poderoso instrumento empleado para el análisis y evaluación de los problemas de decisiones espaciales (Xiond, Y., *et al.*, 2007).

La base central del AM es el concepto de reglas de decisión o algoritmos de evaluación (Boroushaki, *et. al.*, 2008). Una regla de decisión es el procedimiento que dicta el orden de alternativas o que alternativa es preferida sobre otra en el problema de decisión. En el contexto de SIG-AM, es un procedimiento que permite al encargado de tomar la decisión ordenar y seleccionar una o varias alternativas de un juego de alternativas disponibles.

Se incorpora la información tanto cuantitativa como cualitativa combinándolas y descomponiéndolas en jerarquías para clasificar las alternativas sobre la base de una serie de criterios. Como resultado tiene la ventaja de incluir múltiples factores espaciales pudiendo aplicarlos en muchos campos de la investigación. Los estudios que más utilizan el multicriterio como herramienta están relacionados con la aptitud de las tierras, la evaluación de zonas de deslizamientos, planificación y desarrollo urbano, en riesgos y desastres.

Como características de este análisis, se puede mencionar que:

- Analiza fenómenos complejos que no se puedan verificar objetivamente en laboratorio.
- Permite orientar la toma de decisiones considerando como base varios criterios comunes.
- Se utiliza para emitir juicios comparativos y su objetivo es llegar a la solución del problema mediante su simplificación.
- Es muy empleado en evaluaciones del medio ambiente.

En la aplicación de las técnicas de EMC se debe seguir un proceso transparente, en el que la decisión (elección de variables y su valoración) se va construyendo a través de una progresiva delimitación y clarificación de los criterios, las bases de nuestros juicios y el análisis en función de ellos y de las alternativas reales, con sus características específicas. La complejidad operativa de su aplicación se debe a la evaluación de la capacidad de acogida del territorio y se advierte cuando el territorio se abarca de una manera extensiva, y cada punto del mismo es en sí una alternativa a balancear la decisión.

La dificultad no está implícita en las técnicas de EMC, sino en el manejo requerido de información geográfica. Por ello es aconsejable que el número de factores sea pequeño o que estos hayan sido sintetizados en criterios muy bien definidos. Al mismo tiempo, entre ellos, podrá existir un factor “excluyente”, que considera aquella parte del territorio en la que no se

puede desarrollar la actividad planteada, este es el concepto de restricción. Las ventajas de utilizar estas técnicas combinadamente con SIG se sitúan en poder resolver con todo rigor la interrelación de las diversas variables del territorio. Un atributo cualquiera contenido en cada una de las capas de información de un SIG, pueden ser ponderados como un factor positivo o negativo para un determinado objetivo e igualmente ser valorado en conjunción con otros y en función de ello, contrarrestado, potenciado o anulado.

La utilidad de estos procedimientos es reconocida y el campo de aplicación de la EMC combinada con SIG, para la evaluación de la capacidad de acogida del territorio es muy extenso, se citan algunos trabajos: Eastman et al. (1993), Malczewski (1999), Gómez y Barredo (2005, anteriormente Barredo, 1996), Bosque y García (1999), Barredo y Bosque (1995), Bosque y Moreno (2004).

Los criterios son cada una de las partes de un juicio, debiéndose poder delimitar y medir. Asimismo, los criterios son el punto de referencia para una decisión. El cómo sean medidos y caracterizados se constituye en un aspecto básico del que dependerá gran parte del resultado final del proceso de evaluación. La puntuación de los criterios (valoración de las alternativas) es el paso inicial del proceso de EMC.

Cada zona o área tiene características que le son propias y se diferencian de otras regiones, por ello los criterios que se definen para el área de estudio son exclusivos de ella y pueden ser excluyen para otras zonas.

Además, la herramienta SIG se puede utilizar para numerosas finalidades tales como realizar análisis de sensibilidad en los modelos mediante la manipulación de las variables de insumo, y estudiar una cuenca para distintas escalas y/o resoluciones y sus efectos en la exactitud de la predicción del modelo.

Conjuntamente se cuenta con relevamientos a campo a través de transectas en ambos partidos para visualizar la situación de los potreros y ver el estado de degradación en el que se encuentran dichos suelos. Para el trabajo de campo y organizar el recorrido se utiliza la cartografía otorgada por el departamento de vialidad de los Municipios de los partidos de Villarino y Patagones.

Una vez obtenidos todos estos productos se logrará realizar la cartografía de áreas más vulnerables o susceptibles a la degradación y los suelos que efectivamente se erosionaron para el periodo 2005- 2009 en los distritos de Villarino y Patagones.

Como resultado de esta investigación se pretende la obtención de una cartografía mostrando la predicción a un corto plazo de las zonas que se incorporarán a este proceso de degradación en un futuro próximo. Para ello se emplea para esta predicción el módulo Land Change Modeler (LCM) del programa libre de Idrisi Terrset.

Las herramientas mejoradas y los resultados obtenidos permiten a los ingenieros, administradores y planificadores evaluar el uso y manejo de la tierra, analizar los escenarios de la erosión y desarrollar planes de conservación de acuerdo con las necesidades. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los modelos detallados de predicción de posibles escenarios futuros, basados en procesos, constituyen herramientas que pueden ayudar en los procesos de toma de decisiones en el campo de la planificación ambiental y de los recursos naturales.

Una de las razones más poderosas para implementar un enfoque automatizado de la planificación de recursos es la capacidad para cambiar con rapidez y facilidad los interrogantes, escenarios y supuestos. Los tipos de interrogantes están limitados únicamente por quienes elaboran las políticas y por los planificadores. Se puede realizar un análisis complejo en un tiempo breve (especialmente en comparación con el tiempo que se necesitaría para hacer cálculos manuales para un nuevo interrogante y luego confeccionar los mapas a mano), utilizando una combinación de análisis simple como la superposición de mapas y operaciones "booleanas" en SIG.

Finalmente, una ventaja importante de la utilización de una herramienta SIG, sería el ahorro considerable de tiempo, costo y mano de obra para realizar un estudio.

Capítulo: VI

6. RESULTADOS

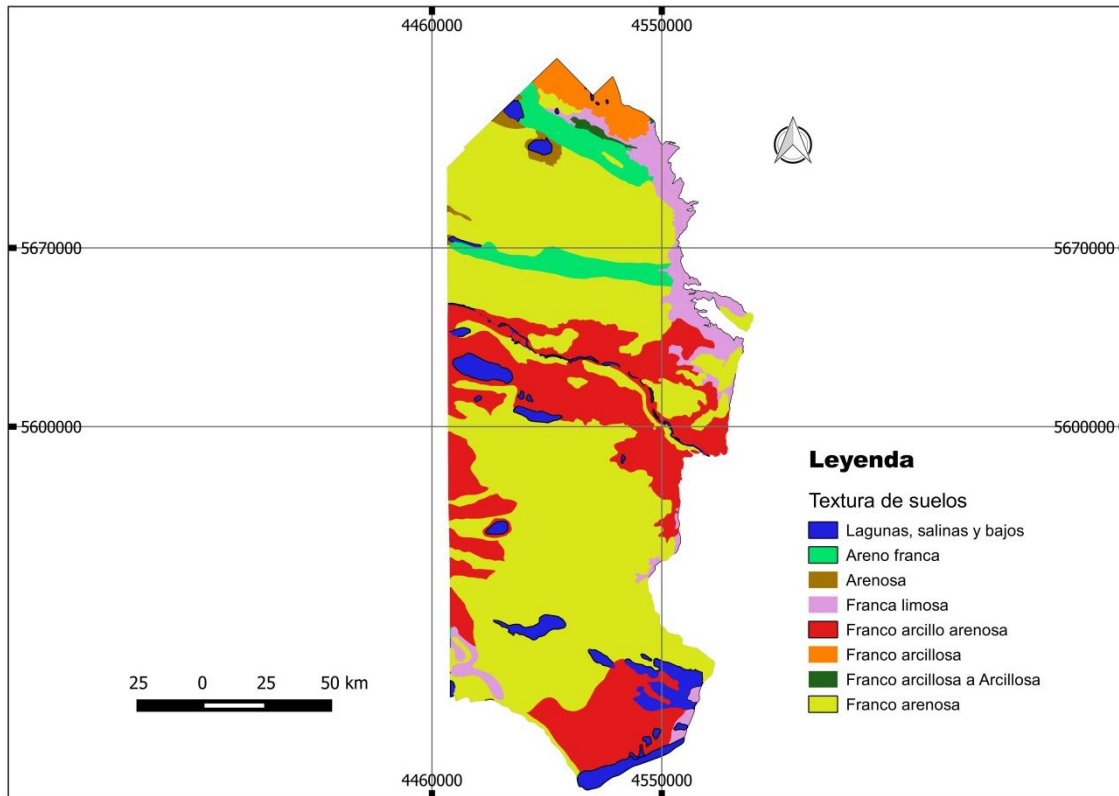
6.1.1 Integración de los SIG con las técnicas de evaluación multicriterio (EMC)

Se ha definido a los SIG como una importante herramienta en las tareas de planificación ambiental y ordenamiento del territorio, un fundamental elemento auxiliar en este análisis es la EMC. Ambos unidos forman una potente herramienta de gran utilidad y validez.

Para la aplicación del AM, en el área de estudio, se partió con la información base existente para dichos distritos y se trabajó con un SIG utilizando el software QGis versión 2.14.0 Essen. Teniendo presente que la principal variable influyente en el objetivo final, son los suelos y que debemos caracterizarlos para determinar su condición para degradarse por erosión eólica, bajo ciertas condiciones climáticas que respondan a periodos prolongados (entre 4 a 5 años o más) de sequía y vientos fuertes a lo largo del año. Se trabaja con los criterios que son parte importante en el desarrollo de esta problemática. Los parámetros considerados en la selección y teniendo en cuenta las capas de información disponibles para ambos distritos, son: textura de suelos; geoambientes; coberturas de suelo.

Para ello, dentro del **primer criterio** se selecciona el criterio de suelo y se trabaja con el mapa de textura de suelos a escala 1:500.000 obtenido del Instituto de Suelo de INTA Castelar (**figura 6.1.1A**). Se le asigna un valor 3 a los suelos más susceptibles a erosionarse, un valor 2 a los menos susceptibles que al anterior y valor 1 a los poco susceptibles a erosionarse (**tabla 6.1.1a**). Los suelos más propensos a degradarse son los suelos de textura franco a franco arenosa y franco arenosa a arena franca; estos son suelos de partículas muy finas y son muy sueltos por lo que se erosionan muy fácilmente. Los de texturas arenosa y arena franca son de partículas de diámetro un poco más gruesa que los anteriores por lo que no son tan sueltos y tiende a ser de erosión moderada. En cambio los suelos de textura arcillosa y franco arcillosa, por su composición y granulometría retienen mayor cantidad de agua por lo que se tornan suelos pesados por lo que el grado de erosión es muy bajo (**figura 6.1.1B**).

FIGURA 6.1.1A: MAPA TEMÁTICO DE TEXTURAS DE SUELOS DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES

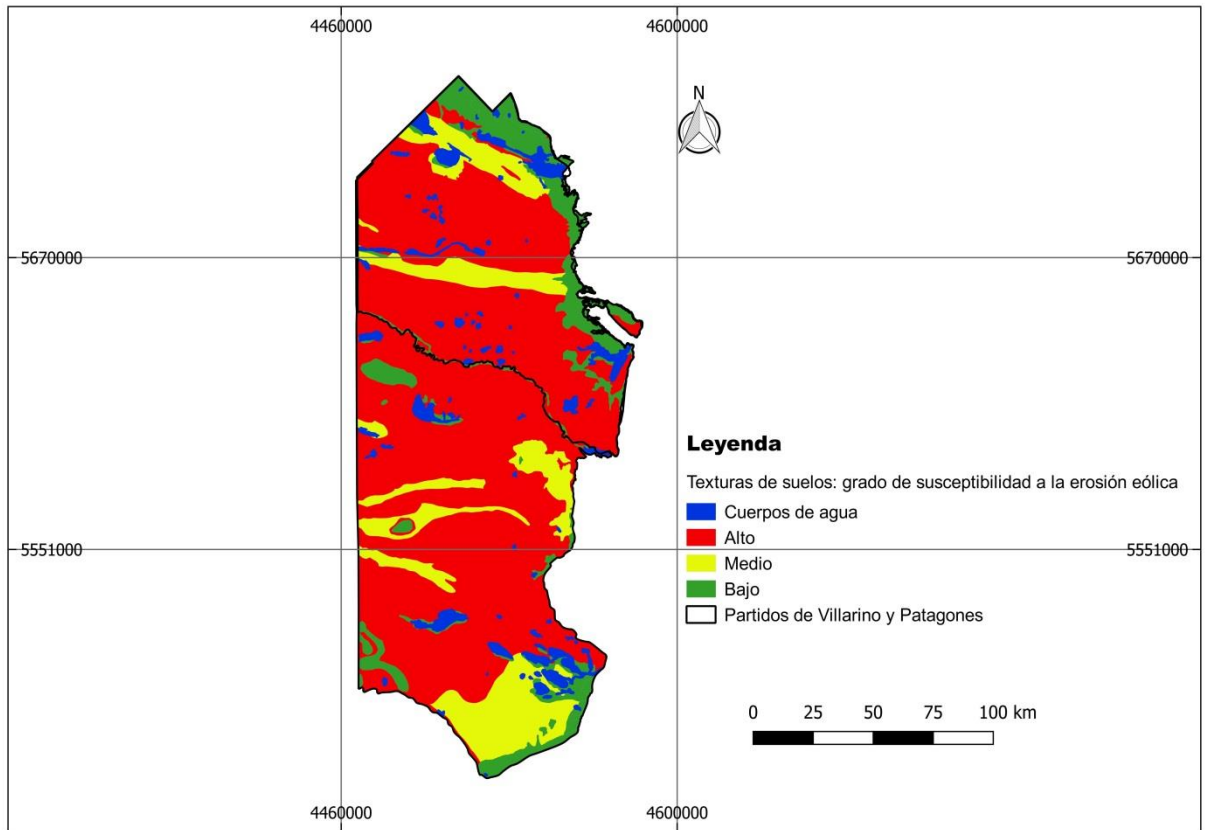


Fuente: Elaboración propia en base a la cartografía de suelo de la Provincia de Buenos Aires a escala 1:500.000, editado SAGYP - INTA, 1989; Proyecto PNUD ARG 85/019.

Tabla 6.1.1a: Textura de suelos de los partidos de Villarino y Patagones y su grado de susceptibilidad a la erosión eólica

Texturas de suelo	Valor	Grado de erosión
Franca a Franca Arenosa	3	Alto
Franca Arenosa a Areno Franca	3	Alto
Arenosa	2	Medio
Areno Franca	2	Medio
Arcillosa	1	Bajo
Franca Arcillosa	1	Bajo
Franca a Franca Arcillosa	1	Bajo

FIGURA 6.1.1B: MAPA DE TEXTURAS DE SUELOS DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES Y GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN EÓLICA



Fuente: Elaboración propia en base a la cartografía de suelo de la Provincia de Buenos Aires a escala 1:500.000, editado SAGYP - INTA, 1989; Proyecto PNUD ARG 85/019.

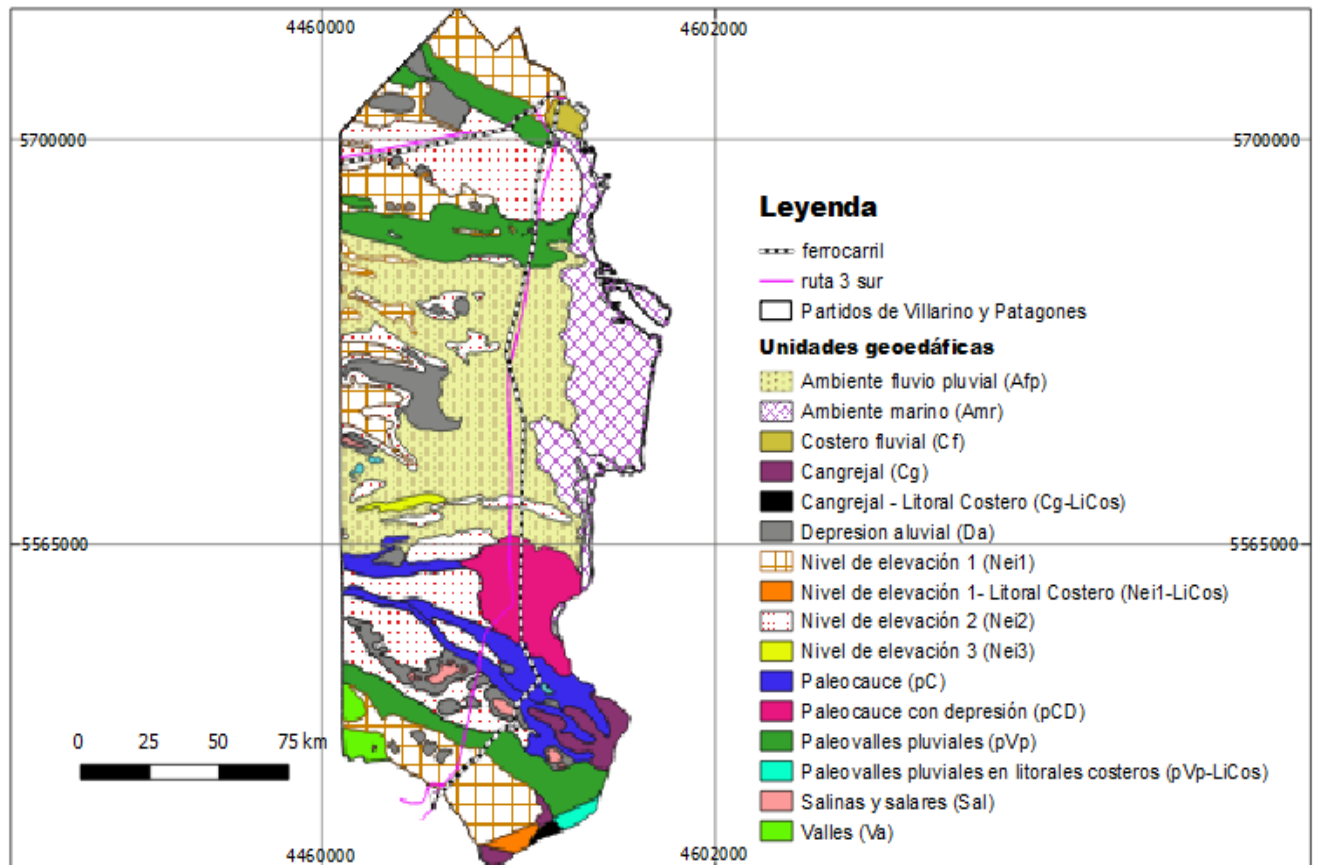
Como **segundo criterio** se trabaja con el mapa base de las unidades geoedáficas a escala 1:500.000 elaborado por Magdalena González Uriarte para el año 1975. Dicha cartografía se encontraba en papel y la misma fue pasada a formato digital por el Instituto de Suelos del INTA Castelar (**figura 6.1.1C**). Esta cartografía agrupa las unidades de suelos y geomorfológicas que responden a un geoambiente con características específicas edáficas y de relieve.

El área, estructuralmente es definida como una zona de subsidencia e identificada como “Cuenca del Colorado”, presenta una espesa pila sedimentaria de varios miles de metros. Esta zona es considerada morfográficamente como una llanura sedimentaria, posee

Capítulo: VI RESULTADOS – INTEGRACIÓN DE LOS SIG CON LAS TÉCNICAS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO – CARTOGRAFÍA DE ÁREAS VULNERABLES

una sucesión de niveles (superficies geomórficas) escalonados hacia riberas litorales o fluviales modernas. Se suceden así dos niveles generales, el primero y el más antiguo, persiste como angostas formas amesetadas, de sentido oeste-este, evidentes en el paisaje por estar delimitadas por escarpas de erosión importantes, de 20 o más metros de desnivel. El segundo nivel es el de superficies geomórficas modernas que pasa a los niveles fluviales o marinos más recientes. Están circunscriptos al valle y delta del Río Colorado y a la franja costera marina. Se destacan de estos niveles, dos amplias áreas con relieve medanoso, que resultan del modelado eólico sobrepuesto en los antiguos ambientes fluviales y muestran el área como seccionada por corredores de sentido oeste-este donde varía notablemente el uso del suelo.

FIGURA 6.1.1C: MAPA TEMÁTICO DE LA CLASIFICACIÓN DE UNIDADES GEOEDÁFICAS EN VILLARINO Y PATAGONES



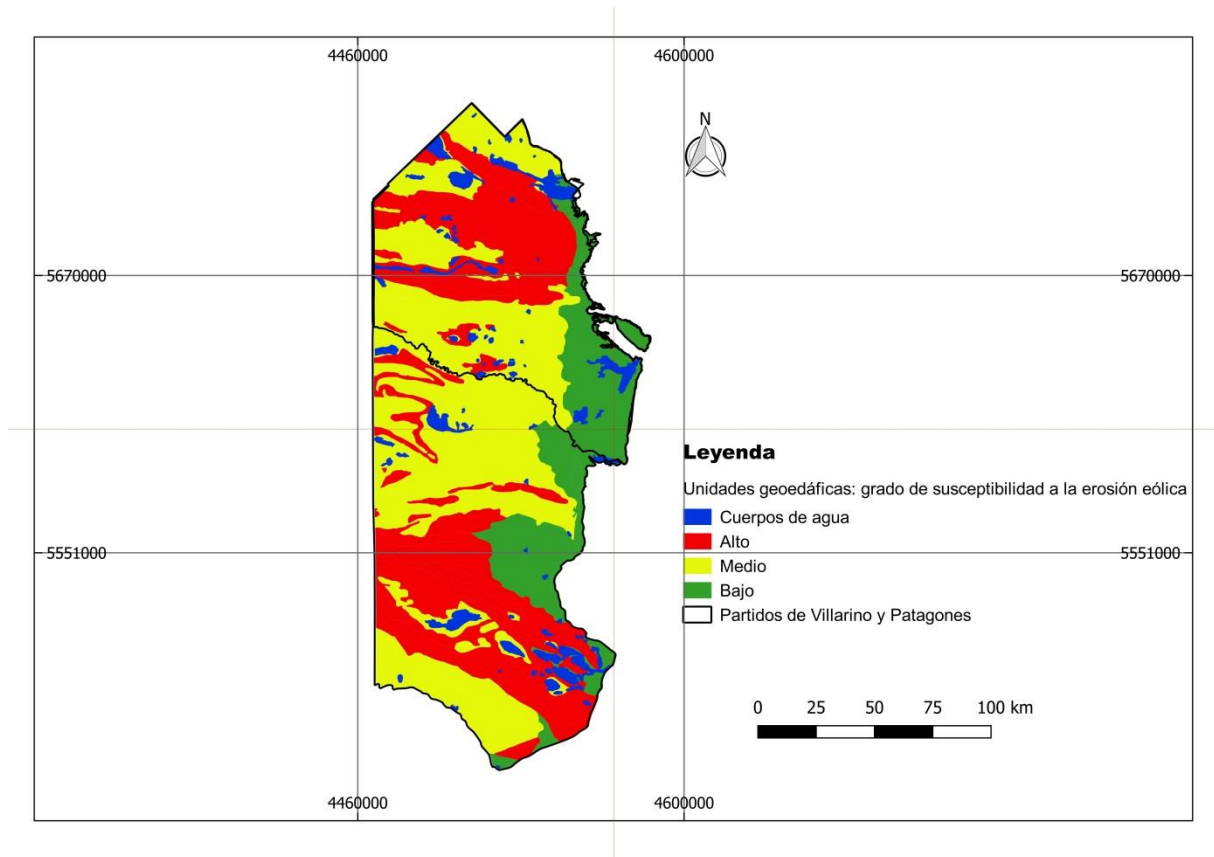
Fuente: elaborado por el Instituto de suelos del INTA Castelar en base a la cartografía elaborada en papel por Magdalena González Uriarte para el año 1975 de las unidades geoedáficas a escala 1:500.000

Para este criterio se consideran y se le da un valor a las distintas unidades geoedáficas agrupándolas según la susceptibilidad a ser erosionadas o degradadas principalmente por la erosión eólica (**tabla 6.1.1b**). Con un valor 3 (ambiente más susceptible) y se engloba a los paleocauces (Pc), a los distintos niveles que presentan algún tipo de elevación intermedios (Nei 1,2 y 3) y a los paleovalles fluvial (Pvp); con valor 2 (ambiente menos susceptible que el anterior) compuesto por los ambientes fluvio-pluvial (Afp), las depresiones aluviales (Da) y los valles (Va); con valor 1 (pocos susceptibles) se presentan los ambientes marinos (Am), costa fluvial (Cf), los cangrejales litorales costeros (CgLiCos), los paleocauces con depresiones (PcD) y las zonas de salinas y cuerpos de agua (**figura 6.1D**).

Tabla 6.1.1b: Unidades Geoedáficas de los partidos de Villarino y Patagones y su grado de susceptibilidad a la erosión eólica

Unidades Geoedáficas	Valor	Grado de erosión
Pc	3	Alto
Nei 1, 2 y 3	3	Alto
Pvp	3	Alto
Afp	2	Medio
Da	2	Medio
Va	2	Medio
Am	1	Bajo
Cf	1	Bajo
CgLiCos	1	Bajo
PcD	1	Bajo
Salinas – cuerpos de agua	1	Bajo

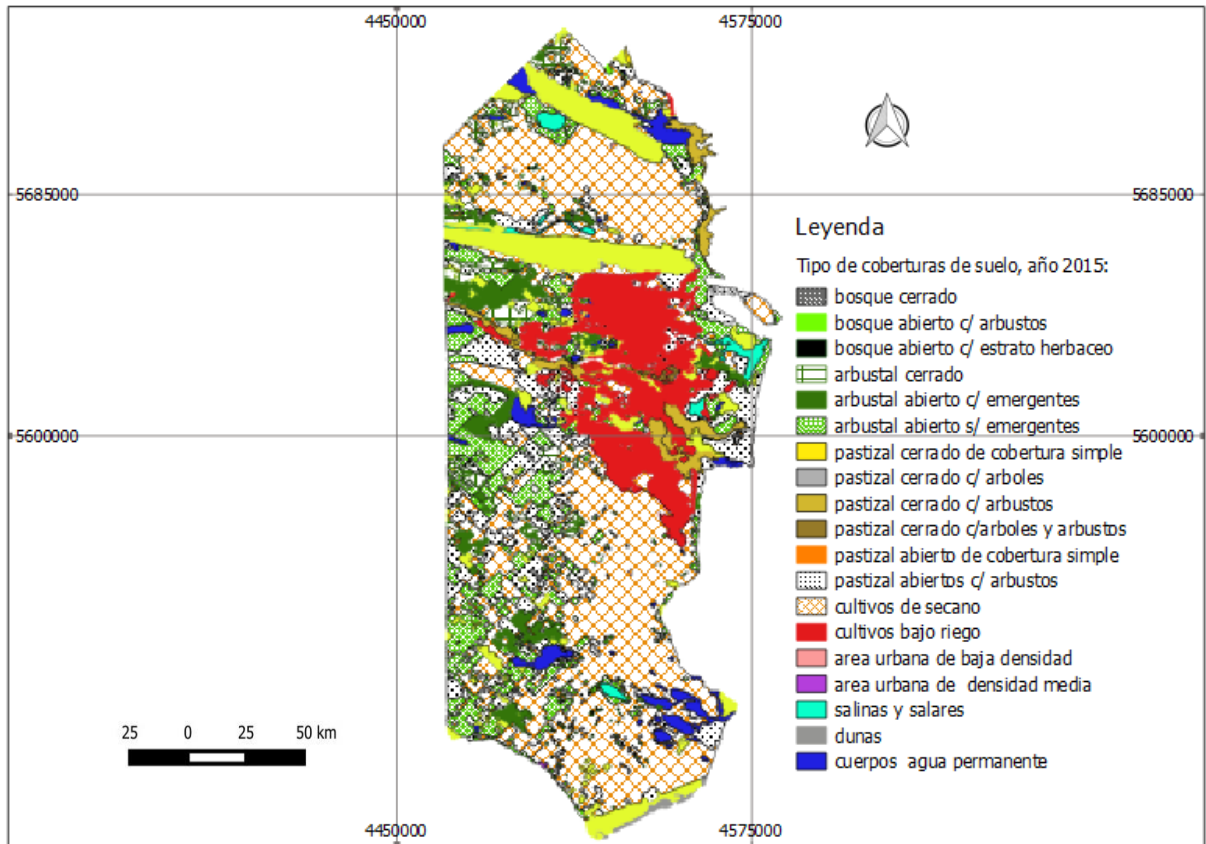
FIGURA 6.1.1D: MAPA TEMÁTICO DE LA CLASIFICACIÓN DE UNIDADES GEOEDÁFICAS EN VILLARINO Y PATAGONES Y SU GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN EÓLICA



Fuente: elaborado por el Instituto de suelos del INTA Castelar en base a la cartografía elaborada en papel por Magdalena González Uriarte para el año 1975 de las unidades geoedáficas a escala 1:500.000

El **tercer criterio** con el que se trabaja es con la cartografía de cobertura de suelo a escala 1:100.000 (**figura 6.1.1E**) elaborado y actualizado a noviembre del año 2015 (**tabla 6.1.1c**). Esta información corresponde a mi autoría. En el análisis se considera con un valor 3 (alta susceptibilidad a erosionarse) al área con agricultura de secano, pastizales abiertos y dunas; con un valor 2 (mediana susceptibilidad) a los suelos que presentan una agricultura bajo riego y a los pastizales con arbustos que al tener algún tipo de vegetación permite fijar y retener el sustrato; con un valor 1 (baja susceptibilidad) se encuentran los pastizales cerrados, con árboles y arbustos, arbustales cerrados y abiertos con y sin emergentes; no se toman en consideración para este estudio a las áreas urbanas, los bosques cerrados y abiertos, ni tampoco a las salinas y a los cuerpos de agua (**figura 6.1.1F**).

FIGURA 6.1.1E: MAPA TEMÁTICO DE USO Y COBERTURA DE SUELOS EN VILLARINO Y PATAGONES

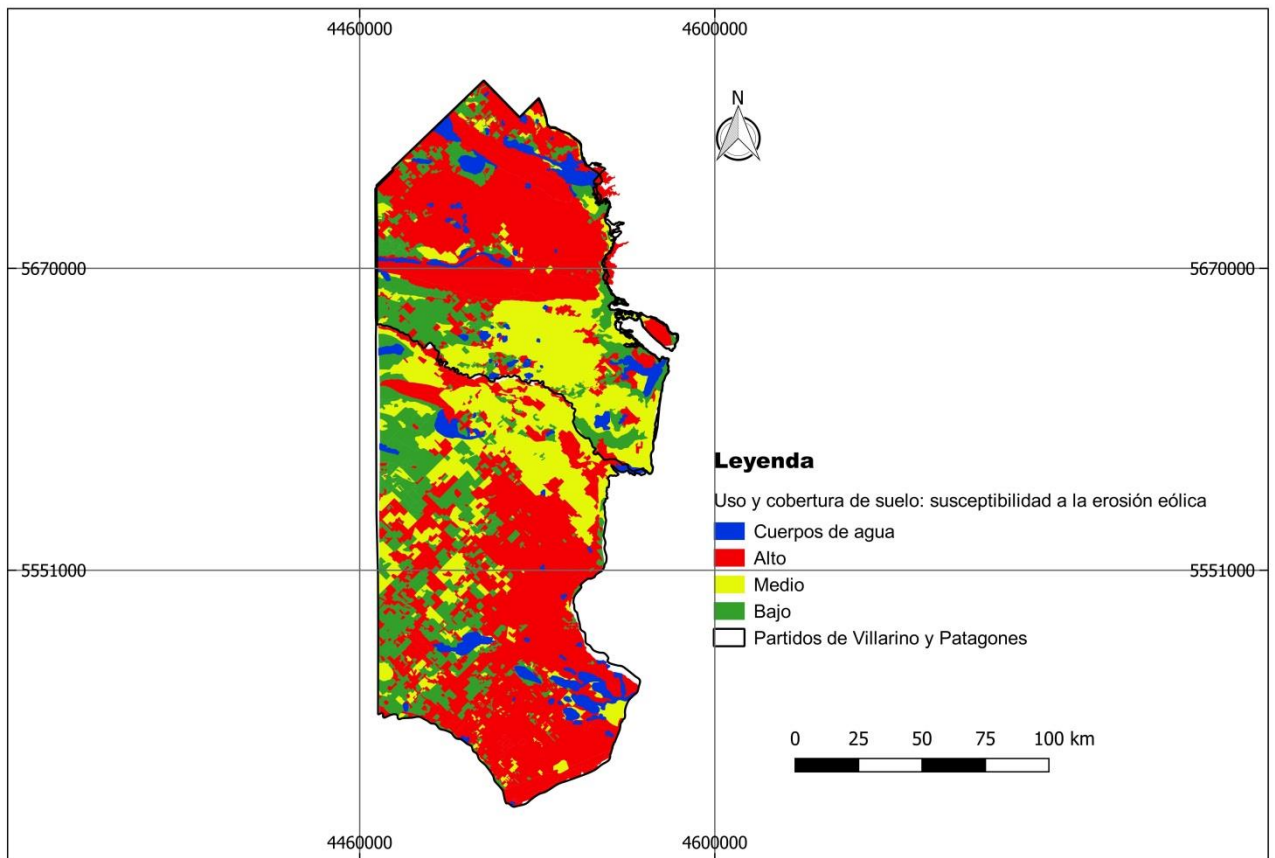


Fuente: elaboración propia a través de imágenes Landsat 8 sensor OLI-TIRS descargadas del sitio web <http://earthexplorer.usgs.gov/>; actualizada hasta el 30 de noviembre de 2015

Tabla 6.1.1c: Usos y coberturas de suelos en los partidos de Villarino y Patagones y su grado de susceptibilidad a la erosión eólica

Usos y coberturas de suelo	Valor	Grado de erosión
Agricultura de secano	3	Alto
Pastizales abiertos	3	Alto
Dunas	3	Alto
Agricultura bajo riego	2	Medio
Pastizales abiertos con arbustos	2	Medio
Pastizales cerrados, con árboles y arbustos	1	Bajo
Arbustales cerrados	1	Bajo
Arbustales abiertos con o sin emergentes	1	Bajo

FIGURA 6.1.1F: MAPA DE USO Y COBERTURA DE SUELOS EN VILLARINO Y PATAGONES Y SU GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN EÓLICA



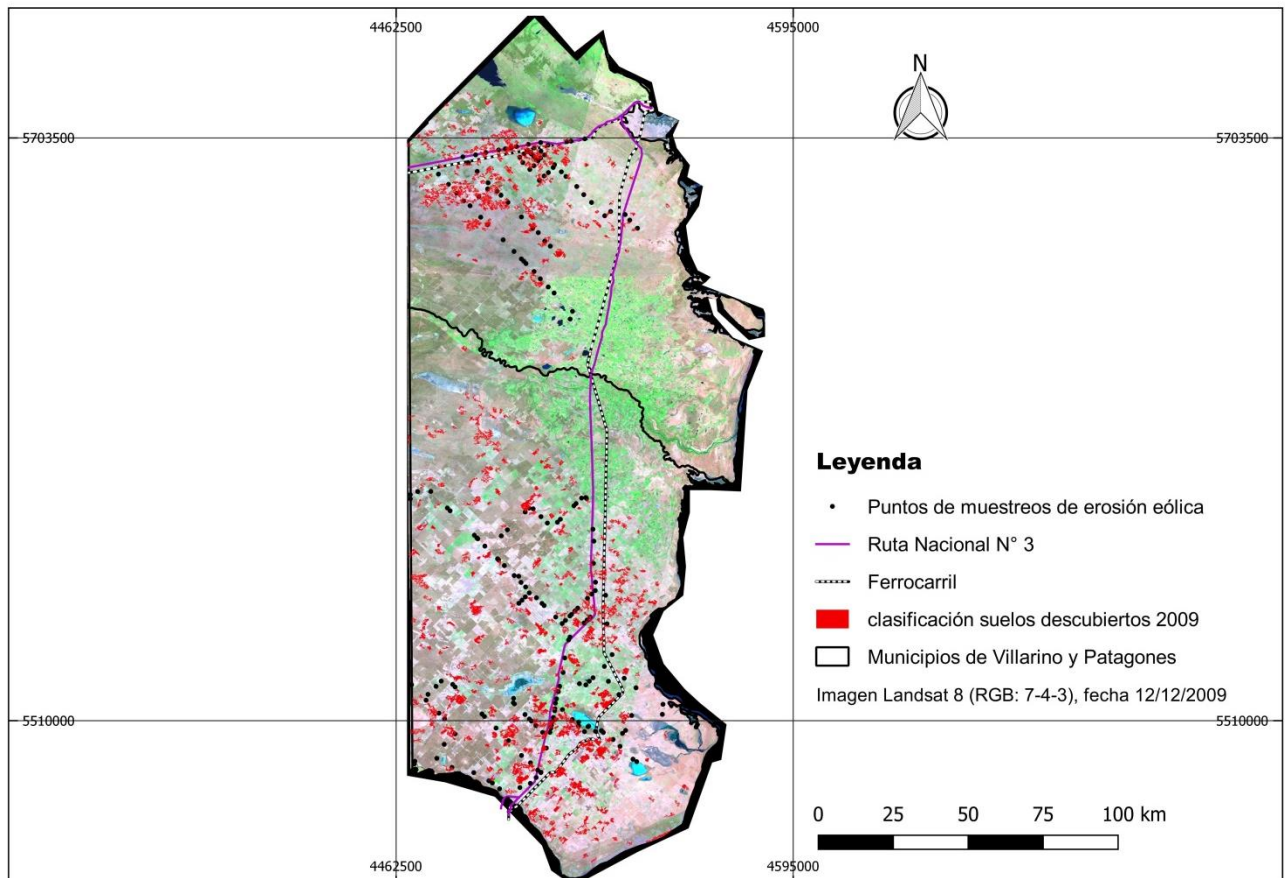
Fuente: elaboración propia a partir del mapa de uso y cobertura de suelo actualizado hasta el 30 de noviembre de 2015

Una vez establecidos los valores para cada uno de los criterios (de 3 a 1, siendo 3 el más propenso y 1 menos propensos a degradarse), se procede a integrar los tres mapas con los criterios de textura de suelos, unidades geodáficas y uso y cobertura de suelo. Esta intersección arrojó como resultado la cartografía con las áreas más susceptibles a degradarse (**figura 6.1.2A**).

Luego se trabajó con imágenes satelitales del satélite Landsat 8 sensor OLI-TIRS de la fecha 12 de diciembre del 2009 (**figura 6.1.1G**); las mismas se procesaron y posteriormente se realizó una clasificación supervisada para determinar los suelos descubiertos para el 2009. Se tomó en cuenta esta fecha para la clasificación porque es el último año del periodo 2005-

2009 donde se produjo una gran sequía en ese lapso, producto de las escasas precipitaciones y fuertes vientos.

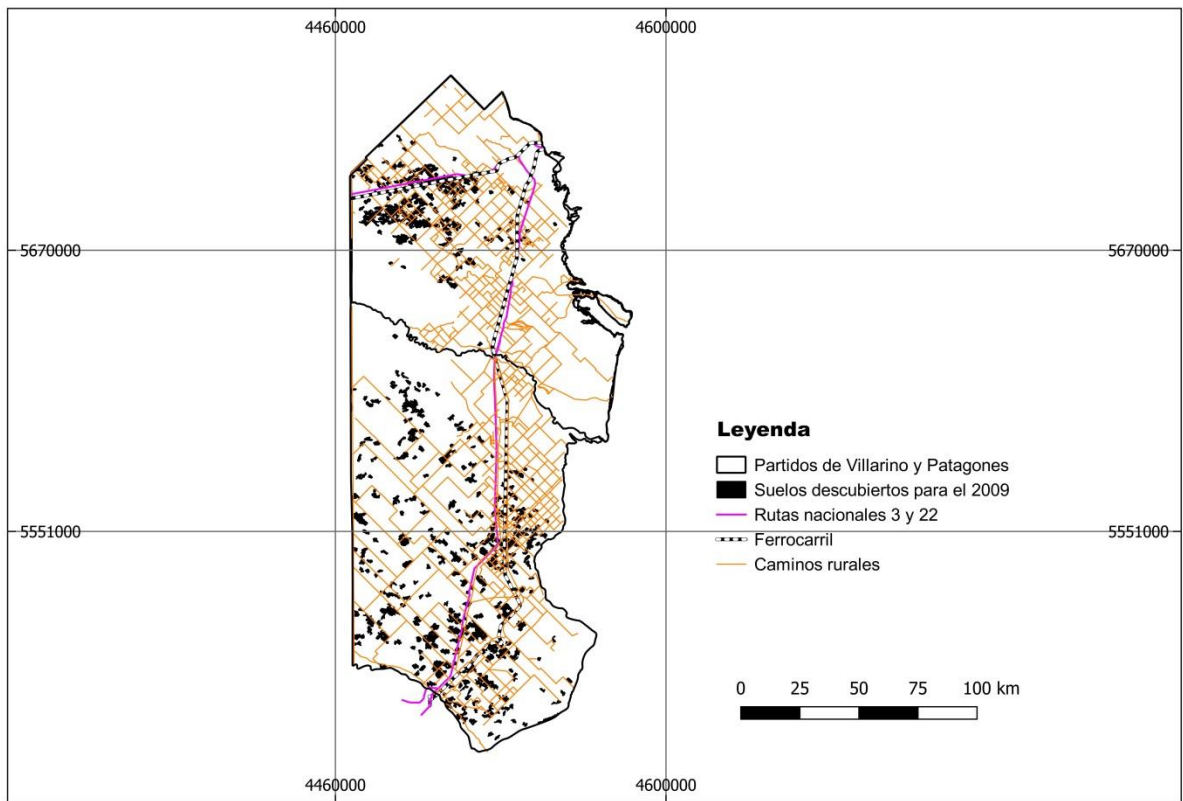
FIGURA 6.1.1G: CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE SUELOS DESCUBIERTOS PARA EL AÑO 2009 DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES SOBRE IMAGEN SATELITAL LANDSAT 8



Fuente: imagen satelital de Landsat 8 sensor OLI-TIRS de la fecha 12 de diciembre del 2009, combinación de bandas en RGB 7-4-3; descargadas de la página web: <http://earthexplorer.usgs.gov/>

Se realizaron relevamiento a campo donde se observaron 74 sitios de muestreo en Villarino y 152 sitios en Patagones. En cada lugar se visualizó el estado en el que estaba dicho suelo, es decir, registrando si estaba erosionado o no. A partir de lo observado, se realizó una clasificación supervisada resaltando las bandas del espectro electromagnético del RGB con las bandas 7-4-3 para poder discriminar mejor el suelo descubierta. La clasificación supervisada se ajustó a lo relevado a campo coincidiendo en un 85% en su precisión. Se obtiene la distribución de los sitios donde los suelos se encontraban sin cobertura de suelo (**figura 6.1.1H**).

FIGURA 6.1.1H: CARTOGRAFÍA DE CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE SUELOS DESCUBIERTOS PARA EL AÑO 2009



Fuente: elaboración propia resultado del análisis de la clasificación supervisada para los suelos desnudos para el año 2009

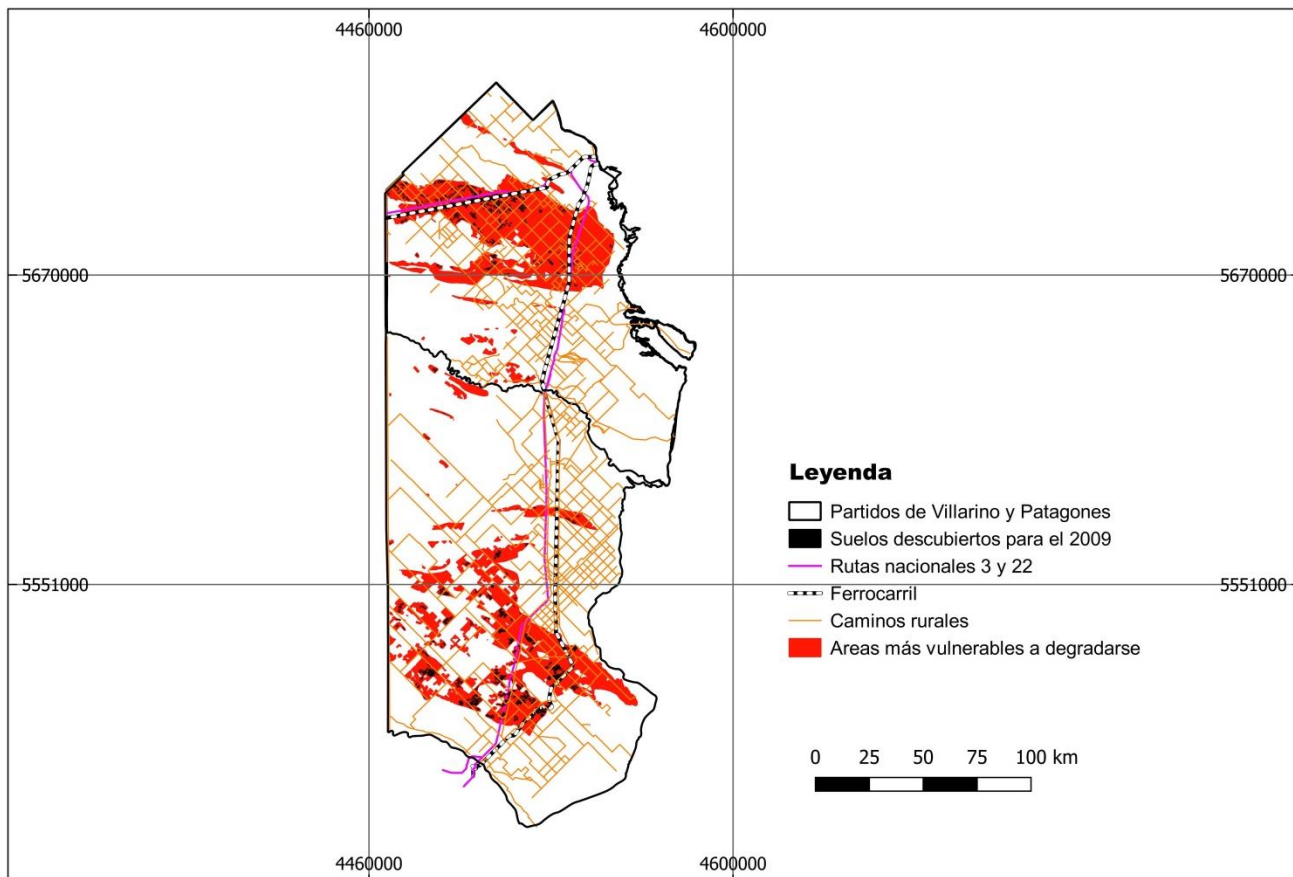
A pesar de que se visualiza una amplia distribución de suelos descubiertos, no todos esos suelos se erosionaron. Esto se debe a las propiedades físicas y químicas específicas del sustrato, es decir, a las características texturales presentadas (textura más gruesa) que frenan o limitan la erosión de dichos suelos.

6.1.2 Cartografía obtenida de las áreas vulnerables a degradarse resultado de la integración de las EMC aplicadas en los SIG

Como resultado del análisis multicriterios se obtuvo el mapa temático de las áreas más vulnerables o propensa a degradarse y/o erosionarse. Las zonas susceptibles se localizan coincidentemente y en su gran mayoría con las áreas donde el hombre practica sus actividades agrícolas. Son áreas que presentan gran fragilidad debido a sus suelos con propiedades marginales y a las condiciones de ambientales que se encuentran reguladas por las precipitaciones y vientos fuertes y secos que originan erosión o voladuras de suelos. En la

figura 6.1.2A aparece la cartografía de áreas vulnerables con la superposición de la capa de información de los suelos descubiertos que efectivamente estaban erosionados.

FIGURA 6.1.2A: MAPA DE ÁREAS DE MAYOR VULNERABILIDAD A DEGRADARSE Y SUELOS EFECTIVAMENTE DEGRADADOS Y/O EROSIONADOS PARA EL AÑO 2009



Fuente: Elaboración propia resultado del análisis multicriterios aplicados para cada una de las capas de información analizadas utilizando el SIG

Se puede constatar que la superficie de las áreas con mayor vulnerabilidad alcanzan un total de 412.768 has de las cuales 216.813 ha corresponden al partido de Villarino y unas 195.955 ha al partido de Patagones. A partir de la clasificación supervisada de los suelos descubiertos obtenidos con la imagen satelital Landsat 8 OLI -TIRS para el 12 diciembre del

2009, se pudo cuantificar la superficie de los suelos desnudos con una superficie total de 133.078 ha, donde 39.189 ha corresponden a Villarino y 93.889 ha a Patagones. Si bien muchos de estos suelos se encontraban descubiertos o con escasa cobertura pero no todos se erosionaron. Si el suelo presenta características de textura más gruesa o más contenido de humedad es más probable que dicho suelo sea menos vulnerable a erosionarse. Los suelos descubiertos que efectivamente se erosionaron se encuentran situados dentro de las áreas vulnerables y arrojaron como resultado un total de 41.377 ha, donde 15.577 ha corresponden a Villarino y 25.800 ha a Patagones.

6.2 Modelos de análisis de cambio de uso y coberturas de suelo y predicción de escenarios futuros

6.2.1 Idrisi TerrSet en el proceso de predicción de cambios aplicando el módulo: “Modelador de Cambios en el Terreno” (LCM)

Para este análisis de cambios de usos y coberturas de suelo se trabajó con el software denominado Idrisi TerrSet Version 18.2 (Eastman, J. 2016). El mismo es considerado como un sistema de información geográfico integrado con sistema de procesamiento de imágenes que analiza y visualiza datos espaciales. Es una herramienta de modelación del espacio de gran potencia que ha ayudado a miles de usuarios alrededor del mundo a desarrollar fácilmente sus propios modelos.

El software propiamente dicho presenta las siguientes características:

- Análisis espacial básico y avanzado
- Numerosas herramientas analíticas para el análisis geográfico.
- Base de datos de consulta y análisis de superposición.
- Técnicas de clasificación supervisadas y no supervisadas.
- Completo sistema de procesamiento de imágenes
- Amplia gama de herramientas de análisis de superficie
- Modelamiento de erosión, riesgo de incendio y demarcación de límites de una cuenca.
- Modelamiento para el análisis de cambio de la tierra y análisis de imágenes de serie de tiempo.
- Integra diversos módulos para el modelado de los diferentes escenarios presentes y futuros, entre ellos se incluyen: Earth Trends Modeler “**ETM**” (modelador de tendencias de la tierra) y Land Change Modeler “**LCM**” (modelador de cambios de la tierra).

La interfaz del LCM está organizada en torno a un grupo de seis tareas principales:

- Análisis de cambio (Change Analysis): analiza los cambios ocurridos en la corteza terrestre y permite visualizarlos a través de distintos tipos de gráficos.
- Potenciales de transición: modela el potencial para transiciones del terreno.
- Predicción de cambios: predice el curso de los cambios en el futuro.
- Consecuencias: evalúa las consecuencias para la biodiversidad.
- Planeamiento: evalúa las intervenciones de planeamiento para mantener el sustento ecológico.
- Proyecto REED (proyecto para la reducción de emisiones de la deforestación y degradación de los bosques): evalúa la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Harmonizar: esta solapa se abrirá dentro del módulo, sólo si los mapas o imágenes no cumplen con alguna de las condiciones que se requieren para el análisis correspondiente. Entre las condiciones que se deben cumplir figuran las siguientes: los textos, categorías, dimensiones espaciales (coordenadas y resolución espacial) en ambos mapas deben ser iguales, los fondos deben ser los mismos y tener un valor cero; si alguna de estas condiciones no se cumple se abrirá automáticamente la solapa que permitirá formatear los mapas de la superficie terrestre y armonizarlos para su posterior análisis.

6.2.2 Análisis de cambios de usos y coberturas de suelo entre 1975-2015

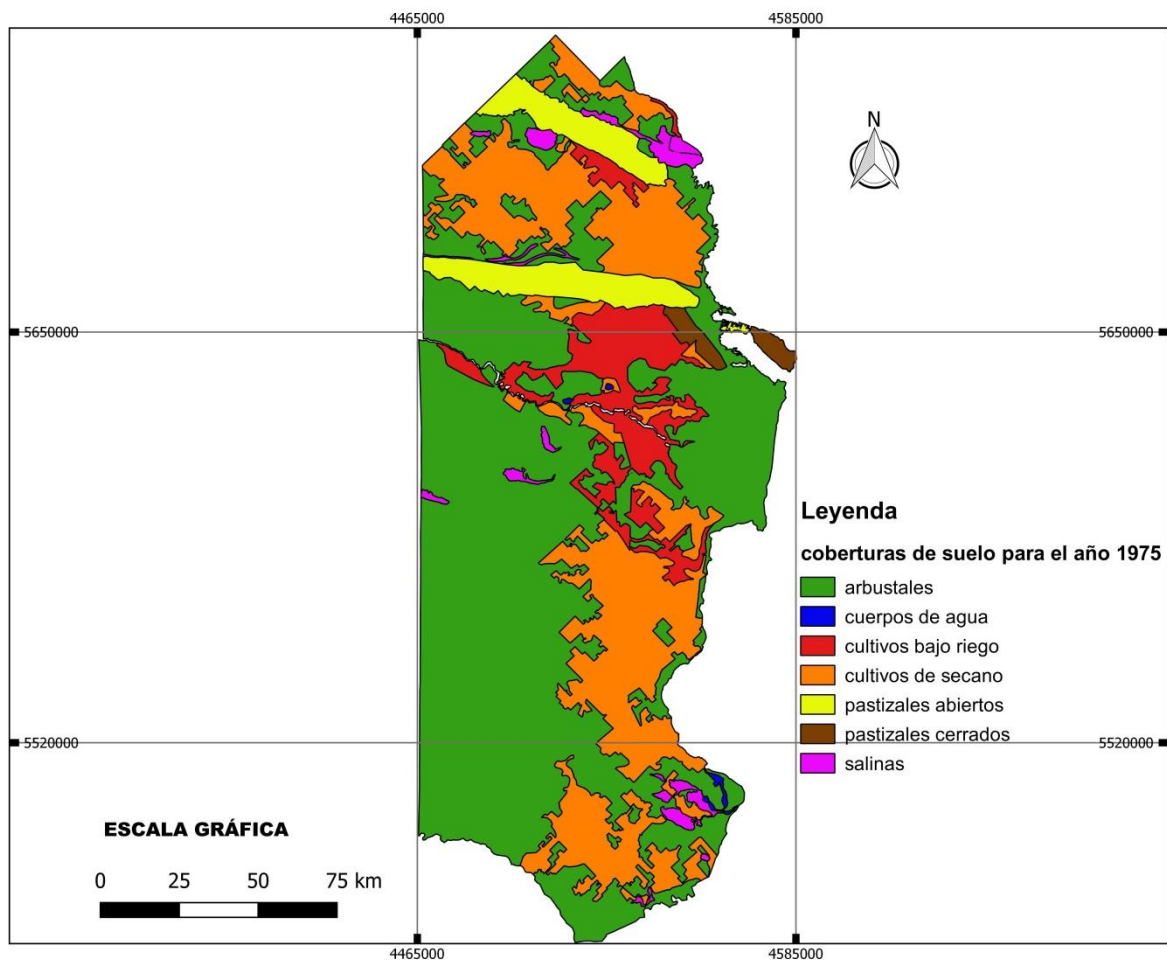
Para poder desarrollar dicho análisis se trabaja con el módulo del LCM; este requiere como insumo una imagen previa de referencia y otra de la fecha que se quiera analizar para evaluar sobre cómo ha sido la evolución o la transición de cambios en el periodo que se desea considerar.

Para el área en estudio, se tomó como referencia la imagen para el año 1975 de coberturas de suelo (**figura 6.2.2A**), las cuales están representadas en siete categorías (arbustales, cuerpos de agua, cultivos bajo riego, cultivos de secano, pastizales abiertos, pastizales cerrados y salinas) y la de coberturas de suelo para el año 2015 con igual cantidad de categorías (**figura 6.2.2B**). Es importante aclarar que es indispensable que las categorías

Capítulo: VI RESULTADOS – MODELOS DE ANÁLISIS DE CAMBIO DE USO Y COBERTURAS DE SUELO Y PREDICCIÓN A FUTURO – IDRISI TerrSet

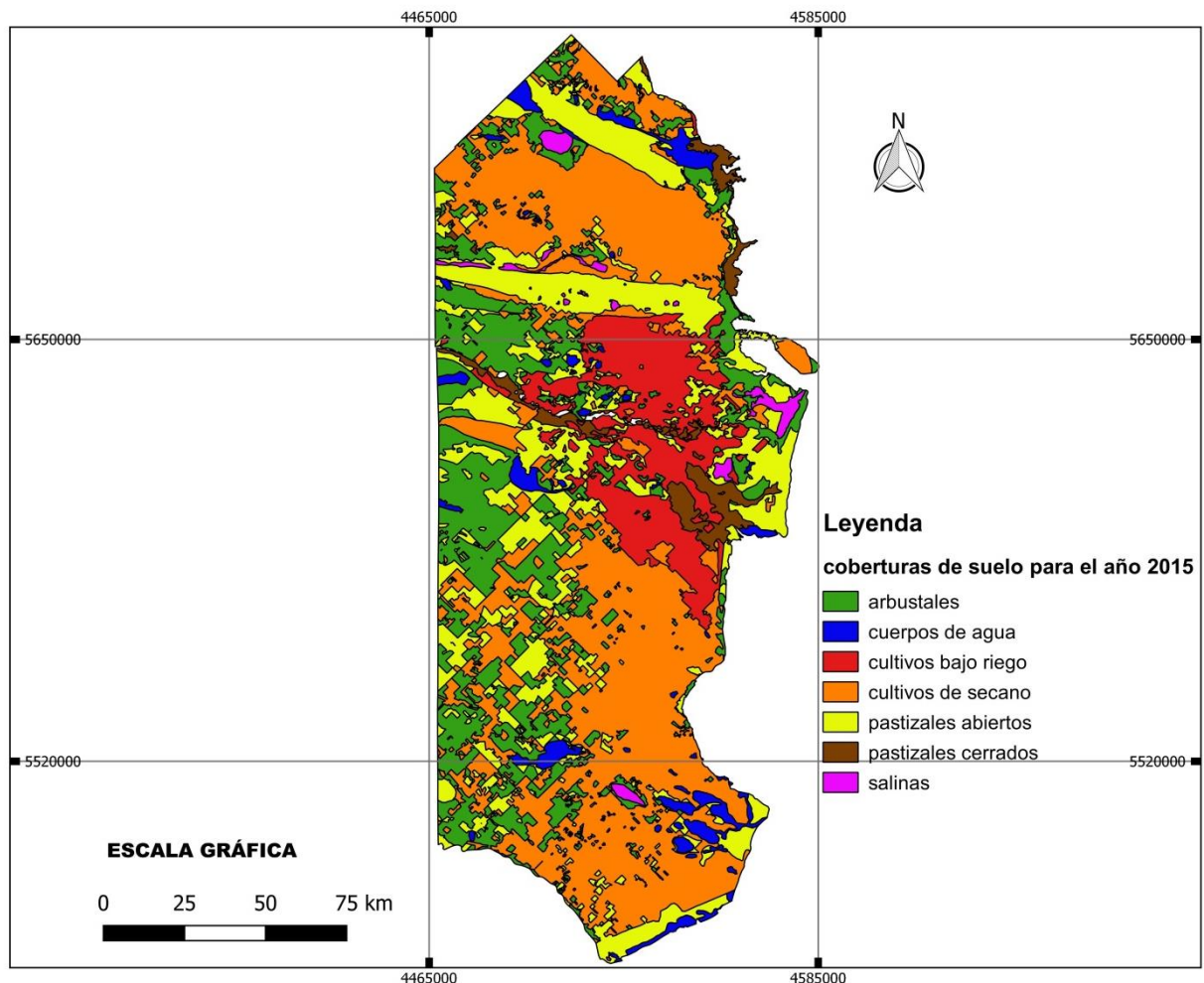
de una imagen y de la otra imagen estén homogeneizadas de forma similar para así poder realizar el análisis del cambio que se produjo durante ese período de tiempo. Las categorías que se analizan para ambas fechas, son: cultivos de secano, cultivos bajo riego, arbustales, pastizales cerrados, pastizales abiertos, cuerpos de agua y salinas.

FIGURA 6.2.2A: MAPA DE COBERTURA DE SUELOS PARA EL AÑO 1975 AGRUPADAS PARA EL ANÁLISIS DE CAMBIOS DE USOS Y COBERTURAS DE SUELO, PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES



Fuente: elaboración propia a través de imágenes históricas descargadas del sitio web <http://earthexplorer.usgs.gov/>

FIGURA 6.2.2B: MAPA DE COBERTURA DE SUELOS PARA EL AÑO 2015 AGRUPADAS PARA EL ANÁLISIS DE CAMBIOS DE USOS Y COBERTURAS DE SUELO, PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES



Fuente: elaboración propia a través de imágenes históricas descargadas del sitio web <http://earthexplorer.usgs.gov/>

Estas categorías surgieron como producto de la aplicación de los SIG que permitieron la digitalización de los vectores (sobre una imagen procesada), correspondientes a cada unidad homogénea de dichas coberturas. Una vez logrado el mapa temático, para cada una de las fechas citadas, se lo convierte a formato ráster o a imágenes rasterizadas (proceso por el cual una imagen descrita en un formato gráfico vectorial se convierte en un conjunto de píxeles para ser desplegados en un medio de salida digital, como por ejemplo: una imagen de mapa de bits) para poder aplicar el modelo de cambio.

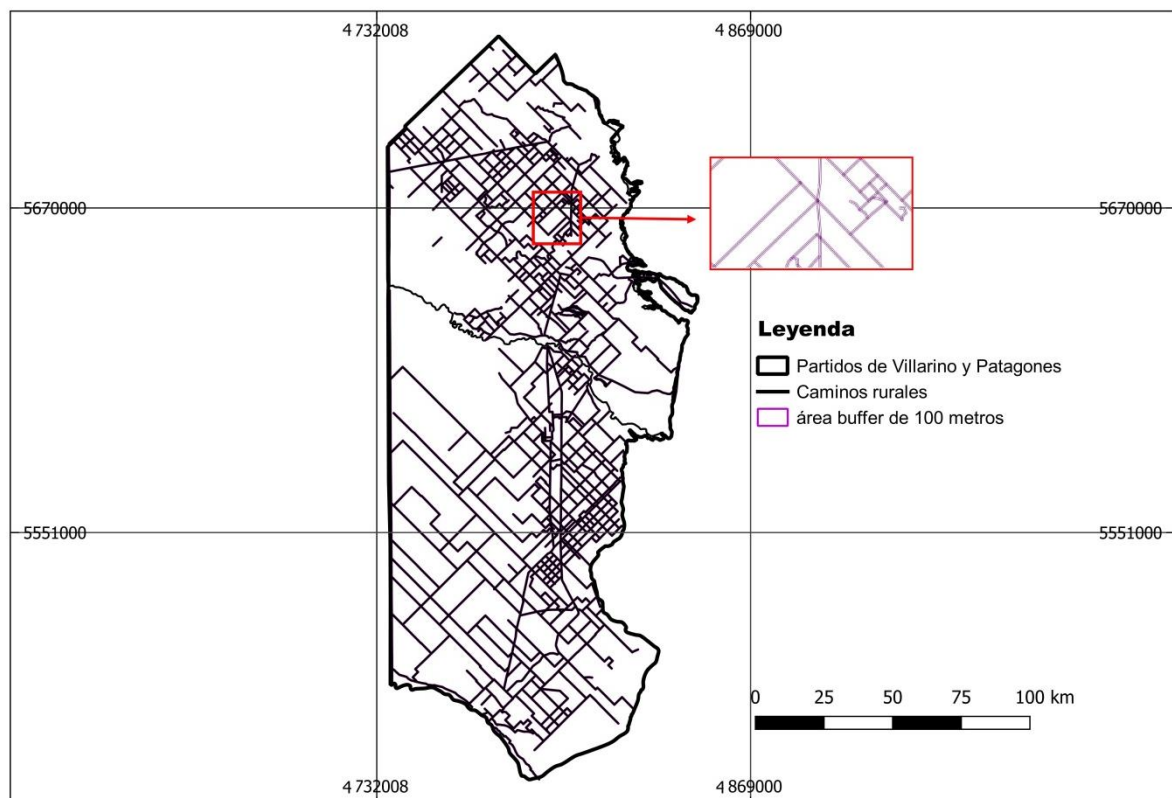
Otro de los insumos que también necesita este modelo corresponde a una imagen rasterizada de vías o caminos de comunicación (**figura 6.2.2C**). Para obtener este producto se trabajó con la capa vectorial de los caminos vecinales de ambos distritos. A estos vectores

Capítulo: VI RESULTADOS – MODELOS DE ANÁLISIS DE CAMBIO DE USO Y COBERTURAS DE SUELO Y PREDICCIÓN A FUTURO – IDRISI TerrSet

lineales se le generó un “buffer” o área de 100 m de ancho sobre los caminos existentes para poder convertirlos a polígonos y así luego poder transformarlos a formato ráster (imagen). Además del insumo anterior, se requiere de una imagen de pendientes o modelo digital del terreno (pero esta información puede o no estar presente en el análisis, no es excluyente).

Para el caso del área de estudio no es de gran importancia agregar el MDE debido con no hay grandes variaciones de pendientes por pertenecer a un área relativamente plana con unas suaves ondulaciones que se encuentran situadas principalmente al centro y norte del partido de Villarino y oeste del partido de Patagones. Sería importante incorporar el modelo de elevaciones en zonas donde hay gran contraste de relieves como en las regiones montañosas o regiones que presenten algún tipo de relieve escarpado.

FIGURA 6.2.2C: IMAGEN DE BUFFER DE 100 METROS PARA LOS CAMINOS VECINALES DE LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES



Fuente: elaboración propia a través de imágenes históricas descargadas del sitio web

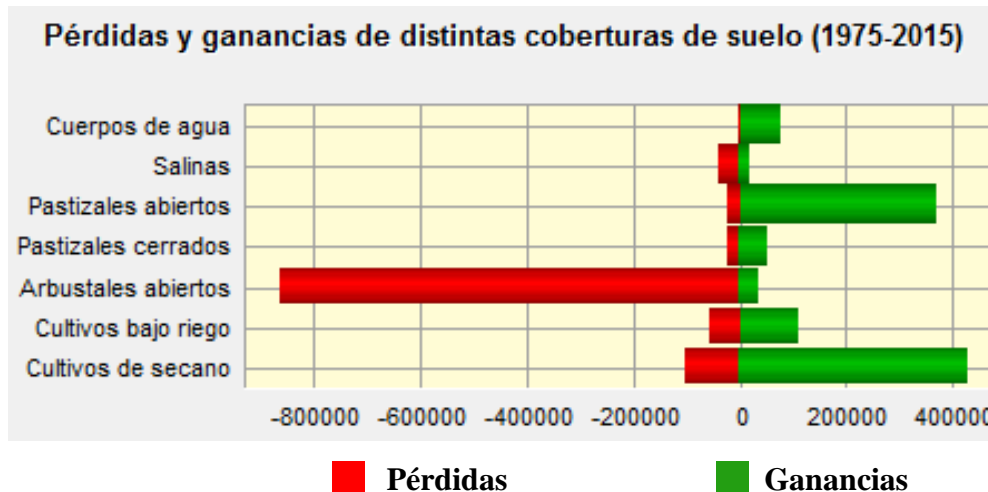
<http://earthexplorer.usgs.gov/> y de cartografía otorgada por el departamento de vialidad de los Partidos de Villarino y Patagones

Una vez cargada toda la información solicitada por el modelo se comienza con el análisis de los distintos paneles o submodelos ofrecidos por el módulo del LCM.

El **panel de análisis de cambios** brinda una rápida evaluación cuantitativa y cualitativa de los cambios que se representan a través de diferentes gráficos, entre ellos: **gráfico de pérdidas y ganancias por categoría de la superficie terrestre; gráfico de cambio neto**, el cual muestra el resultado entre las ganancias y pérdidas y; el **gráfico de contribuciones a los cambios experimentado por una sola categoría**; todos con sus correspondientes tablas.

El siguiente gráfico (**gráfico 6.2.2A**) muestra las **pérdidas y ganancias por categoría** (gains and losses by category) que han sufrido las diversas coberturas de suelo en el área de análisis durante el período 1975-2015.

GRÁFICO 6.2.2A: PÉRDIDAS Y GANANCIAS DE LAS DISTINTAS COBERTURAS (1975-2015)



En el gráfico anterior se aprecia, en color rojo, las principales pérdidas pertenecen a los arbustales abiertos. Esta pérdida se asocia a la ganancia que se visualiza en color verde por parte de los cultivos de secano, pastizales abiertos y cultivos bajo riego. La **tabla 6.2.2a** resume en valores numéricos los cambios que han sufrido las distintas coberturas, se visualizan las pérdidas en valores negativos y las ganancias en valores positivos

Tabla 6.2.2a: Pérdidas y ganancias de las distintas coberturas de suelo entre 1975 y 2015

Coberturas de suelos	Pérdidas (has)	Ganancias (has)
Cultivos de secano	-102891	431215
Cultivos bajo riego	-54654	112739
Arbustales abiertos	-862545	37591
Pastizales cerrados	-22129	55165
Pastizales abiertos	-21404	370960
Salinas	-39578	21821
Cuerpos de agua	-2729	76439

Los siguientes gráficos (**gráficos: 6.2.2B, 6.2.2C y 6.2.2D**) y tablas (**tablas: 6.2.2b, 6.2.2c y 6.2.2d**) muestran que el mayor **contribuyente al cambio neto** hacia las categorías de: cultivos de secano, cultivos bajo riego y pastizales abiertos, está dado por el arbustal abierto (**tabla: 6.2.2e**). Este cambio se produce porque hay una elevada intervención humana que provoca un importante avance de la frontera agrícola sobre el estrato arbustivo nativo.

GRÁFICO 6.2.2B: CONTRIBUYENTES AL CAMBIO NETO DE LOS CULTIVOS DE SECANO (1975-2015)

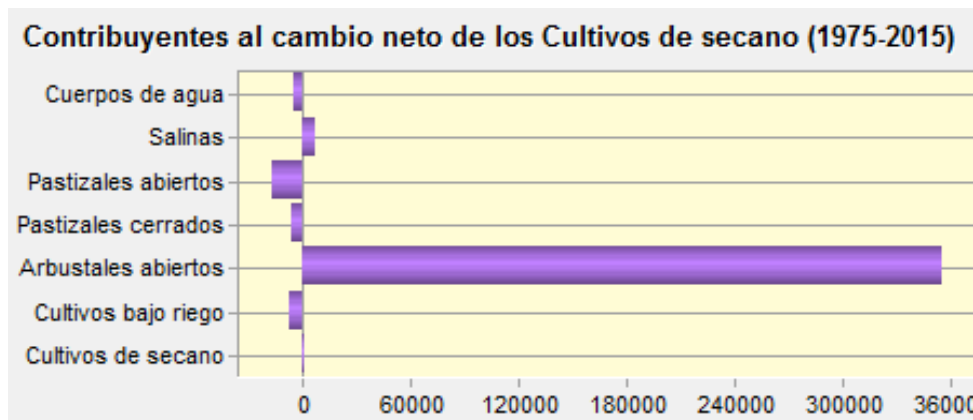


Tabla 6.2.2b: Contribuyentes al cambio neto de los Cultivos de secano (1975-2015)

Contribuyentes al cambio neto de los Cultivos de secano (en has)	
Cultivos bajo riego	-6737
Arbustales abiertos	355085
Pastizales cerrados	-6566
Pastizales abiertos	-16274
Salinas	7383
Cuerpos de agua	-4566

GRÁFICO 6.2.2C: CONTRIBUYENTES AL CAMBIO NETO DE LOS CULTIVOS DE BAJO RIEGO (1975-2015)

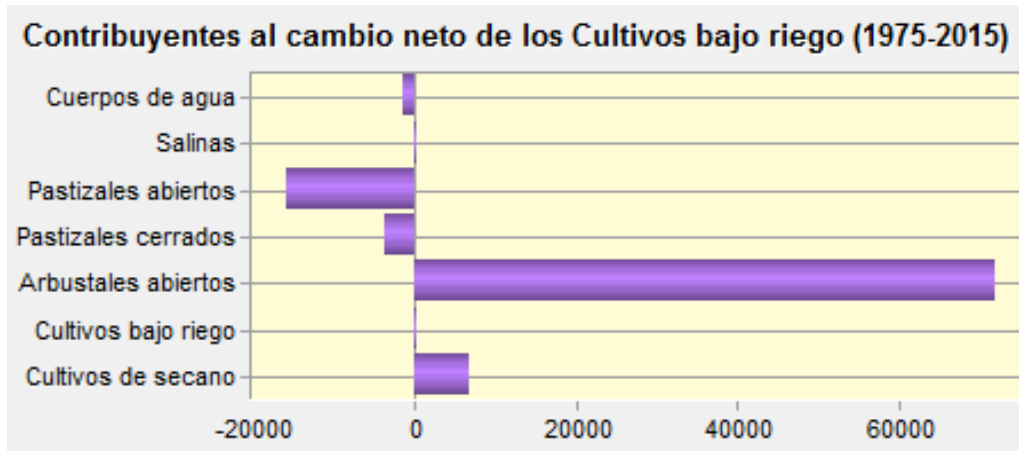


Tabla 6.2.2c: Contribuyentes al cambio neto de los Cultivos bajo riego (1975-2015)

Contribuyentes al cambio neto de los Cultivos bajo riego (en has)	
Cultivos de secano	6737
Arbustales abiertos	71788
Pastizales cerrados	-3639
Pastizales abiertos	-15674
Salinas	113
Cuerpos de agua	-1240

GRÁFICO 6.2.2D: CONTRIBUYENTES AL CAMBIO NETO DE LOS PASTIZALES ABIERTOS (1975-2015)

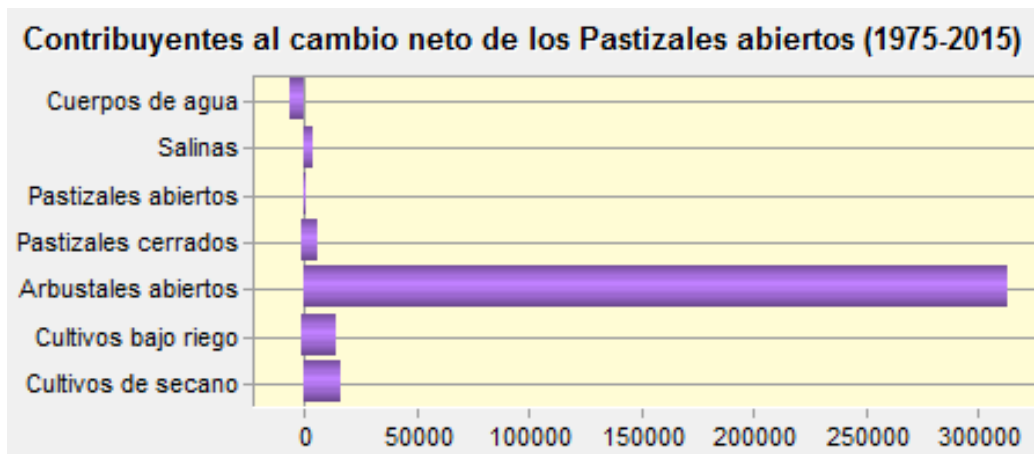


Tabla 6.2.2d: Contribuyentes al cambio neto de los Pastizales abiertos (1975-2015)

Contribuyentes al cambio neto de los Pastizales abiertos (en has)	
Cultivos de secano	16274
Cultivos bajo riego	15674
Arbustales abiertos	312832
Pastizales cerrados	6692
Salinas	4086
Cuerpos de agua	-6002

Por el contrario, en el siguiente gráfico (**gráfico 6.2.2E**) se observa que ninguna de las categorías es **contribuyente al cambio neto de los arbustales abiertos**, es decir, esta cobertura es la que más pierde en favor de todas las demás categorías.

GRÁFICO 6.2.2E: CONTRIBUYENTES AL CAMBIO NETO DE LOS ARBUSTALES ABIERTOS (1975-2015)

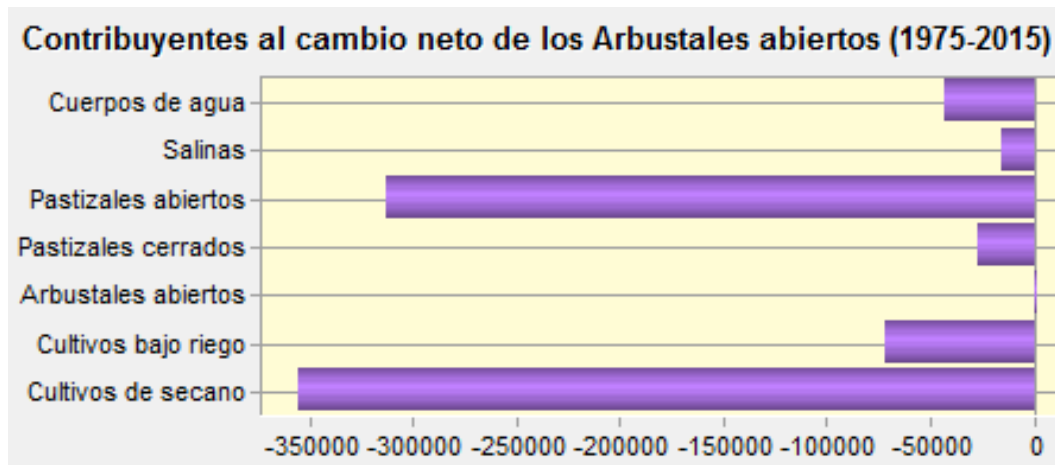


Tabla 6.2.2e: Contribuyentes al cambio neto de los Arbustales abiertos (1975-2015)

Contribuyentes al cambio neto de los Arbustales abiertos (en has)	
Cultivos de secano	-355085
Cultivos bajo riego	-71788
Pastizales cerrados	-26606
Pastizales abiertos	-312832
Salinas	-15368
Cuerpos de agua	-43276

6.2.3 Transiciones potenciales de cambios de usos y coberturas de suelo

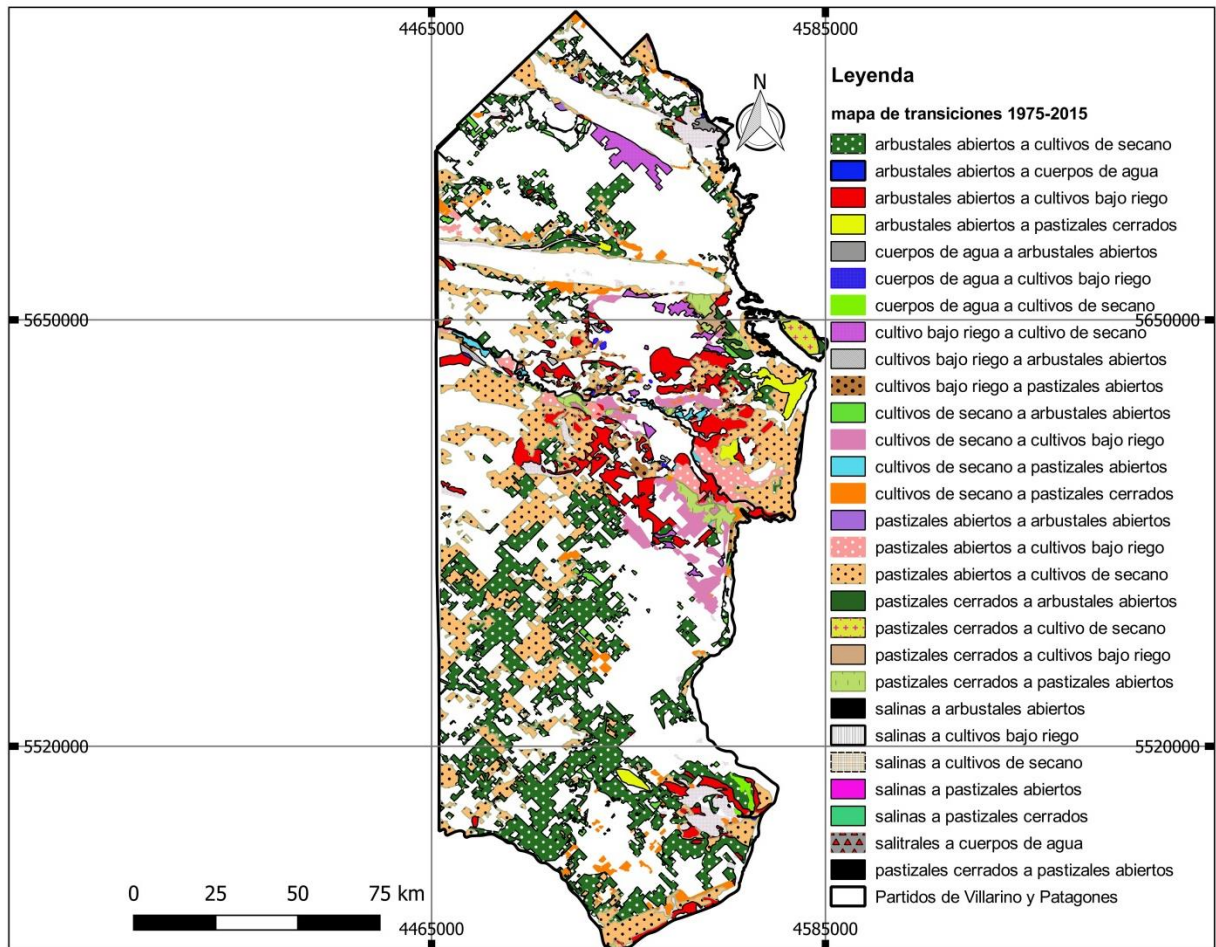
Esta opción agrupa las transiciones entre dos mapas de la superficie terrestre en un grupo de **submodelos**, donde a su vez cada submodelo es identificado con un grupo de variables determinantes o explicativas.

Las variables pueden ser estáticas o dinámicas. Son estáticas cuando expresan aspectos básicos para adecuarse a la transición considerada y no cambian con el tiempo; y son dinámicas cuando son determinantes y dependen del tiempo tales como la proximidad a centros urbanos o infraestructuras viales, etc, y son recalculadas en el tiempo durante el curso de una predicción .

Para obtener el mapa de transiciones potenciales de cambios de usos y coberturas de suelos se utiliza, como base y punto de partida inicial para el análisis de dichos cambios, el mapa de usos y coberturas de suelos del año 1975 y el del año 2015 como mapa final. Ambos mapas se relacionan a través del modelo de transiciones potenciales lo cual permite evaluar la sucesión o pase de una categoría a la otra representándose los cambios de dicho periodo en una cartografía temática. El modelo vincula y relaciona a cada una de las categorías con el resto de las coberturas.

Como se observa en la **figura 6.2.3** de ello surge un mapa de transición potencial para cada una de las transiciones entre los distintos usos y coberturas de suelo, el mismo es una expresión potencial de tiempo específico para el cambio.

FIGURA 6.2.3: MAPA DE TRANSICIONES POTENCIALES PARA EL PERIODO 1975-2015, PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES



Fuente: elaboración propia aplicando el módulo de potenciales transiciones del software Idrisi Terrset

En la cartografía antes citada se muestran a las **transiciones potenciales**, donde aparecen con cambios más significativos, las transiciones de: los arbustales abiertos a cultivos de secano; pastizales abiertos a cultivos de secano y arbustales abiertos a cultivos bajo riego, con superficies más importantes (**tabla 6.2.3**). Si bien existen otros cambios, pero en esos casos las superficies fueron menos relevantes.

La siguiente tabla (**tabla 6.2.3**) refleja el resultado de la superficie expresada en hectáreas que ocupa cada una de estas transiciones ocurridas entre el año 1975 y el año 2015 en el área de estudio.

Capítulo: VI RESULTADOS – MODELOS DE ANÁLISIS DE CAMBIO DE USO Y COBERTURAS DE SUELO Y PREDICCIÓN A FUTURO – IDRISI TerrSet

Tabla 6.2.3: Transiciones (cambios) de usos y coberturas de suelo en hectáreas producidas en el periodo 1975-2015 en los Partidos de Villarino y Patagones

Categoría	Superficie (ha)	Transición (cambio) de usos y coberturas de suelo
1	25779	Cultivos bajo riego a Cultivos de secano
2	378978	Arbustales abiertos a Cultivos de secano
3	7313	Pastizales cerrados a Cultivos de secano
4	9549	Pastizales abiertos a Cultivos de secano
5	7596	Salitrales a Cultivos de secano
6	2000	Cuerpos de agua a Cultivos de secano
7	32516	Cultivos de secano a Cultivos bajo riego
8	76750	Arbustales abiertos a Cultivos bajo riego
9	3352	Pastizales cerrados a Cultivos bajo riego
10	113	Salitrales a Cultivos bajo riego
11	23893	Cultivos de secano a Arbustales abiertos
12	4962	Cultivos bajo riego a Arbustales abiertos
13	4732	Pastizales cerrados a Arbustales abiertos
14	1420	Pastizales abiertos a Arbustales abiertos
15	2424	Salitrales a Arbustales abiertos
16	160	Cuerpos de agua a Arbustales abiertos
17	13878	Cultivos de secano a Pastizales cerrados
18	6991	Cultivos bajo riego a Pastizales cerrados
19	31337	Arbustales abiertos a Pastizales cerrados
20	41	Pastizales abiertos a Pastizales cerrados
21	2917	Salitrales a Pastizales cerrados
22	25824	Cultivos de secano a Pastizales abiertos
23	15681	Cultivos bajo riego a Pastizales abiertos
24	314252	Arbustales abiertos a Pastizales abiertos

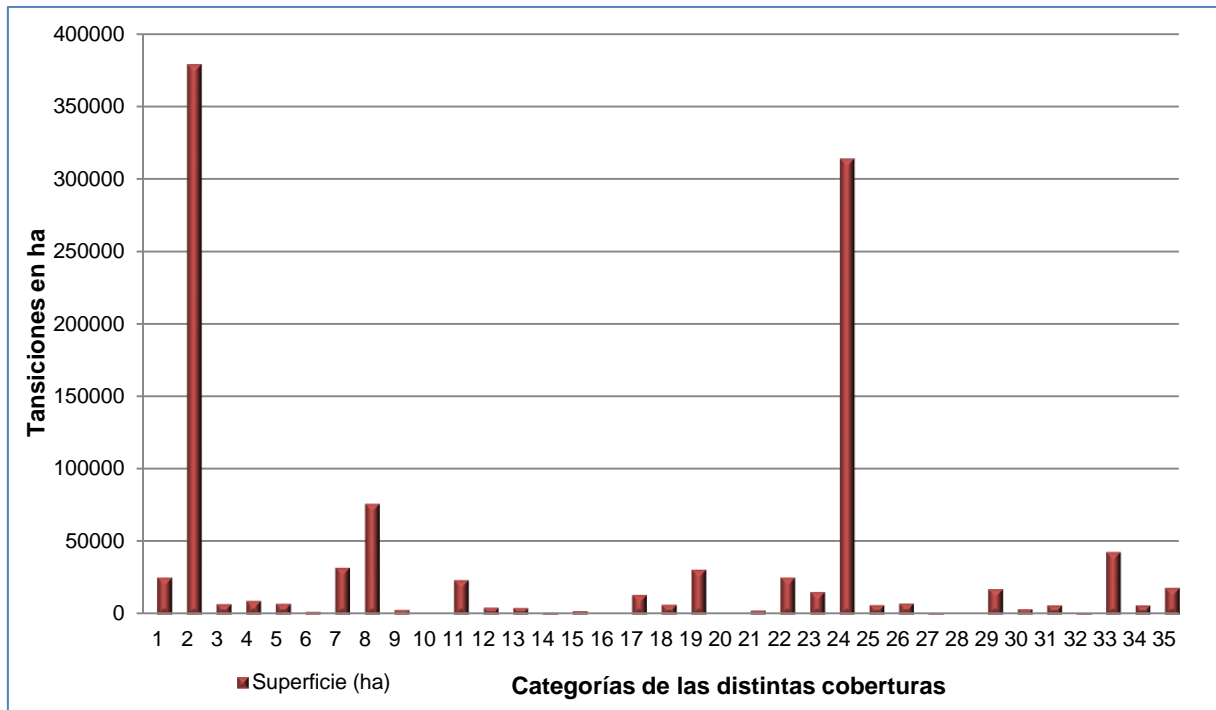
Capítulo: VI RESULTADOS – MODELOS DE ANÁLISIS DE CAMBIO DE USO Y COBERTURAS DE SUELO Y PREDICCIÓN A FUTURO – IDRISI TerrSet

25	6733	Pastizales cerrados a Pastizales abiertos
26	7902	Salitrales a Pastizales abiertos
27	568	Cuerpos de agua a Pastizales abiertos
28	213	Cultivos de secano a Salitrales
29	17792	Arbustales abiertos a Salitrales
30	3816	Pastizales abiertos a Salitrales
31	6566	Cultivos de secano a Cuerpos de agua
32	1240	Cultivos bajo riego a Cuerpos de agua
33	43436	Arbustales abiertos a Cuerpos de agua
34	6570	Pastizales abiertos a Cuerpos de agua
35	18626	Salitrales a Cuerpos de agua
	1.105.922	Superficie total del cambio de coberturas
	2.336.122	Superficie total Municipios Villarino y Patagones

La superficie total de transiciones potenciales entre las distintos usos y coberturas de suelo alcanza las 1.105.922 has. Los mayores cambios están dados por la categorías 2 con una superficie de 378.978 has que corresponde a arbustales abiertos a cultivos de secano y categoría 24 con 314.252 has que corresponde a la transición de arbustales abiertos a pastizales abiertos. Le siguen en orden las categorías: 8 (arbustales abiertos a cultivos bajo riego) con 76.750 has; categoría 33 (arbustales abiertos a cuerpos de agua) con 43.436 has; categoría 7 (cultivos de secano a cultivos bajo riego) con 32.516 has y categoría 19 (arbustales abiertos a pastizales cerrados) con 31.337 has.

El siguiente gráfico (**gráfico 6.2.3**) muestra la representación de la distribución de la superficie en hectáreas que abarca cada una de las categorías de dichas transiciones potenciales. Se visualiza que los principales cambios están dados en las categorías 2 y 24 superando ampliamente las 300.000 has. Luego la categoría 8 se encuentra cercana a las 100.000 has y el resto se ubican por debajo de las 50.000 has, en algunos casos las superficies de cambios son muy pequeñas que a simple vista no se pueden apreciar.

GRÁFICO 6.2.3: REPRESENTACIÓN DE LAS TRANSICIONES (CAMBIOS) DE USOS Y COBERTURAS DE SUELOS EN HECTÁREAS PRODUCIDAS DURANTE EL PERIODO 1975-2015 EN LOS PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES

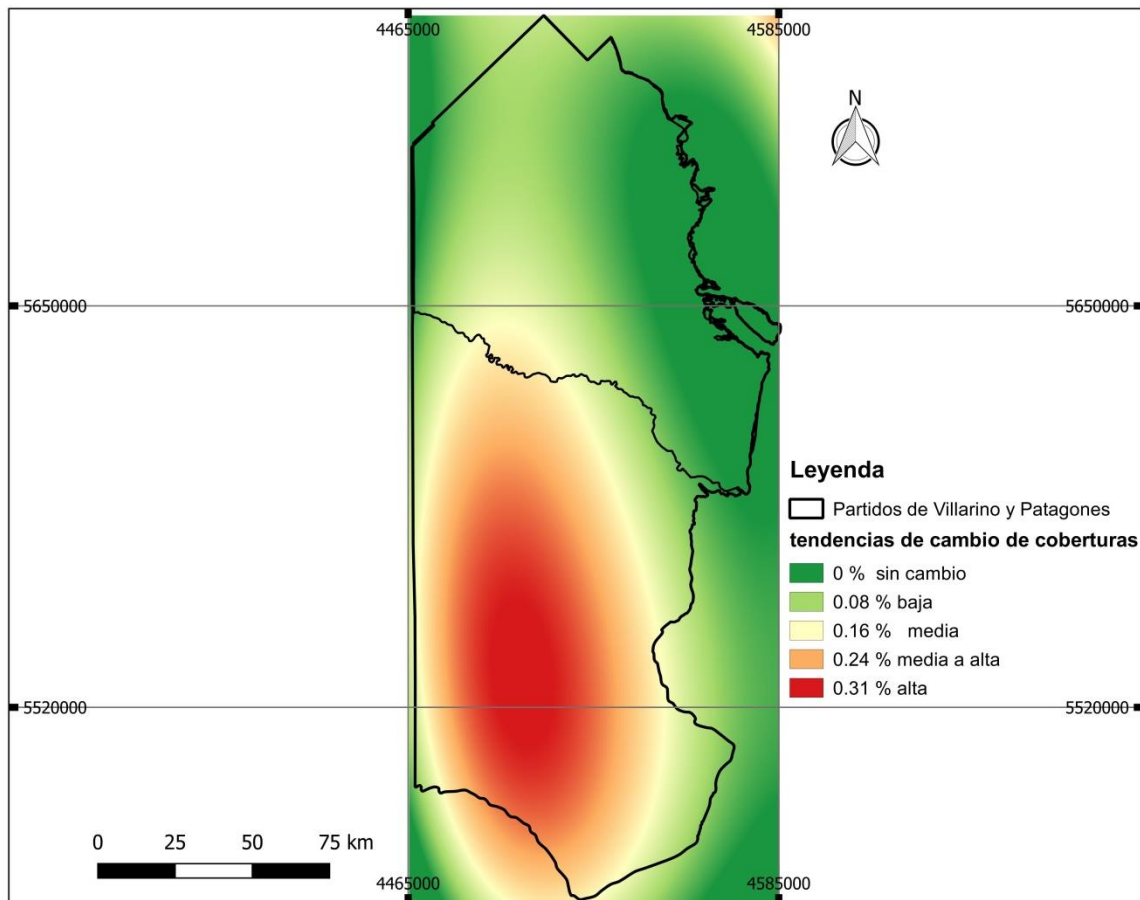


6.2.4 Cartografía resultante de las tendencias de los cambios de usos y coberturas de suelo para el periodo 1975-2015

Estos mapas de tendencia espacial se utilizan y sirven para facilitar la interpretación en aquellos paisajes dominados por la intervención humana donde los patrones de cambios suelen ser complejos y muy difíciles de verificar. Además es posible prever situaciones críticas o de conflicto que pueden dar lugar a condiciones medio ambientales extremas.

La **figura 6.2.4** muestra una tendencia alta en el Partido de Patagones y una tendencia media en el sur de Villarino. En tanto las tendencias bajas se producen en el norte de Villarino y faja costera de Patagones. En cambio la faja oriental de Villarino no ha sufrido cambios significativos.

FIGURA 6.2.4: MAPA DE TENDENCIAS AL CAMBIO DE USOS Y COBERTURAS DE SUELO PARA EL PERIODO 1975-2015, PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES

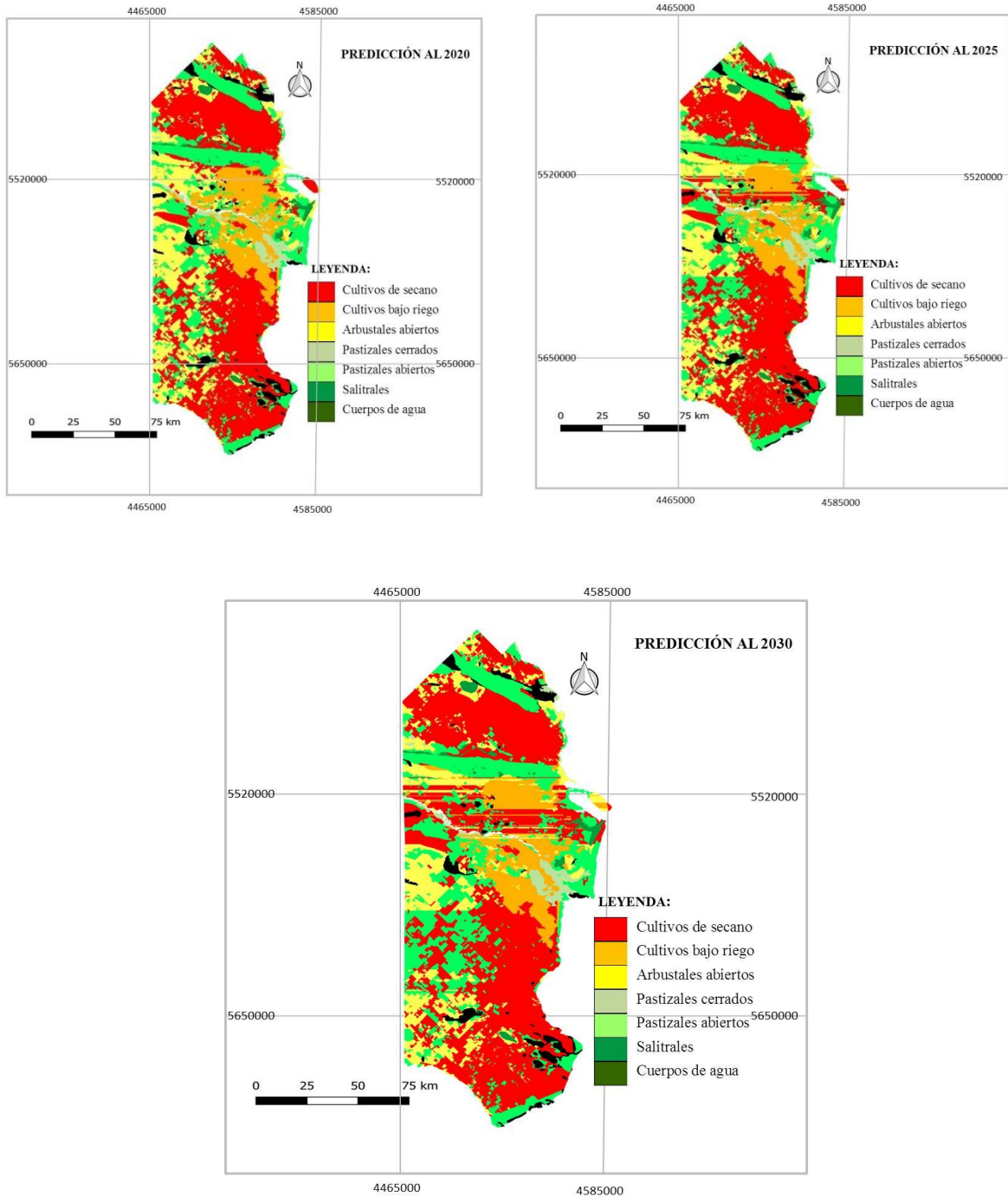


Fuente: elaboración propia aplicando el módulo de tendencias de cambio del software Idrisi TerrSet

6.2.5 Predicción de cambios y posibles escenarios futuros:

El Modelador de Cambios de la Tierra (LCM) puede predecir un escenario futuro para una determinada fecha futura. Este modelo determina cómo las variables influyen en los cambios futuros, cuántos cambios sucedieron entre el primer y el segundo momento analizados. En las siguientes figuras se muestra la predicción al año 2030 evaluando dos etapas intermedias para el año 2020 y 2025 mostrando de esta manera los cambios de uso y cobertura que se producirán para cada una de las fechas citadas.

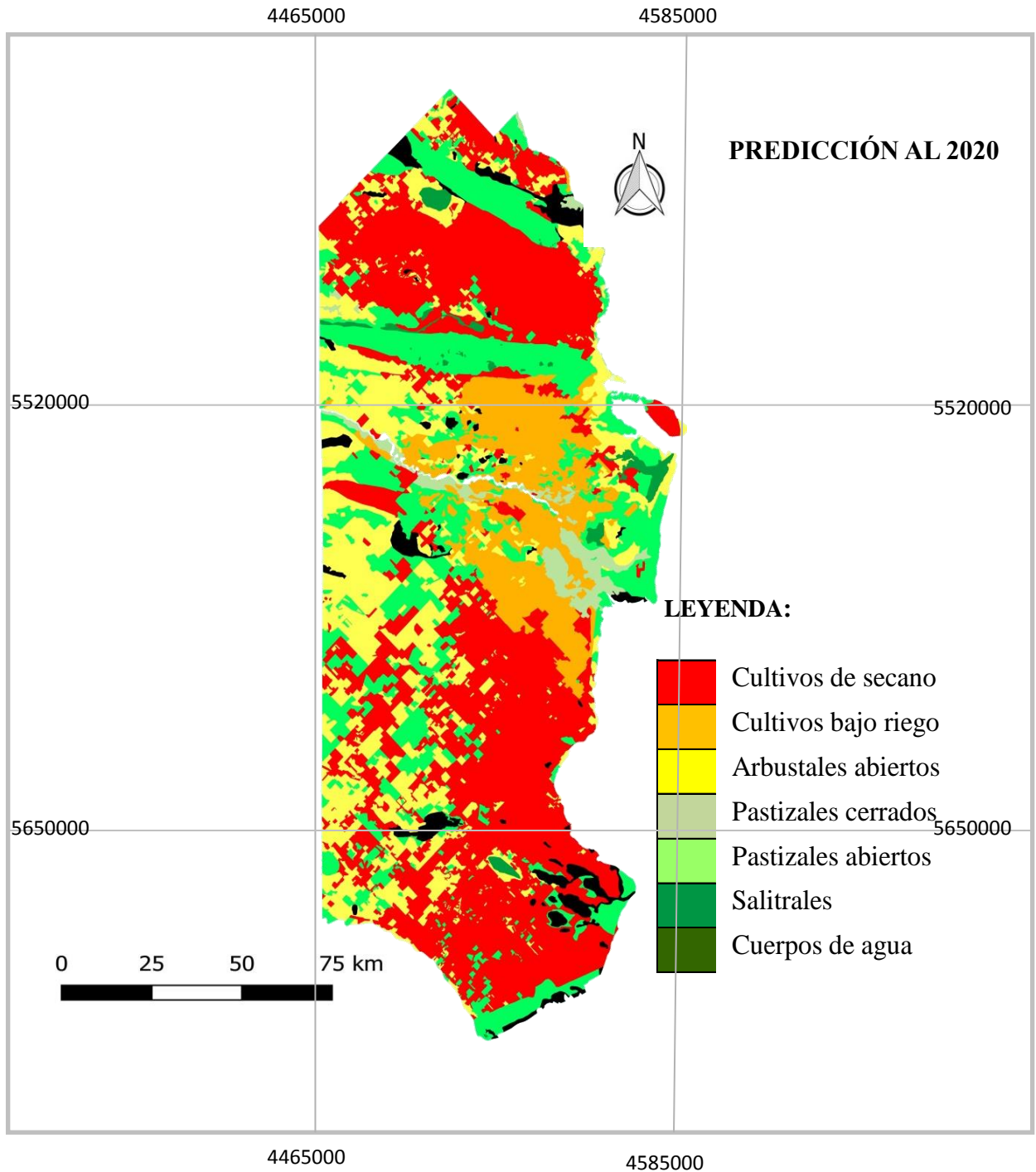
FIGURA 6.2.5: MAPAS DE PREDICCIÓN DE CAMBIOS DE USOS Y COBERTURAS DE SUELO PARA LOS AÑOS 2020, 2025 Y 2030. PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES



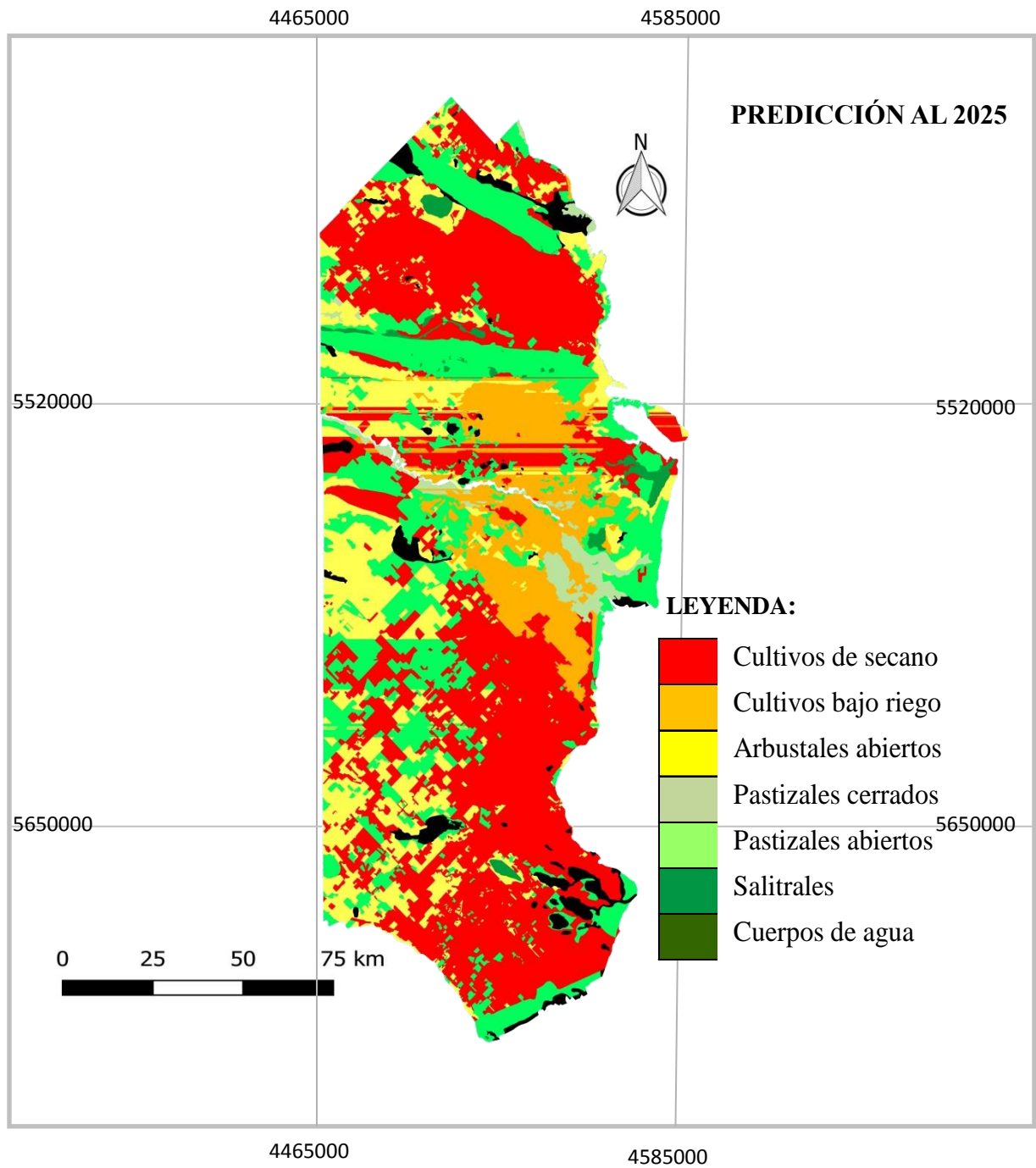
Fuente: elaboración propia aplicando el módulo de predicción de cambio del software Idrisi TerrSet

Capítulo: VI RESULTADOS – MODELOS DE ANÁLISIS DE CAMBIO DE USO Y COBERTURAS DE SUELO Y PREDICCIÓN A FUTURO – IDRISI TerrSet

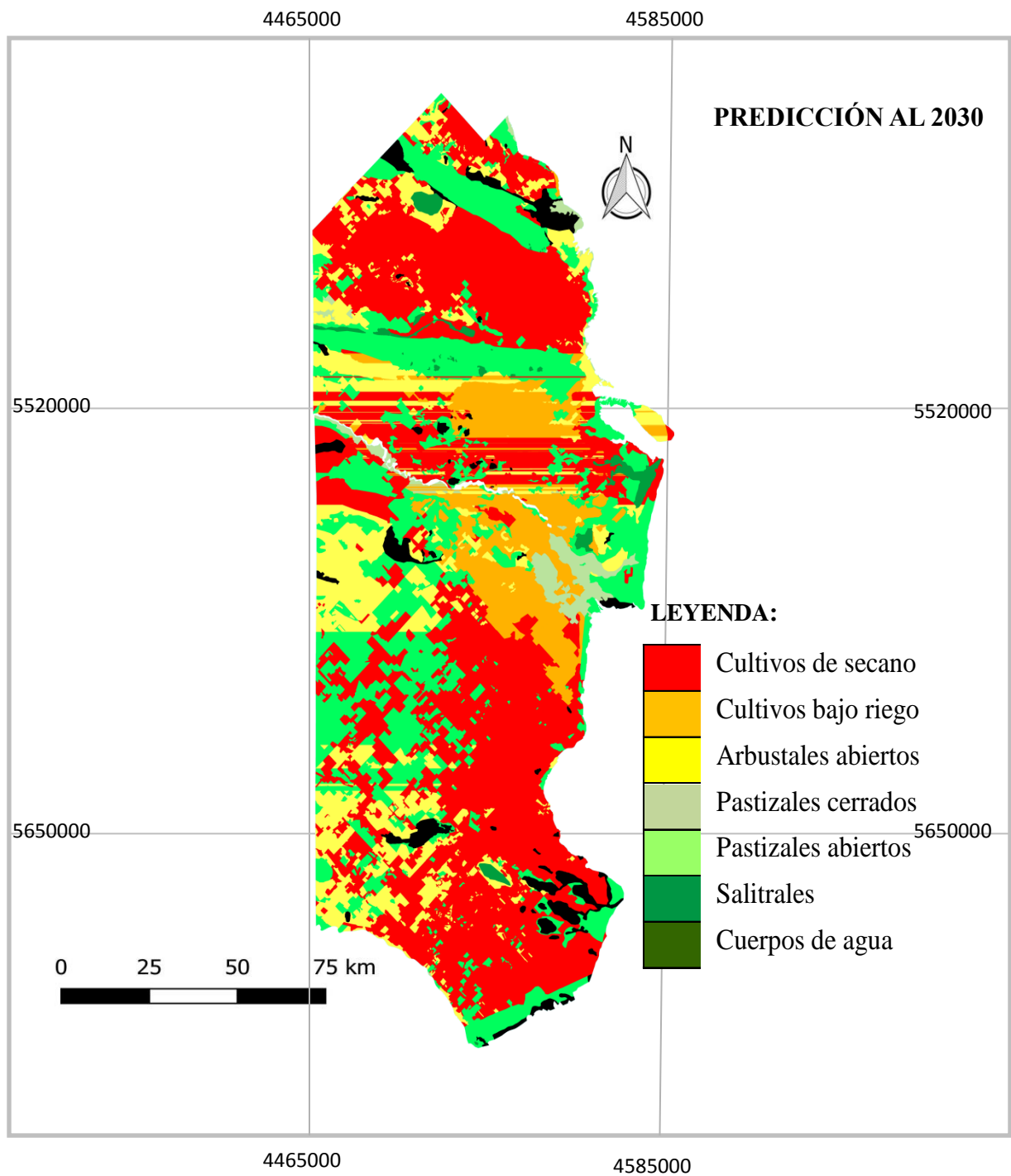
A continuación se muestra la cartografía ampliada (zoom) de cada predicción para tener una mejor apreciación de los cambios de uso y cobertura de suelo para cada momento.



Fuente: elaboración propia aplicando el módulo de predicción de cambio del software Idrisi TerrSet



Fuente: elaboración propia aplicando el módulo de predicción de cambio del software Idrisi TerrSet



Fuente: elaboración propia aplicando el módulo de predicción de cambio del software Idrisi TerrSet

Capítulo: VI RESULTADOS – MODELOS DE ANÁLISIS DE CAMBIO DE USO Y COBERTURAS DE SUELO Y PREDICCIÓN A FUTURO – IDRISI TerrSet

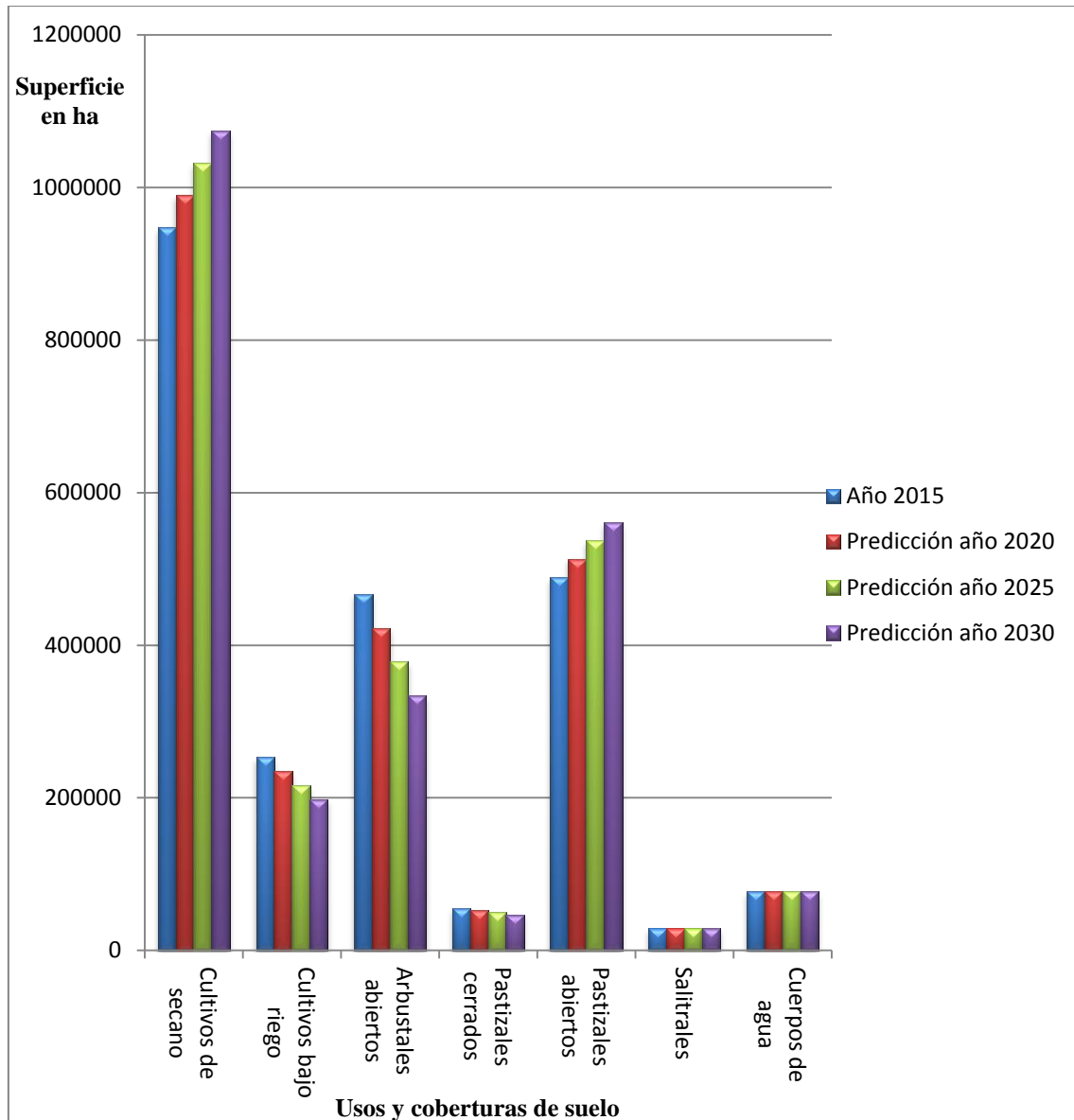
En la **tabla 6.2.5** se observa cómo van variando las distintas categorías de uso y cobertura de suelo tomando como base el año 2015 y pasando por las distintas predicciones para los años 2020, 2025 y 2030.

Tabla 6.2.5: Predicciones de los cambios de los usos y coberturas de suelo para los años 2020, 2025 y 2030 tomando como base el año 2015 con superficies en hectáreas para los partidos de Villarino y Patagones.

Usos y Coberturas de suelo	Año 2015	Predicción año 2020	Predicción año 2025	Predicción año 2030
	Superficie en hectáreas			
Cultivos de secano	947348	989498	1031649	1073799
Cultivos bajo riego	253272	234680	216088	197496
Arbustales abiertos	467171	422611	378051	333492
Pastizales cerrados	55165	52387	49608	46830
Pastizales abiertos	489130	512909	536689	560469
Salitrales	28271	28271	28271	28271
Cuerpos de agua	77521	77521	77521	77521
TOTAL	1.124.167	1.124.167	1.124.167	1.124.167

El siguiente gráfico de barras (**gráfico 6.2.5**) muestra los datos de superficie para cada una de las categorías de usos y coberturas de suelo para ambos distritos en estudio. En el mismo se toma como base o referencia al año 2015 para poder realizar la comparación de los cambios de usos y coberturas de suelo que se predicen para el año 2020,2025 y 2030.

GRÁFICO 6.2.5: REPRESENTACIÓN DE LAS PREDICIONES DE LOS CAMBIOS DE USOS Y COBERTURAS DE SUELO PARA LOS AÑOS 2020, 2025 Y 2030 TOMANDO COMO BASE EL AÑO 2015. SUPERFICIES EN HECTÁREAS. PARTIDOS DE VILLARINO Y PATAGONES



De este gráfico se deduce que la mayor superficie ocupada corresponde a los cultivos de secano y en orden decreciente le siguen los pastizales abiertos, arbustales abiertos y cultivos bajo riego. En cuanto al análisis de las predicciones a futuro; se prevee un importante avance de la frontera agrícola. Este avance está dado sobre todo por los cultivos de secano

sobre los arbustales abiertos y sobre los cultivos bajo riego. Para los pastizales abiertos también se predice un aumento para los distintos años de predicción.

En efecto, conocidos los cambios en los usos y coberturas de suelo, las ganancias y las pérdidas de cada categoría, es posible aproximarnos por medio de predicciones de posibles escenarios tendenciales futuros y, en el caso de ser poco beneficioso el escenario, poder aplicar acciones que impidan su desarrollo o bien propiciar medidas con miras a alcanzar los objetivos que involucra una sustentable planificación territorial.

Para el caso de Villarino y Patagones se ha estimado la posible dinámica de usos y coberturas de suelo desde el 2015 hasta el año 2030 pasando por las etapas intermedias del 2020 y 2025. Esta predicción permite centrar la atención en las áreas que muestran mayor dinámica, que en el caso de estudio, siguen siendo las áreas agrícolas sobre todo de secano. Estas áreas son las que más evidencian el deterioro y degradación de sus suelos por ende las más susceptibles a erosionarse siempre y cuando se cumplan las condiciones climáticas extremas (con escasas precipitaciones, baja humedad relativa del aire, fuertes vientos desecantes) y condiciones de escasa vegetación que permita fijar los suelos ante condiciones adversas.

Las áreas agrícolas en general son las que más han sufrido la intervención de la humanidad. El hombre que al buscar aumentar su rentabilidad económica no toma conciencia en los recaudos necesarios en cuanto a los manejos y herramientas adecuadas que deben aplicarse y utilizarse para cuidar el recurso suelo. Se genera así su degradación y posterior desertificación. El suelo al perder sus propiedades físicas y químicas que lo hacen productivo pasa a ser un suelo degradado que tardará miles de años en volver a recuperarse para nuevamente ser productivo.

Es importante tener en cuenta que los sitios y lugares donde los suelos presenten aspectos de fragilidad se deben tener mayores conocimientos de los manejos y herramientas que pueden utilizarse en dichos suelos.

Capítulo: VII

CONCLUSIONES

La presente investigación se ha realizado integrando modernas metodologías de análisis espacial, que integran tecnologías de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Percepción Remota o Teledetección, culminando con el Análisis Multicriterio que involucran a las complejas variables consideradas evidenciando la complejidad ambiental existente en los partidos de Villarino y Patagones. Este procedimiento permitió construir modelos para la toma de decisiones sobre sectores espaciales que poseen suelos con mayor vulnerabilidad a degradarse. El análisis permite elaborar un diagnóstico sobre la situación problema existente y poder establecer pautas de manejo con fines de conservación y restauración de las mismas.

La aplicación del uso del SIG, permitió manejar e integrar todo tipo de información como: bases de datos georeferenciadas y actualizables provenientes de imágenes satelitales, relevamientos y muestreos a campo. Además las imágenes satelitales proporcionaron información multitemporal relacionada con el uso y cobertura de la tierra e información sobre la distribución espacial de las unidades de suelos existentes.

Se logró reunir, integrar, organizar y cuantificar toda la información ambiental y socio-económica existente sobre los temas relacionados al: **“Análisis multitemporal del avance de la frontera agrícola sobre el monte nativo para los periodos 1975-1987, 1987-2002 y 2002-2015”**, y a la **“Evolución multitemporal de uso y cobertura de suelo para los años 1975, 2001 y 2015”** para continuar luego con el estudio de la degradación de los suelos logrando una visión real, amplia y completa de la situación.

Esta información básica permite, dentro de ciertos límites, extrapolar datos y resultados obtenidos, y también tener una idea aproximada de la extensión de las áreas que presentan problemas similares. Asimismo permitió **localizar y cuantificar los sitios y áreas**

de mayor vulnerabilidad a degradarse y las áreas hacia donde se producirán los cambios de usos y coberturas de suelo. Estas son zonas en donde se deberá prestar mucha atención y se deberán realizar estudios y controles periódicos, a los efectos de lograr una mayor prevención y poder mitigar los procesos erosivos y degradatorios del suelo.

Los SIG constituyen una importante herramienta en **las tareas de planificación ambiental y ordenamiento del territorio** implementando su futura utilización periódica en estudios locales. Se fortalecerán **las acciones de vigilancia temprana** por la incorporación de mapas de condiciones ambientales favorables y desfavorables para la generación de áreas vulnerables a degradarse. Con ellos es posible detectar y en cierta medida resolver con facilidad problemas originados por las actividades realizadas en el medio, considerando para ello tanto su aptitud como el posible impacto ambiental de la localización actividad concreta, en ese punto específico del territorio.

En relación a las bondades de los SIG aplicados al procesamiento de imágenes de satelitales, se resaltó la incorporación de rutinas que agilizaron los procesos de análisis encadenados, lo que nos permitió mostrar la situación actual existente para el área de estudio, realizando **predicciones y escenarios tendenciales** a corto, mediano y largo plazo, aspectos sumamente relevantes para complementar los **diagnósticos y descripciones territoriales**.

En la investigación realizada se aplicaron los procedimientos y técnicas de evaluación multicriterios, la cual pretende ser un gran avance en términos de eficiencia asignativa de los recursos y oportunidades de detección de cambios de uso y cobertura de suelo. Al lograr contar con la cartografía de potenciales cambios se pueden generar los mapas de riesgo de erosión y/o degradación de los suelos.

Es importante destacar que el empleo de técnicas y tecnologías agrícolas por parte del hombre han provocado impactos negativos al medio ambiente, que se manifiestan en afectaciones a diversos ecosistemas producto de la contaminación como resultado de esta acción humana y de los subproductos químicos producidos por la explotación, reparación y mantenimiento de la maquinaria agrícola y del transporte. Mientras el hombre actúe y modifique el ambiente natural para su propio bienestar socio-económico-cultural, estará generando degradación del ecosistema natural.

Dentro de las prácticas realizadas por el hombre que provocan la degradación de los suelos se encuentran: **el fuego** a través de las quemas controladas (al momento de la quema se debe tener en cuenta que se produzcan las condiciones favorables de temperatura, humedad relativa de aire, velocidad de vientos; si estas condiciones no se cumplen dichos incendios se descontrolan y provocan graves consecuencias a la vegetación y al suelo); **procesos de salinización del suelo** producto del ineficiente o mal uso del agua para el riego (por encharcamiento y falta de adecuados drenajes para que circule y se elimine el exceso de agua presente en el suelo); en agricultura con el **manejo inadecuado de los cultivos** (por no hacer adecuadas rotaciones de cultivos y por la aplicación de mismo cultivo siempre- o “monocultivo”) y la utilización de **maquinaria inapropiada** (herramientas pesadas que tamizan el suelo más que otra máquina apropiada) o no apta para suelos de alta fragilidad; y en áreas ganaderas, el **sobrepastoreo** y el **desmonte** de la vegetación nativa.

Los impactos mencionados son fácilmente detectados por procesos de teledetección que involucran la utilización de imágenes satelitales y fotografías aéreas, registrando la “huella” en el medio ambiente y es verificada por la observación directa “in situ” utilizando técnicas de relevamiento en campo.

El desarrollo de modelos de predicción de escenarios futuros se basa en procesos de simulación de los ambientes y sirven de sistema de vigilancia para una alerta temprana en la previsión de alguna problemática ambiental.

Los SIG y la percepción remota son el soporte esencial para el diseño e implementación de planes de manejo medioambiental y de los diversos usos (agrícola, ganadero y forestal) que ello involucra, además de poder realizar predicciones acerca de posibles escenarios a corto, mediano y largo plazo sobre los cambios de usos y coberturas de suelo que se producen en el territorio.

Capítulo: VIII**PROPUESTAS:**

Varios factores se unieron para elaborar una serie de propuestas a concretar en un futuro cercano, la situación laboral de la autora de la presente investigación dentro de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Hilario Ascasubi, sin dudas favoreció la realización del trabajo, por una lado al poseer una estrecha y constante interacción con los compañeros extensionistas de las Agencias de Médanos, Mayor Buratovich, Villalonga y Carmen de Patagones, dichas localidades pertenecientes al área de estudio.

Esto motivó sin lugar a dudas, haber realizado un profundo estudio de las variables consideradas, dando lugar a una aplicación concreta de los resultados obtenidos a través de una institución oficial como es el INTA.

Se crea en consecuencia una transferencia específica a través de un equipo interdisciplinario que actúa dentro de un plan de acción regional.

El hecho de que el asesoramiento se lleve a cabo a partir de una institución oficial, sumada a la acción de diversas instituciones educativas, municipales, del orden público, y políticas, lo que afianza su implementación, estos aspectos aseguran un acercamiento al productor para la difusión y transferencia de los conocimientos que muestran la problemática de un área.

Para mejorar la sustentabilidad de estas áreas, la propuesta es establecer pautas de manejo de los distintos sectores de uso agrícola-ganadero con realización de actividades de bajo impacto, con el menor nivel de modificación de los recursos naturales; tratando de concientizar a los productores que se debe intentar conservar y aplicar tecnologías que no degraden los recursos naturales y en especial los suelos.

Implementar un sistema de monitoreo y vigilancia permanente de los recursos de la región y establecer un sistema alerta temprana utilizando tecnologías de percepción remota satelital, SIG y de la aplicación de los modelos de cambio y predicción existentes en el Laboratorio de Teledetección y SIG del INTA Hilario Ascasubi.

Brindar, difundir y promover la metodología aplicada en el presente trabajo entre los distintos actores de la región.

Dar pautas u orientaciones a futuras investigaciones o líneas de trabajo, teniendo en cuenta las condiciones y exigencias particulares de las distintas áreas ecológicas del país.

RECOMENDACIONES:

Las principales sugerencias o recomendaciones a tener en cuenta para evitar el deterioro de los suelos son:

- Evitar el desmonte sin control y la quema de vegetación en momentos poco apropiados para su realización, que pueden ocasionar efectos para la erosión y la eliminación de microorganismos.
- Evitar la práctica del monocultivo (siembra del mismo cultivo en el mismo suelo) y hacer una adecuada rotación de cultivos.
- Implementar buenas prácticas agropecuarias y diversidad productiva para la zona.
- No dejar el suelo desprovisto de vegetación principalmente en los meses del año más ventosos.
- Evitar el sobre pastoreo, es conveniente implementar la movilidad de los rebaños de un potrero al otro, con la finalidad que el pasto vuelva a crecer.
- En lugares que presenten algún tipo de pendiente, implementar estudios detallados del sitio y efectuar la siembra de cultivos en terrazas o siguiendo las curvas de nivel.
- En áreas de riego hacer uso eficiente del agua, realizando estudios sobre trazado de canales de riego y drenajes que permitan eliminar las sales producto de dicho riego.
- Implementar estudios detallados de áreas salinizadas, buscando métodos que procedan a la inversión y recuperación del proceso.
- Plantar árboles que sirvan de o cortinas forestales o rompevientos para disminuir el impulso del viento y para protección de los cultivos.
- Enriquecer el suelo añadiendo abonos que sustituyan los elementos nutritivos que han tomado los vegetales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**A**

ADEEL, Z.; SAFRIEL, U.; NIEMEIJER, D. Y WHITE, R. 2005. *Ecosistemas y bienestar humano: síntesis sobre desertificación. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio*. Word Resource Institute, Washington D.C, Estados Unidos.

AGAMENNONI R. 1996. *Labranzas en la región semiárida bonaerense sur*. Editorial: Extra. Libro: Labranzas en la región semiárida Argentina. 1000 ejemplares, 1- 126 pp. INTA Anguil, La Pampa, Argentina.

AGUIRRE, M.; ELISEI, V.; COMMEGNA, M. Y SANTAMARÍA, R. 2009. *Salinidad en un suelo irrigado del Sudoeste Bonaerense*. Actas de la V Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense, pp 95-106. EdiUNS. Bahía Blanca, Argentina.

ALONSO, G.; ALMOZA, Y.; RUIZ, M. 2007. *Estimación del riesgo de erosión hídrica en la sub-cuenca "La Gira" del río Cuyaguaje*. Serie Monográfica auspiciada por el Programa CYTED, Imprenta UNAH, La Habana, Cuba

AMOZA, Y.; ALONSO, G.; RUIZ, M. 2007. *Análisis de la influencia de las precipitaciones en la erosión de la cuenca del río Cuyaguaje*. Serie Monográfica auspiciada por el Programa CYTED, Imprenta UNAH, La Habana, Cuba.

ARMBRUST, D.V. 1984. *Wind sandblast injury to field crops: effects on plant age*. Agron. J. 76:991-993.

AZCOITIA DE OCKIER C. 1983. *Uso actual del suelo en zona de transición entre la región Pampeana y Patagónica*. Cuaderno del Sur Nro. 15 – Dpto. de Humanidades. UNS. Bahía Blanca, Argentina.

B

BARSKY, O. 1991. *El desarrollo agropecuario pampeano*. INDEC, INTA, IICA. Editorial EMECE. Buenos Aires, Argentina.

BERTILLER, L. MARONE, R. BALDI, J. 2009. *Ares. Biological interactions at different spatial scales in the Monte desert of Argentina* M.B. Journal of Arid Environments 73 212–pp 221

BILENCA, D.; CODESIDO, M.; FISCHER, C. Y CARUSI, L. 2009. *Impactos de la actividad agropecuaria sobre la biodiversidad en la ecorregión Pampeana*. Ediciones: INTA, 500 ejemplares, 1-42 pp. Buenos Aires, Argentina.

BONFILS, C.; CALCAGNO, J.; ETCHEVEHERE, P. 1960. *Suelos y erosión en la región pampeana semiárida*. Publicación N° 65. Instituto de Suelos y Agrotécnia del INTA. Buenos Aires, Argentina

BOÓ, R. 1994. *Algunos aspectos a considerar en el empleo del fuego*. Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad de La Pampa, 5: 63-80.

BOROUSHAKI, S. Y MALCZEEWSKI, J. 2008. *Environmental modeling for sustainable regional development system approaches and advanced methods. Chapter 11: A spatial multicriteria decision analysis to manage sewage sludge application on agricultural soil*. Pp 221-241. Editado por Vladimir Olej, University of Pardubice, República Checa.

BOSQUE SENDRA, J. Y GARCÍA, R. 2000. *El uso de los sistemas de información geográfica en la planificación territorial*. (Publicado en Anales de Geografía de la Universidad Complutense, 2000, n° 20, pp. 49-67)

BRUNEL, N. Y SEGUEL, O. 2011. *Efectos de la erosión en las propiedades del suelo*. Revista: Agro sur, 2011, vol.39, no.1, p.1-12.

BUSCHIAZZO, D Y AIMAR, L. 2003. *Erosión eólica: Procesos y Predicción. En: Viento, Suelo, y Planta*. Golvergy Kin, Ediciones INTA. La Pampa, Argentina.

BUSCHIAZZO, D Y TAYLOR. 1993. *Efectos de la erosión eólica sobre algunas propiedades de suelos de la Región Semiárida Pampeana Central*. Ciencia del Suelo, pp 46-53.

BUSCHIAZZO, D; PANEBIANCO, J; GUEVARA, G.; ROJAS, J.; ZURITA, J.; BRAND, D.; LOPEZ, D; GAITAN, J Y HURTADO, P. 2009. *Incidencia potencial de la erosión eólica sobre la degradación del suelo y la calidad del aire en distintas regiones de la Argentina*. Disponible: <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v27n2/v27n2a12.pdf>

Consulta: 15 septiembre 2013

C

CABRERA, A. 1951. *Territorios fitogeográficos de la República Argentina*. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. Volumen IV, N° 1 – 2. Argentina.

CAMPO, A.; RAMOS, M. Y ZAPPERI P. 2008. *Análisis de las variaciones anuales de Precipitación en el Suroeste Bonaerense, Argentina*. 1-12 pp. Universidad Nacional del Sur; CONICET y CIC. Bahía Blanca, Argentina.

CAPELLI DE STEFFENS, A. Y CAMPO DE FERRERAS, A. 1994. *La transición climática en el sudoeste bonaerense*. Serie Monografías: Sigeo. Bahía Blanca, Argentina.

CAPITANELLI, R. 1994. *Concepción geográfica de Paisaje, erosión y formas de cartografiarlas*. Revista Academia Nacional de Geografía. Ediciones Sigma S.R.L. Publicación especial N° 8. Buenos Aires, Argentina.

CAPPANNINI, D. Y LORES, R. 1966. *Los suelos del Valle Inferior del río Colorado*. Colección suelos N° 1; INTA. Buenos Aires, Argentina.

CARDOZO, C. 2013. *Zonación de susceptibilidad por procesos de remoción en masa en la cuenca del río Tartagal, Salta (Argentina)*. Tesis como parte de los requerimientos para la obtención del grado de magister en aplicaciones espaciales de alerta y respuesta temprana a emergencias. Facultad de Matemática, Astronomía y Física y el Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich, Universidad Nacional de Córdoba. Director: Dr. Guillermo Toyos

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) Co-Director: Lic. Valérie Baumann Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR).

Disponible: <http://www.famaf.unc.edu.ar/wp-content/uploads/2014/04/16-Gulich-Cardoso.pdf>

Consulta: 28 de Diciembre de 2016

CASAS, R. 2015. *La erosión, un daño ambiental que vuelve a aumentar*. Nota Diario Clarin del día 4 de julio del 2015. Disponible: http://www.clarin.com/agricultura/erosion-agricultura-argentina-suelos_0_H1eshUYwQe.html

Consulta: 20 de julio de 2015

CASAS, R. 2001. *La Conservación de los Suelos y la Sustentabilidad de los Sistemas Agrícolas*. Anales de la ANAV. Universidad Nacional de la Plata, Argentina.

CASAS, R. Y IRURTIA, C. 1995. *Lo que la erosión se llevó*. Revista: Campo y tecnología. Año IV N° 18. Enero/febrero 1995.

CASAS, R.; IRURTIA, C. Y MICHELENA, R. 1978. *Desmonte y habilitación de tierras para la producción agropecuaria en La República Argentina*. Suelos – Publicación N° 157. Buenos Aires, Argentina.

CASTRO, J. Y BRUN, J. 1964. *La erosión en Santa Cruz: Ensayos de recuperación*. Boletín de divulgación N° 3. Estación Experimental Agropecuaria Gregores. Centro Regional Patagónico. Santa Cruz, Argentina.

CENTRO DE INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS. 1983. *El río Colorado y la Franja desértica Pampeano – Patagónica*. Tomo II. Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

CHUVIECO, E. 1996. *Fundamentos de Teledetección espacial. 3ra. Edición revisada*. Ediciones RIALP, S. A., Madrid, España.

COLLADO D. 1997. *Teledetección y estudios sobre desertificación en San Luis*. Con las metas claras. Estación Experimental Agropecuaria San Luis. INTA. Ed. INTA

COSCIA S. R. 1988. *Impacto Ambiental en el valle inferior del río Colorado*. Seminario “Planificación de los Recursos Naturales” Dpto. De Geografía, Universidad Nacional Sur. Bahía Blanca, Argentina.

COVAS DE GARCÍA M. R. Y N. B. MEDUS, 1987. *Determinación y descripción de los límites de la Cuenca del Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó*. Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Nacional de La Pampa. Serie: Temas Hídricos N°1. Editorial Biblioteca Pampeana. Fundación Chadileuvú. Pág. 18; La Pampa, Argentina.

CRUZ, R.; MARTÍN, G.; VANTOUR, A.; PAEZ, M. Y PONVERT, D. 2010. *Diagnóstico de áreas vulnerables a la desertificación empleando información satelital y SIG en un territorio de la república de Cuba*. Revista SELPER, 1(Especial); pp32-41. Luján, Argentina.

D

DE FINA, A. 1992. *Aptitud agroclimática de la república Argentina*. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Buenos Aires, Argentina.

DE FINA, A. Y. RAVELLO, A. 1973. *Climatología y Fenología agrícola* EUDEBA Buenos Aires, Argentina.

DI GREGORIO, A. Y JANSEN, L. 2000. *Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts And User Manual*. FAO Environment and Natural Resources Service Series, No. 8 – FAO, Rome.

DÍAZ C.; MAMADO, K.; ITURBE, A Y OTROS. 1999. *Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: caso del curso del río Lerma, Estado de México*. Rev. Ciencia Ergo Sum, julio, vol. 6, número dos. Universidad Autónoma del Estado de México; pp 124-134. Toluca, México.

DÍAZ DELGADO, R. 2003. *Efecto de la recurrencia de los incendios sobre la resiliencia post-incendio de las comunidades vegetales de Cataluña a partir de imágenes de satélite*. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente, año XII, N° 3, 2003, septiembre-diciembre 2003/3.

Disponible: <http://www.aeet.org/ecosistemas/033/investigacion2.htm>

Consulta: 21 julio 2015

DIAZ, N.; PEREZ, J. 2007. *Metodología para evaluar el impacto de las máquinas agrícolas sobre los recursos naturales del medio ambiente*. Ciencias Holguín, Revista trimestral, Año XIII, abril-junio, Holguín, Cuba.

Disponible: <http://www.redalyc.org/pdf/1815/181517923007.pdf> . Consulta: 16 abril 2013

E

EASTMAN, J. R. 2016. *IDRISI TerrSet, User Manual Versión 18.2*. Clark Labs University, Worcester, Massachusetts. (www.clarklabs.org)

EDESIO, F.; MARAURI, P. Y MERINO, A. 2000. *Aplicaciones de los sistemas de información geográfica en los estudios geomorfológicos y medio ambientales: el mapa sintético de riesgos potenciales y el mapa de erosión*. España.

ETCHEVEHERE, P. 1976. *Normas de Reconocimiento de Suelos*. 2da. Ed. Actualizada. INTA-CIRN, Suelos, Publicación N° 52. Castelar, Buenos Aires, Argentina.

F

FECIC (FUNDACIÓN PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA). 1988. *El Deterioro del Ambiente en la Argentina (Suelo- Agua- Vegetación- Fauna)*. Buenos Aires, Argentina.

FERRER, J. 1991. *La carta geológico – económica. Posibilidades de uso en estudios de suelos*. Programa Suelos: Documento N° 6; 41 pp. INTA. Buenos Aires, Argentina.

G

GALMARINI, A. Y RAFFO DEL CAMPO, J. 1964. *Rasgos fundamentales que caracterizan el clima de la región Chaqueña*. Consejo Nacional de Desarrollo. N°. 9. Buenos Aires, Argentina.

GARCIA C. 1967. *Análisis de las clasificaciones climáticas del territorio Argentino*. Serie A N° 24. Buenos Aires, Argentina.

GARCÍA DE PEDRAZA, L. 1989. *Día Meteorológico Mundial 1984: la meteorología ayuda a producir alimentos*. *Calendario meteorológico*. Editor: Instituto Nacional de Meteorología 1984, p. 166-168. Disponible: <http://hdl.handle.net/20.500.11765/727>
Consulta: 06 marzo 2016

GARCÍA NIETO, H; GARCÍA DAGUER, R.; MORENO SÁNCHEZ, R. y GONZÁLEZ RAMOS, A. (2002). *Uso de sensores remotos y SIG para delimitar los cambios en el uso del suelo agrícola de 1970 a 1997 en el estado de Guanajuato*. *Investigaciones geográficas*, (47), 92-112.
Disponible: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-66112002000100007&lng=es&tlng=es
Consulta: 2 de Diciembre de 2016

GIORGETTI, H. 1995. *Bases y modelos de producción para la implementación de un plan de desarrollo agropecuario en el partido de Patagones*. Chacra Experimental del Ministerio de la Producción de la Provincia de Buenos Aires. Patagones, Argentina.

GOMEZ Y SCOPPA, C. 1994. *Los Suelos de Argentina y su Geografía*. Disponible: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/04/17/89382> Consulta: 10 de agosto de 2016

GONZÁLEZ M. 1987. *Uso y cobertura de la tierra en el sur de la provincia de Buenos Aires*. *En: Evaluación expeditiva del recurso suelo y uso y cobertura de la tierra en el sur de la provincia de Buenos Aires. Informe técnico N° 28*. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Hilario Ascasubi. Bahía Blanca, Argentina

GUTMAN, P. 1988. *Desarrollo rural y medio ambiente en América Latina*. Ediciones Centro Editor de América Latina. Buenos Aires, Argentina.

H

HOOBS, N., SCHIMES, D., OWENSBY, C. Y OJIMA, D. 1991. *Fire and grazing in the tallgrass prairie: contingent effects on nitrogen budgets*. Ecology. 72 (4): 1374-1382.

I

IBÁÑEZ MARTÍNEZ, E. 2008. *Validación de Modelos Digitales del Terreno de precisión a partir de datos Láser Escáner Aerotransportado; Aplicación a la Marisma del Parque Nacional de Doñana*. Tesis defendida 03 de junio de 2008, directores Gili Ripoll y Josep Antoni. Universitat Politècnica de Catalunya.

Disponible: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93572>

Consulta: 20 de noviembre de 2015.

IGLESIAS, D. 2005. *Relevamiento exploratorio del análisis de ciclo de vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario*. pp 63. Ediciones: INTA. Buenos Aires, Argentina.

IMBELLONE, P.; GIMÉNEZ J.; PANIGATTI J. 2010. *Suelos de la Región Pampeana: Procesos de Formación*. Ediciones INTA. 320 pp. Buenos Aires, Argentina.

INSTITUTO DE SUELO Y AGROTÉCNIA DE INTA. 1948. *La erosión eólica pampeana y plan para la conservación de los suelos*. Impreso en los talleres gráficos de la Dirección de Informaciones del Ministerio de Agricultura de la Nación. Buenos Aires, Argentina.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA (INIA). 2007. *SIMERPA: Sistema de Información y Monitoreo para la Evaluación de Riesgos Climáticos en la Producción Agrícola de Uruguay y Paraguay*. Serie Técnica N° 162. Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA. Montevideo, Uruguay.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (INTA). 1962. *Las sequías en la región pampeana subhúmeda y semiárida. Prevención y control de sus efectos*. Miscelánea N° 5; 10pp. Buenos Aires, Argentina.

IURMAN, D. 2009. *Sistemas agropecuarios de Villarino y Patagones. Análisis y Propuestas*. Ediciones INTA, pp 30. INTA Estación Experimental Agropecuaria Hilario Ascasubi. Hilario Ascasubi, Argentina.

K

KLINGEBIEL, A. Y MONTGOMRY, P. 1961. *Land capability classification. Agricultural Handbook 210*. Soil Conservation Service. U.S.D.A. pp: 21 Washington D.C. Estados Unidos.

KUGLER, W. 1963. *Sequía y Burocracia*. Publicación miscelánea N° 13; 13pp. Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino. Pergamino, Argentina.

KUNST, C. 2003. *Efectos del fuego sobre el suelo. En: Fuego prescripto. Introducción a la ecología y manejo del fuego*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y Universidad Nacional de Santiago del Estero. 3: 17-28.

L

LAMBERTO, S. 1987. *Vegetación natural. En: Evaluación expeditiva del recurso suelo y uso y cobertura de la tierra en el sur de la provincia de Buenos Aires. Informe técnico N° 28*. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Hilario Ascasubi. Bahía Blanca, Argentina

LEAL, Z.; DIAZ, J.; RUIZ, M.; ALONSO, G.; ALMOZA, Y. 2007. *Estimación del efecto de los cultivos y sus manejos en el proceso de erosión de los suelos en la cuenca del río Cuyaguaje*. Serie Monográfica auspiciada por el Programa CYTED, Imprenta UNAH, La Habana, Cuba.

LONGLEY, P.; GOODCHILD, M.; MAGUIRE, D. y RHIND, D. 2010. *Geographic Information Systems and science Paperback*. Disponible:
<https://books.google.com.ar/books?id=zyFR8uxHM9oC&printsec=frontcover&dq=Geographic+Information+Systems+and+science+Paperback> Consulta: 13 agosto 2010

LYLES, L. Y TATARKO, J. 1986. *Wind erosion effects on soil texture and organic matter*. J. Soil Water Conserv, 41: 191-193.

LYLES, L. 1975. *Possible effects of wind erosion on soil productivity*. J. Soil Water Conserv. 30:279-283.

M

MARINO, J. Y ZAFFANELLA. 1988. *Los problemas de uso y manejo de suelos de la región pampeana vistos con enfoques agronómicos*. Publicación Miscelánea N° 35. INTA Estación Experimental Pergamino. Pergamino, Argentina.

MARTINO, D.; METHOL, M.; OLEAGA A.; PIRELLI, H.; RODRIGUEZ, L.; VIDAL, L. 2009. *Cambios en el Uso del Suelo*. Cap. 2. Geo Uruguay. Disponible en: www.ambiental.net/noticias/reportes/GeoUruguayCap02.pdf_ Consulta: 15 enero de 2013

MAS, J.; REYES DÍAZ, J. Y PÉREZ VEGA, A. 2003. *Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o imágenes clasificadas: una revisión*. Investigaciones Científicas, boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Número 51, 53; pp 72. Michoacán, México. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php> Consulta: 15 de noviembre de 2016

MATARAZZO, R. 2003. *Cultivos alternativos no difundidos evaluados en el Valle Bonaerense del Río Colorado*. Boletín divulgativo. Disponible en: <http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-cultivos-alternativos-no-difundidos-en-evaluacio.pdf> Consulta: 7 de marzo de 2014

MORISOLI E., 2007. *Temas Pampeanos. Recursos Hídricos medio ambiente e historia*. Fundación Chadileuvú. Editorial Biblioteca Pampeana. Pág. 43-50.

MORRÁS, H. 2003. *La ciencia del suelo en Argentina evolución y perspectivas*. Ediciones INTA. Instituto de Suelos, Centro de Investigación de Recursos Naturales. Buenos Aires, Argentina.

N

NOBLE, I. 1989. *Attributes of Invaders and the Invading Process: Terrestrial and Vascular Plants*, en J. A. Drake, H. A. Mooney, F. diCastri, R. H. Groves y R. F. Noss (eds.). *Biological Invasions: A Global Perspective* (SCOPE), pp 301-313; Nueva York, Estados Unidos

O

ORTIZ, D. G. 2004. *Introducción a la geología práctica*. Editorial Universitaria Ramón Areces. España

P

PAPADAKIS, J. 1963. *Soils of Argentine*. *Soil Science* 95, 356-366.

PARODI, L. 1945. *Las regiones fitogeográficas argentinas y sus relaciones con la industria forestal*. En: F. Verdoorn (editor), *Plants and plant science in Latin America*, pp: 127-132. The Ronald Press Company, New York, Estados Unidos.

PECORARI, C.; ANDRIULO, A. Y AUSILIO, A. 1993. *Aptitud físico - mecánica de los suelos para el laboreo - II Efectos de la textura y de la materia orgánica sobre la densidad aparente máxima de algunos suelos de la región pampeana Argentina*. Informe técnico N° 281. INTA Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Pergamino, Argentina.

PÉREZ, S.; SIERRA, E.; CASAGRANDE, G. 2003. *Comportamiento de las precipitaciones (1918/2000) en el centro oeste de Buenos Aires (Argentina)*. *Revista de la facultad de agronomía*; volumen 14, N° 1/2, 39-46 pp. Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

PETERSON, G.; UNGER, P. Y PAYNE, W. 2006. *Dryland Agriculture*. 2nd Ed., Monograph 23, pp 426. ASA/CSSA/SSSA, Madison.

PEZZOLA, A. Y WINSCHHEL, C. 2004. *Estudio multitemporal de la degradación del monte nativo en el partido de Patagones – Buenos Aires. Provincia de Buenos Aires 2001/2002.* Lab. de Teledetección y SIG, EEA INTA H. Ascasubi. Buenos Aires, Argentina

PEZZOLA, A.; BECKER, C.; AGAMENNONI, R. Y CEPEDA, J. 2000. *Informe anual de actividades 2000.* Agro Radar. Estación Experimental INTA Hilario Ascasubi. Bs. As. Argentina.

PEZZOLA, A.; WINSCHHEL, C.; IURMAN, D. Y SÁNCHEZ, R. 2002. *El SIG en la Gestión Municipal en el Partido de Villarino. Prov. de Buenos Aires – Argentina.* IX Conferencia Latinoamericana de usuarios de ESRI y ERDAS. México D.F.

PEZZOLA, A.; WINSCHHEL, C. Y SÁNCHEZ, R. 2002. *Evaluación de la superficie afectada por incendios en los partidos de Villarino y Patagones. Provincia de Buenos Aires 2001/2002.* Lab. de Teledetección y SIG - EEA INTA H. Ascasubi. Bs As. Argentina

PEZZOLA, A; WINSCHHEL, C. y SÁNCHEZ, R. 2003. *Organización espacial de los Partidos de Villarino y Patagones.* Lab. de Teledetección y SIG - EEA INTA Hilario Ascasubi. Buenos Aires. Argentina.

PICO, J. 1964. *Degradación por salinidad de las tierras del valle inferior del Río Colorado. Informe técnico N°1.* INTA; Estación Experimental Agropecuaria Hilario Ascasubi. Hilario Ascasubi, Argentina.

PONVERT DELISLES, D. Y LAU QUAN, A. 2013. *Uso de las imágenes de satélites y los SIG en el campo de la Ingeniería Agrícola.* Revista científica Técnicas Agropecuarias, vol.22, n.4, pp. 75-80.

PROGRAMA DE ACCIÓN NACIONAL DE LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACIÓN (PANLCD). 2002. *Alternativas: Experiencias de trabajo conjunto en zonas áridas y semiáridas de Argentina.* Convenio SAyDS – INTA – GTZ. Buenos Aires, Argentina.

PROGRAMA FEDERAL DE APOYO AL DESARROLLO DE LOS TERRITORIOS (PROFEDER). 2009. *Anuario Estadístico Cambio Rural: Campaña 2007/2008*. Ediciones INTA. PROFEDER, Cambio Rural. p 200. Buenos Aires, Argentina.

PROHASKA, F. 1961. *El problema de las sequías en la región semiárida pampeana y la sequía actual*. Revista IDIA, N° 155, 1- 67 pp. Instituto de Suelo y Agrotécnia de INTA. Buenos Aires, Argentina.

PROYECTO: DESARROLLO SUSTENTABLE DE LAS ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS EN ARGENTINA. CONVENIO SAYDS – INTA – GTZ DE APOYO AL PAN. 2006. *8 años juntos en la lucha contra la desertificación y la pobreza*. Ediciones: Erregé y Asociados.

PURICELLI, C. 1992. *La degradación de las tierras en la región pampeana y sus efectos sobre los rendimientos unitarios y la rentabilidad*. Boletín de divulgación N°2, pp 27. INTA EEA Bordenave. Bordenave, Argentina.

PURICELLI, C. Y KRUGER, H. 1984. *Aprendiendo a mirar el suelo*. Boletín de divulgación N°36; pp 27. INTA EEA Bordenave. Bordenave, Argentina.

R

RANDLE, P. 1973. *El parcelamiento de la tierra en la provincia de Buenos Aires*. Serie: Contribuciones Nro 222.

RANDLE, P. 1978. *La conciencia territorial y su déficit en la Argentina actual*. Editorial OIKOS. Buenos Aires, Argentina.

RANDLE, P. 1981. *El paisaje pampeano. Percepción y comportamiento geográficos*. Estudios geográficos pampeanos. Editorial OIKOS. Buenos Aires, Argentina.

ROCCATAGLIATA, J. 1988. *La Argentina: geografía general y los marcos regionales*. Editorial PLANETA. Buenos Aires, Argentina.

ROCCATAGLIATA, J. 1994 *Geografía y políticas territoriales. La ordenación del espacio*. Editorial CEYNE. Buenos Aires, Argentina.

RODRÍGUEZ, G.; PREGO, A.; PROHASKA, F. Y RUGGIERO, R. 1964. *Prevención y lucha contra la erosión eólica*. Miscelánea N° 13; 2000 ejemplares; 16pp. Instituto de Suelo y Agrotécnia, INTA. Buenos Aires, Argentina.

ROSELL, R.; LUQUE, J. Y CARLSON, R. 1964. *Informe sobre el valle inferior del Río Colorado*. Publicaciones del Instituto de Edafología e Hidrología N° 5; 23pp. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.

S

SAGYP (SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA) - CFA (CONSEJO FEDERAL AGROPECUARIO). 1995. *El Deterioro de las tierras en la República Argentina. (Alerta Amarillo)*. p284. Buenos Aires.

SAGYP (SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA)- INTA (INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA). 1990. *Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires, Escala 1:500.000*. Proyecto PNUD ARG 85/019. Buenos Aires, Argentina.

SÁNCHEZ, R. Y PEZZOLA, A. 1999. *Características de suelo y clima que identifican al partido de Patagones, Bs. As. La intervención del hombre como partícipe del proceso de desertificación*. (Documentación interna) EEA INTA Hilario Ascasubi, Argentina.

SÁNCHEZ, R.; PEZZOLA, A. Y CEPEDA, J. 1998. *Caracterización edafoclimática del área de influencia del INTA EEA Hilario Ascasubi. Partidos de Villarino y Patagones, Pcia. de Buenos Aires*. Boletín de divulgación N° 18. EEA Hilario Ascasubi, Bs. As.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. 1947. *Anales hidrológicos: datos pluviométricos*. Serie B; 3ª sección; 1ª parte; N° 1. Secretaria de Aeronáutica. Buenos Aires, Argentina.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. 1958. *Estadísticas climatológicas: 1941-1950*. Publicación B - N° 3. Secretaria de Aeronáutica. Buenos Aires, Argentina.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. 1958. *Estadísticas climatológicas: 1901-1950*. Publicación B - N° 1. Secretaria de Aeronáutica. Buenos Aires, Argentina.

SILBERMAN, R. 1964. *Acción Permanente sobre conservación de suelos y establecimiento y manejo de pasturas*. Edición: INTA Bordenave. 1-32 pp. Bordenave, Argentina.

SILVA, M. 1995. *Desmonte ganaderos. Jornadas de cría en campos de monte*. Convenio IDEVI – INTA. Viedma. Buenos Aires. Argentina

SOIL SURVEY STAFF. 1960. *Soil classification, a comprehensive system, 7th approximation*. 503 p. SCS, USDA, US Printing Office, Washington D. C; Estados Unidos.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (SSSA). 1984. *Glossary of Soil Science terms*. 38 p Madison, Estados Unidos.

STRAHLER, A. N.; STRAHLER, A. H., BARRUTIA, M., y SUNYER, P. 1981. *Geografía física*. Barcelona: Omega. España

T

TOBSTOY, A. 1988. *Caracterización del impacto ambiental en la Colonia San Adolfo partido de Villarino Provincia de Buenos Aires*. Tesis de grado Universidad Nacional Centro de la Provincia de Buenos Aires.

TOLBA, M. 1992. *Salvemos el planeta: problemas y esperanzas*. Capítulo 6: Degradación de la tierra y desertificación; 57-65 pp. Primera edición. Catálogos de la British Library y de la Library of Congress de los Estados Unidos.

TORRE, L. Y DONNARI, Y. 1979. *Informe agroclimático de Argerich, Provincia de Buenos Aires, serie 1951- 1976*. Departamento de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.

TRICART, J., 1973. *Geomorfología de la Pampa Deprimida*. Colección Científica INTA XII. Buenos Aires. 202 pp. USDA, 1938. Soil and Men. Yearbook of Agriculture. U. S. Department of Agriculture, U.S. Government Printing Office. Washington DC. pp 1232.

U

UNCCD. 1994. United Nations Convention to Combat Desertification, Intergovernmental Negotiating Committee For a Convention to Combat Desertification., New York: United Nations.

V

VÁZQUEZ, P.; MASUELLI, S. Y PLATZECK, G. 2006. *Determinación de patrones espectrales para distintos usos del suelo en ambientes heterogéneos*. Publicación técnica 1, Suelos. Ediciones: INTA. EEA Cuenca del Salado Rauch, Buenos Aires, Argentina.

VERGARA, G.; CASAGRANDE, G.; ARMANIZ, J. Y GARCÍA F. 2009. *Las sequías (1921/2009) en tres localidades de la provincia de La Pampa, Argentina*. Revista de la Facultad de Agronomía, volumen N° 20, 3-12 pp; Universidad Nacional de La Pampa. La Pampa, Argentina.

VIGLIZZO, E. 1991. *Seminario juicio a nuestra agricultura. Hacia el desarrollo de una agricultura sostenible*. Anexo I, pág 13-15. Buenos Aires, Argentina.

VILELA A.; BOLKOVIC, M.; CARMAMCHAHI, P.; CONY, M.; DE LAMO, D.; WASSNER, C. 2009. *Past, present and potential uses of native flora and wildlife of the Monte Desert*. Journal of Arid Environments 73, pp: 238–243. journal homepage: www.elsevier.com/locate/jaridenv

Consulta: 19 de Julio 2015

VILLASUSO, N; CECCHI, G; KROFFALY. 2002. *Efecto del pastoreo Sobre el crecimiento de plantas de jarilla*. Revista Argentina de Producción Animal, vol 22, suplemento 1. Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

VILLOTA, BOGOTÁ. 1992. Disponible en:

http://sueloscience.blogspot.com.ar/2013_02_01_archive.html

Consulta: 4 enero de 2014

W

WEBER, T. 1968. *Tendencias de las lluvias en la Argentina en lo que va del siglo*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina.

WISHMEIER, W. Y SMITH, D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning*. Agric. Handbook, Issue 537.

WOODRUFF, N. P. 1965. *Wind-blown soil abrasive injuries to winter wheat plants*. Agron. J. 48: 499-504.

X

XIONG Y.; ZENG GUANG, M.; CHEN GUI, Q.; TANG, L., WANG KE, L.; HUANG DAO, Y. 2007. *Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of eco-environment quality—A case study of Hunan Province, China*. Ecological Modelling, Issue 209, p. 97–109.

Disponible en: <http://www.irantahgig.ir/wp-content/uploads/40018.pdf>

Consulta: 19 de Julio de 2016

ANEXOS

ANEXO 2: Word development indicators: Rural environment and land use



2014
Environment

3.1 World Development Indicators: Rural environment and land use

	Rural population		Rural population growth (annual %)	Land area sq. km thousands	Land use						Arable land	
	% of total				Forest area % of land area		Permanent cropland % of land area		Arable land % of land area		hectares per person	
	2000	2012	2012	2012	2000	2011	2000	2011	2000	2011	2000	2011
	Afghanistan	79	76	2.0	652.2	2.1	2.1	0.1	0.2	11.8	11.9	0.37	0.27
Albania	58	46	-2.0	27.4	28.1	28.3	4.4	2.7	21.1	22.7	0.17	0.20
Algeria	39	26	-1.3	2,381.7	0.7	0.6	0.2	0.4	3.2	3.2	0.24	0.20
American Samoa	11	7	-3.7	0.2	90.3	88.4	11.5	9.5	12.5	15.0	0.04	0.05
Andorra	8	13	4.7	0.5	34.0	34.0	..	..	4.9	5.3	0.04	0.03
Angola	51	40	1.2	1,246.7	47.9	46.8	0.2	0.2	2.4	3.3	0.22	0.20
Antigua and Barbuda	68	70	1.0	0.4	22.7	22.3	2.3	2.3	9.1	9.1	0.05	0.05
Argentina	10	7	-1.1	2,736.7	11.6	10.7	0.4	0.4	10.1	13.9	0.75	0.93
Armenia	35	36	0.0	28.5	10.7	9.1	1.3	1.9	15.8	15.1	0.15	0.15
Aruba	53	53	0.3	0.2	2.2	2.3	..	..	11.1	11.1	0.02	0.02
Australia	13	11	0.3	7,682.3	20.2	19.3	0.0	0.1	6.2	6.2	2.47	2.13
Austria	34	32	-0.4	82.4	46.5	47.2	0.9	0.8	17.0	16.5	0.17	0.16
Azerbaijan	49	46	0.8	82.7	11.3	11.3	2.9	2.7	22.1	22.8	0.23	0.21
Bahamas, The	18	16	0.3	10.0	51.4	51.4	0.4	0.4	0.7	0.9	0.02	0.02
Bahrain	12	11	1.3	0.8	0.6	0.7	4.5	3.9	2.8	1.8	0.00	0.00
Bangladesh	76	71	0.5	130.2	11.3	11.1	3.5	6.9	64.1	58.6	0.06	0.05
Barbados	62	55	-0.4	0.4	19.4	19.4	2.3	2.3	34.9	27.9	0.06	0.04
Belarus	30	25	-1.7	202.9	40.8	42.7	0.6	0.6	30.2	27.2	0.61	0.58
Belgium	3	2	-0.5	30.3	22.0	22.4	0.7	0.7	28.5	27.3	0.08	0.07
Belize	52	55	2.8	22.8	65.3	60.6	1.5	1.4	2.8	3.3	0.27	0.24
Benin	62	54	1.5	112.8	44.9	40.0	2.4	2.7	21.1	22.9	0.34	0.26
Bermuda	0	0	..	0.1	20.0	20.0	..	..	20.0	14.8	0.02	0.01
Bhutan	75	64	0.5	38.4	78.4	84.9	0.5	0.5	2.6	2.5	0.19	0.13
Bolivia	38	33	0.4	1,083.3	55.5	52.5	0.2	0.2	2.8	3.5	0.35	0.37
Bosnia and Herzegovina	57	51	-1.2	51.0	42.8	42.8	2.0	2.0	19.6	19.7	0.26	0.26
Botswana	47	38	-0.8	566.7	22.1	19.8	0.0	0.0	0.6	0.5	0.20	0.13
Brazil	19	15	-0.9	8,459.4	64.5	61.2	0.9	0.8	6.8	8.5	0.33	0.37
Brunei Darussalam	29	24	-0.1	5.3	75.3	71.8	0.8	0.9	0.4	0.6	0.01	0.01
Bulgaria	31	26	-2.7	108.6	30.5	36.7	2.3	1.5	31.9	29.9	0.43	0.44
Burkina Faso	82	73	1.7	273.6	22.8	20.4	0.2	0.2	13.5	20.8	0.32	0.36
Burundi	92	89	2.9	25.7	7.7	6.6	14.0	15.6	37.4	35.8	0.14	0.10
Cabo Verde	47	37	-1.2	4.0	20.4	21.0	0.5	0.7	10.9	11.7	0.10	0.10
Cambodia	81	80	1.5	176.5	65.4	56.5	0.8	0.9	21.0	22.7	0.30	0.27
Cameroon	54	47	1.3	472.7	46.8	41.7	2.5	3.0	12.6	13.1	0.37	0.29
Canada	21	19	0.6	9,093.5	34.1	34.1	0.7	0.5	5.0	4.7	1.49	1.25
Cayman Islands	0	0	..	0.2	51.7	52.9	2.1	2.1	0.8	0.8	0.00	0.00
Central African Republic	62	61	1.6	623.0	36.8	36.2	0.2	0.1	3.1	2.9	0.53	0.41
Chad	78	78	2.9	1,259.2	9.8	9.1	0.0	0.0	2.9	3.9	0.43	0.41
Channel Islands	70	69	0.3	0.2	4.1	4.2	..	..	20.1	22.9	0.03	0.03
Chile	14	11	-1.0	743.5	21.3	21.9	0.5	0.6	2.4	1.8	0.11	0.08
China	64	48	-2.1	9,327.5	19.0	22.5	1.2	1.6	13.0	12.0	0.10	0.08
Hong Kong SAR, China	0	0	..	1.0	..	..	..	..	..	..	..	..
Macao SAR, China	0	0	..	0.0	..	..	..	..	..	..	..	..
Colombia	28	24	0.2	1,109.5	55.4	54.4	1.6	1.7	2.5	1.9	0.07	0.04
Comoros	72	72	2.3	1.9	4.3	1.4	26.9	31.2	43.0	44.1	0.15	0.12
Congo, Dem. Rep.	71	65	1.9	2,267.1	69.4	67.9	0.4	0.3	3.0	3.0	0.14	0.11
Congo, Rep.	41	36	1.4	341.5	66.1	65.6	0.1	0.2	1.4	1.5	0.16	0.12
Costa Rica	41	35	0.1	51.1	46.5	51.5	5.5	6.5	4.1	4.9	0.05	0.05
Cote d'Ivoire	56	48	0.8	318.0	32.5	32.7	11.9	13.8	8.8	9.1	0.17	0.15
Croatia	44	42	-1.0	56.0	33.7	34.4	1.2	1.5	15.1	16.0	0.19	0.21
Cuba	24	25	0.0	106.4	22.7	27.3	5.1	3.7	32.6	33.4	0.31	0.31
Curacao	..	..	..	0.4	..	..	..	..	..	..	..	..
Cyprus	31	29	0.4	9.2	18.6	18.8	4.5	3.5	10.6	9.1	0.10	0.08
Czech Republic	26	27	0.2	77.2	34.1	34.4	1.0	1.0	42.0	41.0	0.32	0.30
Denmark	15	13	-0.7	42.4	11.5	12.9	0.2	0.1	53.8	58.9	0.43	0.45
Djibouti	23	23	1.2	23.2	0.2	0.2	..	..	0.0	0.1	0.00	0.00
Dominica	33	33	0.0	0.8	63.1	59.2	18.7	24.0	6.7	8.0	0.07	0.08



2014

Environment

3.1 World Development Indicators: Rural environment and land use

	Rural population		Rural population growth (annual %)	Land area sq. km thousands	Land use						Arable land	
	% of total				2012	Forest area % of land area		Permanent cropland % of land area		Arable land % of land area		hectares per person
	2000	2012	2000	2011		2000	2011	2000	2011	2000	2011	
Dominican Republic	38	30	-0.6	48.3	40.8	40.8	9.3	9.3	18.0	16.6	0.10	0.08
Ecuador	40	32	-0.1	248.4	47.7	38.9	5.5	5.6	6.5	4.7	0.13	0.08
Egypt, Arab Rep.	57	56	1.4	995.5	0.1	0.1	0.5	0.8	2.8	2.9	0.04	0.04
El Salvador	41	35	-0.7	20.7	16.0	13.6	12.1	11.1	31.4	32.1	0.11	0.11
Equatorial Guinea	61	60	2.5	28.1	62.1	57.5	3.6	2.5	4.6	4.6	0.25	0.18
Eritrea	82	78	2.7	101.0	15.6	15.1	0.0	0.0	5.5	6.8	0.14	0.12
Estonia	31	30	-0.6	42.4	52.9	52.1	0.3	0.1	19.9	14.9	0.61	0.47
Ethiopia	85	83	2.3	1,000.0	13.7	12.2	0.7	1.1	10.0	14.6	0.15	0.16
Faeroe Islands	64	59	-0.5	1.4	0.1	0.1	...	...	2.1	2.1	0.06	0.06
Fiji	52	47	0.0	18.3	53.7	55.7	4.5	4.7	9.3	9.2	0.21	0.19
Finland	18	16	-0.3	303.9	73.7	72.9	0.0	0.0	7.2	7.4	0.42	0.42
France	23	14	-3.2	547.7	28.0	29.2	2.1	1.9	33.7	33.5	0.30	0.28
French Polynesia	48	49	1.0	3.7	28.7	43.7	5.5	6.3	0.8	0.7	0.01	0.01
Gabon	20	14	0.1	257.7	85.4	85.4	0.7	0.7	1.3	1.3	0.27	0.20
Gambia, The	51	42	1.9	10.1	45.6	47.6	0.5	0.5	27.7	44.5	0.23	0.26
Georgia	47	47	-0.1	69.5	39.8	39.4	3.9	1.7	11.4	6.0	0.18	0.09
Germany	27	26	-2.2	348.6	31.7	31.8	0.6	0.6	33.8	34.1	0.14	0.15
Ghana	56	47	0.8	227.5	26.8	21.2	9.4	12.3	17.4	21.1	0.21	0.19
Greece	40	38	-0.9	128.9	27.9	30.5	8.6	8.9	21.3	19.4	0.25	0.22
Greenland	18	15	-2.0	410.5	0.0	0.0	...	...	0.0	0.0	0.01	0.02
Grenada	64	61	-0.2	0.3	50.0	50.0	29.4	20.6	2.9	8.8	0.01	0.03
Guam	7	7	0.7	0.5	47.9	47.9	18.5	16.7	3.7	1.9	0.01	0.01
Guatemala	55	50	1.6	107.2	39.3	33.6	5.3	8.8	13.0	14.0	0.12	0.10
Guinea	69	64	1.8	245.7	28.1	26.5	2.6	2.8	8.7	11.6	0.25	0.26
Guinea-Bissau	64	55	1.2	28.1	75.4	71.6	8.8	8.9	10.7	10.7	0.24	0.18
Guyana	71	72	0.4	196.9	77.2	77.2	0.1	0.1	2.3	2.1	0.60	0.53
Haiti	64	45	-1.5	27.6	4.0	3.6	10.9	10.2	32.7	36.3	0.10	0.10
Honduras	55	47	0.8	111.9	57.1	45.3	3.2	3.9	9.5	9.1	0.17	0.13
Hungary	35	30	-2.1	90.5	21.3	22.5	2.2	2.0	51.4	48.5	0.45	0.44
Iceland	8	6	-1.2	100.3	0.2	0.3	...	...	1.3	1.2	0.46	0.39
India	72	68	0.7	2,973.2	22.0	23.1	3.1	4.1	54.7	52.9	0.16	0.13
Indonesia	58	49	-0.3	1,811.6	54.9	51.7	7.7	11.0	11.3	13.0	0.10	0.10
Iran, Islamic Rep.	36	31	0.8	1,628.6	6.8	6.8	0.8	1.2	9.2	10.8	0.23	0.23
Iraq	32	34	2.6	434.3	1.9	1.9	0.5	0.5	9.4	9.2	0.17	0.13
Ireland	41	37	-0.6	68.9	9.2	10.9	0.0	0.0	15.6	15.4	0.28	0.23
Isle of Man	48	49	0.8	0.6	6.1	6.1	...	...	31.8	43.9	0.24	0.30
Israel	9	8	1.1	21.6	7.1	7.1	4.0	3.8	15.6	14.0	0.05	0.04
Italy	33	31	-2.5	294.1	28.5	31.4	9.5	8.6	28.8	23.1	0.15	0.11
Jamaica	48	48	0.1	10.8	31.5	31.1	10.2	9.2	12.9	11.1	0.05	0.04
Japan	21	8	-7.1	364.5	68.2	68.6	1.0	0.8	12.3	11.7	0.04	0.03
Jordan	20	17	0.8	88.8	1.1	1.1	1.0	1.0	2.2	2.0	0.04	0.03
Kazakhstan	44	46	1.6	2,699.7	1.2	1.2	0.1	0.0	8.0	8.9	1.45	1.45
Kenya	80	76	2.2	569.1	6.3	6.1	0.8	1.1	8.6	9.7	0.16	0.13
Kiribati	57	56	1.3	0.8	15.0	15.0	39.5	39.5	2.5	2.5	0.02	0.02
Korea, Dem. Rep.	41	40	0.2	120.4	57.6	46.0	1.7	1.7	19.1	19.1	0.10	0.09
Korea, Rep.	20	17	-1.2	97.1	63.7	64.0	2.0	2.1	17.4	15.4	0.04	0.03
Kosovo	...	...	...	10.9	...	...	...	...	...	...	...	...
Kuwait	2	2	3.2	17.8	0.3	0.4	0.1	0.3	0.6	0.6	0.01	0.00
Kyrgyz Republic	65	65	1.5	191.8	4.5	5.1	0.3	0.4	7.1	6.7	0.28	0.23
Lao PDR	78	65	0.2	230.8	71.6	67.9	0.4	0.4	3.8	6.1	0.16	0.21
Latvia	32	32	-1.2	62.2	52.1	54.1	0.2	0.1	15.6	18.6	0.41	0.56
Lebanon	14	13	0.1	10.2	12.8	13.4	13.8	12.3	12.6	10.9	0.04	0.03
Lesotho	80	72	0.1	30.4	1.4	1.5	0.1	0.1	10.9	10.1	0.18	0.15
Liberia	56	51	1.9	96.3	48.1	44.6	2.2	1.9	3.9	4.7	0.13	0.11
Libya	24	22	0.1	1,759.5	0.1	0.1	0.2	0.2	1.0	1.0	0.35	0.29
Liechtenstein	85	86	0.8	0.2	43.1	43.1	...	...	25.0	21.9	0.12	0.10
Lithuania	33	33	-1.7	62.7	32.2	34.6	0.7	0.5	45.9	34.9	0.82	0.72
Luxembourg	16	14	0.8	2.6	33.5	33.5	0.4	0.6	23.9	23.9	0.14	0.12
Macedonia, FYR	41	41	-0.2	25.2	37.7	39.8	1.7	1.4	21.8	16.4	0.27	0.20



2014
Environment

3.1 World Development Indicators: Rural environment and land use

	Rural population		Rural population growth (annual %)	Land area sq. km thousands	Land use						Arable land	
	% of total				Forest area % of land area		Permanent cropland % of land area		Arable land % of land area		hectares per person	
	2000	2012	2012	2000	2011	2000	2011	2000	2011	2000	2011	
Madagascar	73	67	1.8	581.5	22.6	21.5	1.0	1.0	5.0	6.0	0.18	0.16
Malawi	85	84	2.7	94.3	37.8	34.0	1.3	1.4	29.2	38.2	0.24	0.23
Malaysia	38	27	-0.9	328.6	65.7	62.0	17.6	17.6	5.5	5.5	0.08	0.06
Maldives	72	58	0.0	0.3	3.0	3.0	16.7	10.0	10.0	10.0	0.01	0.01
Mal	72	64	2.0	1,220.2	10.9	10.2	0.1	0.1	3.8	5.6	0.45	0.48
Malta	8	5	-2.2	0.3	0.9	0.9	3.1	4.1	25.0	28.1	0.02	0.02
Marshall Islands	32	28	-1.0	0.2	70.2	70.2	44.4	44.4	5.6	11.1	0.02	0.04
Mauritania	60	58	2.0	1,030.7	0.3	0.2	0.0	0.0	0.5	0.4	0.18	0.12
Mauritius	57	58	0.4	2.0	19.1	17.3	2.0	2.0	44.3	38.4	0.08	0.06
Mexico	25	22	-0.1	1,944.0	34.3	33.3	1.2	1.4	12.9	13.1	0.24	0.21
Micronesia, Fed. Sts.	78	77	-0.2	0.7	91.2	91.7	24.3	24.3	3.6	2.9	0.02	0.02
Moldova	55	52	-1.4	32.9	9.9	11.9	10.2	9.0	55.6	55.1	0.50	0.51
Monaco	0	0	..	0.0	0.0	0.0	..	..	..	..	..	..
Mongolia	43	31	-1.3	1,553.6	7.5	7.0	0.0	0.0	0.8	0.4	0.49	0.22
Montenegro	41	37	-0.5	13.5	40.4	40.4	..	1.2	..	12.8	..	0.28
Morocco	47	43	0.6	446.3	11.2	11.5	2.0	2.6	19.6	17.8	0.31	0.25
Mozambique	71	69	2.1	786.4	52.4	49.4	0.3	0.3	5.0	6.6	0.21	0.21
Myanmar	73	67	0.0	653.3	53.4	48.2	0.9	2.2	15.2	16.5	0.20	0.21
Namibia	68	61	0.9	823.3	9.8	8.8	0.0	0.0	1.0	1.0	0.43	0.36
Nepal	87	83	0.8	143.4	27.2	25.4	0.7	0.8	16.4	16.4	0.10	0.09
Netherlands	23	16	-1.9	33.7	10.7	10.8	1.0	1.1	27.0	30.9	0.06	0.06
New Caledonia	38	38	2.0	18.3	45.9	45.9	0.2	0.3	0.3	0.4	0.03	0.03
New Zealand	14	14	0.3	263.3	31.4	31.4	0.2	0.3	5.7	1.8	0.39	0.11
Nicaragua	45	42	0.7	120.3	31.7	25.3	1.9	1.9	15.9	15.8	0.38	0.32
Niger	84	82	3.5	1,266.7	1.0	0.9	0.0	0.0	11.0	11.8	1.27	0.90
Nigeria	58	50	1.6	910.8	14.4	9.5	2.9	3.5	32.9	39.5	0.24	0.22
Northern Mariana Islands	10	8	-1.2	0.5	69.5	65.5	2.2	2.2	2.2	2.2	0.01	0.02
Norway	24	20	0.0	304.3	30.6	33.3	0.0	0.0	2.9	2.7	0.20	0.16
Oman	28	26	8.2	309.5	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.01	0.01
Pakistan	67	63	1.2	770.9	2.7	2.1	0.9	1.1	27.6	26.9	0.15	0.12
Palau	30	15	-4.1	0.5	86.1	87.6	4.3	4.3	2.2	2.2	0.05	0.05
Panama	34	24	-0.7	74.3	45.3	43.6	2.0	2.5	7.4	7.3	0.18	0.14
Papua New Guinea	87	87	2.1	452.9	66.5	63.1	1.4	1.5	0.5	0.7	0.04	0.04
Paraguay	45	38	0.3	397.3	48.7	43.8	0.2	0.2	7.6	9.8	0.56	0.59
Peru	27	22	-0.2	1,280.0	54.1	53.0	0.5	0.7	2.9	2.9	0.14	0.12
Philippines	52	51	1.3	298.2	23.9	25.9	15.6	17.4	16.9	18.1	0.06	0.06
Poland	38	39	0.1	304.2	29.8	30.8	1.1	1.3	46.0	36.5	0.36	0.29
Portugal	46	38	-1.8	91.5	37.4	37.8	8.4	7.8	17.8	12.0	0.16	0.10
Puerto Rico	5	1	-9.3	8.9	52.3	63.2	4.7	4.5	6.7	6.8	0.02	0.02
Qatar	4	1	-3.0	11.6	0.0	0.0	0.3	0.2	1.1	1.2	0.02	0.01
Romania	47	47	-0.4	230.2	27.7	28.7	2.3	1.9	40.8	39.1	0.42	0.45
Russian Federation	27	26	-0.3	16,376.9	49.4	49.4	0.1	0.1	7.6	7.4	0.85	0.85
Rwanda	86	81	2.4	24.7	13.9	18.0	10.1	10.1	36.5	49.5	0.11	0.11
Samoa	78	80	1.0	2.8	60.4	60.4	11.0	7.8	4.9	2.8	0.08	0.04
San Marino	7	6	0.2	0.1	0.0	0.0	..	..	16.7	16.7	0.04	0.03
Sao Tome and Principe	47	37	0.9	1.0	28.1	28.1	43.8	40.6	6.3	9.1	0.04	0.05
Saudi Arabia	20	18	0.7	2,149.7	0.5	0.5	0.1	0.1	1.7	1.4	0.18	0.11
Senegal	60	57	2.4	192.5	46.2	43.8	0.3	0.3	15.8	20.0	0.31	0.29
Serbia	47	43	-1.3	87.5	28.1	31.6	..	3.4	..	37.7	..	0.45
Seychelles	50	46	0.1	0.5	88.5	88.5	6.5	4.3	2.2	2.2	0.01	0.01
Sierra Leone	64	60	1.3	71.6	40.8	37.8	1.7	1.9	6.8	15.4	0.12	0.19
Singapore	0	0	..	0.7	3.4	3.3	0.3	0.1	1.5	0.9	0.00	0.00
Sint Maarten (Dutch part)	..	..	..	0.0	..	..	..	..	..	..	..	..
Slovak Republic	44	45	0.3	48.1	39.9	40.2	1.0	0.4	31.8	28.9	0.28	0.26
Slovenia	49	50	0.3	20.1	61.2	62.3	1.5	1.3	8.6	8.4	0.09	0.08
Solomon Islands	84	79	1.6	28.0	81.0	78.9	2.0	2.3	0.5	0.6	0.03	0.03
Somalia	67	62	2.1	627.3	12.0	10.6	0.0	0.0	1.7	1.8	0.14	0.11
South Africa	43	38	0.2	1,213.1	7.6	7.6	0.3	0.3	11.4	9.9	0.31	0.23
South Sudan	83	82	4.1	..	..	..	..	..	..	..	..	..



2014

Environment

3.1 World Development Indicators: Rural environment and land use

	Rural population		Rural population growth (annual %)	Land area sq. km thousands	Land use						Arable land	
	% of total				Forest area % of land area		Permanent cropland % of land area		Arable land % of land area		hectares per person	
	2000	2012	2012	2012	2000	2011	2000	2011	2000	2011	2000	2011
Spain	24	22	-0.6	498.8	34.0	36.8	9.8	9.4	26.9	25.1	0.33	0.27
Sri Lanka	84	85	-2.7	62.7	33.2	29.4	15.9	15.6	14.6	19.1	0.05	0.06
St. Kitts and Nevis	67	68	1.0	0.3	42.3	42.3	1.9	0.4	26.9	19.2	0.15	0.09
St. Lucia	72	83	1.7	0.6	76.6	77.0	19.7	11.5	3.3	4.9	0.01	0.02
St. Martin (French part)	--	--	--	0.1	--	--	--	--	--	--	--	--
St. Vincent and the Grenadines	55	50	-0.8	0.4	66.7	68.7	7.7	7.7	12.8	12.8	0.05	0.05
Sudan	68	67	1.8	2,376.0	29.7	23.2	0.0	0.1	6.8	7.2	0.47	0.36
Suriname	35	30	-0.4	156.0	94.7	94.6	0.1	0.0	0.4	0.4	0.12	0.11
Swaziland	77	79	1.6	17.2	30.1	33.0	0.8	0.9	10.3	10.2	0.17	0.14
Sweden	16	15	-0.3	410.3	66.7	68.7	0.0	0.0	6.6	6.4	0.30	0.28
Switzerland	27	26	0.8	40.0	29.9	31.1	0.6	0.6	10.3	10.1	0.06	0.05
Syrian Arab Republic	48	44	1.1	183.6	2.4	2.7	4.4	5.7	24.7	25.1	0.28	0.21
Tajikistan	74	73	2.4	140.0	2.9	2.9	0.7	0.9	5.6	6.1	0.13	0.11
Tanzania	78	73	2.4	885.8	42.3	37.3	1.6	1.9	9.7	13.1	0.25	0.25
Thailand	69	66	-0.3	510.9	37.2	37.2	6.6	8.8	30.6	30.8	0.25	0.24
Timor-Leste	76	71	2.3	14.9	57.4	49.1	4.5	4.0	8.1	10.1	0.14	0.13
Togo	67	61	1.8	54.4	8.9	4.9	2.4	3.9	46.0	46.1	0.51	0.39
Tonga	77	76	0.2	0.7	12.5	12.5	15.3	15.3	20.8	22.2	0.15	0.15
Trinidad and Tobago	89	86	0.0	5.1	45.5	44.0	4.9	4.3	6.8	4.9	0.03	0.02
Tunisia	37	33	0.3	155.4	5.4	6.6	13.7	15.4	18.4	18.3	0.30	0.27
Turkey	35	28	-2.0	769.6	13.2	14.9	3.3	4.0	31.0	26.7	0.38	0.28
Turkmenistan	54	51	0.6	469.9	8.8	8.8	0.1	0.1	3.4	4.0	0.36	0.37
Turks and Caicos Islands	15	6	-4.5	1.0	36.2	36.2	--	--	1.1	1.1	0.05	0.03
Tuvalu	54	49	-0.7	0.0	33.3	33.3	66.7	60.0	--	--	--	--
Uganda	88	84	2.9	199.8	19.4	14.5	10.5	11.0	26.5	33.8	0.22	0.19
Ukraine	33	31	-0.9	579.3	16.4	16.8	1.6	1.5	56.2	56.1	0.66	0.71
United Arab Emirates	20	15	1.2	83.6	3.7	3.8	2.2	0.5	0.7	0.6	0.02	0.01
United Kingdom	21	20	-0.1	241.9	11.5	11.9	0.2	0.2	24.3	25.1	0.10	0.10
United States	21	17	-0.6	9,147.4	32.8	33.3	0.3	0.3	19.1	17.5	0.62	0.51
Uruguay	9	7	-0.9	175.0	8.1	10.2	0.2	0.2	7.8	10.3	0.41	0.53
Uzbekistan	63	64	1.4	425.4	7.6	7.7	0.8	0.8	10.5	10.1	0.18	0.15
Vanuatu	78	75	1.8	12.2	36.1	36.1	9.3	10.3	1.6	1.6	0.11	0.08
Venezuela, RB	10	6	-1.5	882.1	55.7	52.1	0.9	0.7	2.9	2.9	0.11	0.09
Vietnam	76	68	0.1	310.1	37.7	45.0	6.2	11.9	19.9	21.0	0.08	0.07
Virgin Islands (U.S.)	7	4	-3.7	0.4	62.6	57.4	2.9	2.9	5.7	2.9	0.02	0.01
West Bank and Gaza	28	25	2.2	6.0	1.5	1.5	19.9	11.0	16.9	7.4	0.03	0.01
Yemen, Rep.	74	67	1.5	528.0	1.0	1.0	0.2	0.6	2.9	2.2	0.09	0.05
Zambia	65	60	2.5	743.4	68.8	66.3	0.0	0.0	3.8	4.6	0.28	0.25
Zimbabwe	66	61	1.9	386.9	48.8	39.5	0.3	0.3	9.3	10.6	0.29	0.31
World	53	47	0.1	129,710.4	31.4	30.9	1.0	1.2	10.6	10.8	0.23	0.20
Low income	76	72	1.7	15,048.4	29.4	27.4	0.7	0.9	8.4	9.8	0.20	0.18
Middle income	58	50	-0.1	63,339.9	29.1	28.4	1.5	1.9	11.8	12.2	0.18	0.16
Lower middle income	66	61	0.7	20,593.8	28.7	26.9	2.4	3.1	17.2	17.6	0.17	0.15
Upper middle income	51	39	-1.5	42,746.0	29.3	29.1	1.1	1.3	9.1	9.5	0.18	0.17
Low & middle income	61	54	0.2	78,388.3	29.2	28.2	1.4	1.7	11.1	11.7	0.18	0.16
East Asia & Pacific	63	50	-1.3	15,853.4	28.5	29.7	2.7	3.6	11.9	11.6	0.10	0.09
Europe & Central Asia	42	40	-0.2	6,336.8	9.9	10.5	1.0	1.1	18.8	18.6	0.47	0.44
Latin America & Caribbean	25	21	-0.2	19,197.0	50.7	48.1	1.0	1.0	7.2	8.6	0.28	0.29
Middle East & North Africa	44	40	1.1	8,641.1	2.4	2.4	0.8	1.1	5.7	5.9	0.18	0.15
South Asia	73	69	0.7	4,771.2	16.6	17.1	2.4	3.2	42.6	41.3	0.15	0.12
Sub-Saharan Africa	68	63	2.0	23,588.8	29.6	27.4	0.9	1.0	7.3	8.6	0.26	0.23
High income	24	20	-1.0	51,322.1	34.9	35.0	0.5	0.4	9.9	9.3	0.43	0.38



2014

Environment

3.1 World Development Indicators: Rural environment and land use

	Rural population		Rural population growth (annual %)	Land area	Land use						Arable land	
	% of total		2012	sq. km thousands	Forest area		Permanent cropland		Arable land		hectares per person	
	2000	2012			% of land area	% of land area	% of land area	% of land area	2000	2011		
Euro area	28	24	-1.8	2,613.7	36.6	37.8	4.3	4.0	25.5	24.2	0.21	0.19

Most Recent Value (MRV) if data for the specified year or full period are not available; or growth rate is calculated for less than the full period.

About the Data

Rural population (% of total population)

Long definition

Rural population refers to people living in rural areas as defined by national statistical offices. It is calculated as the difference between total population and urban population.

Source

World Bank Staff estimates based on United Nations, World Urbanization Prospects.

Rural population growth (annual %)

Long definition

Rural population refers to people living in rural areas as defined by national statistical offices. It is calculated as the difference between total population and urban population.

Source

World Bank Staff estimates based on United Nations, World Urbanization Prospects.

Land area (sq. km)

Long definition

Land area is a country's total area, excluding area under inland water bodies, national claims to continental shelf, and exclusive economic zones. In most cases the definition of inland water bodies includes major rivers and lakes.

Source

Food and Agriculture Organization, electronic files and web site.

Forest area (% of land area)

Long definition

Forest area is land under natural or planted stands of trees of at least 5 meters in situ, whether productive or not, and excludes tree stands in agricultural production systems (for example, in fruit plantations and agroforestry systems) and trees in urban parks and gardens.

Source

Food and Agriculture Organization, electronic files and web site.

Arable land (hectares per person)

Long definition

Arable land (hectares per person) includes land defined by the FAO as land under temporary crops (double-cropped areas are counted once), temporary meadows for mowing or for pasture, land under market or kitchen gardens, and land temporarily fallow. Land abandoned as a result of shifting cultivation is excluded.

Source

Food and Agriculture Organization, electronic files and web site.

Please see the online table at <http://wdi.worldbank.org/table/3.1> for observation-level metadata, which can be downloaded in Excel.

Anexo 3: Características de los Satélites Landsat y sus distintos sensores

Satélite	Lanzamiento (fin servicio)	Altitud (km)	Periodicidad (días)	Sensor	Banda: intervalo espectral (µm)	Resolución espacial (m)
Landsat 1	23/07/72 06/01/78	917	18	RBV	(1) 0.48 0.57 (2) 0.58 0.68 (3) 0.70 0.83	80 80 80
				MSS	(4) 0.5 0.6 (5) 0.6 0.7 (6) 0.7 0.8 (7) 0.8 1.1	79 79 79 79
Landsat 2	22/01/75 25/02/82	917	18	Idéntico al Landsat 1		
Landsat 3	05/03/78 31/03/83	917	18	RBV	(1) 0.5 0.75	40
				MSS	(4) 0.5 0.6 (5) 0.6 0.7 (6) 0.7 0.8 (7) 0.8 1.1 (8) 10.4 12.6	79 79 79 79 240
Landsat 4	16/07/82 (83)	705	16	MSS	(4) 0.5 0.6 (5) 0.6 0.7 (6) 0.7 0.8 (7) 0.8 1.1	82 82 82 82
				TM	(1) 0.45 0.52 (2) 0.52 0.60 (3) 0.63 0.69 (4) 0.76 0.9 (5) 1.55 1.75 (6) 10.4 12.5 (7) 2.08 2.35	30 30 30 30 30 120 30
Landsat 5				Idéntico al Landsat 4		
Landsat 6	05/10/93 05/10/93	705	16	Fallos en el sistema		
Landsat 7	15/04/99	705	16	ETM+	(1) 0.45 0.52	30
					(2) 0.53 0.61	30
					(3) 0.63 0.69	30
					(4) 0.78 0.9	30
					(5) 1.55 1.75	30
					(6) 10.4 12.5	120
					(7) 2.09 2.35	30
					PAN 0.5 0.90	15

Fuente: <http://kimerius.com/app/download/5784863998/LANDSAT.pdf>.

Anexo 4: Clasificación de la Cobertura del Suelo de la R. A. Land Cover Classification System – FAO. VERSIÓN agosto 2008 Octubre Mendoza (COMPLETA)

Clasificación de la Cobertura del Suelo de la R. A.
Land Cover Classification System – FAO
VERSIÓN agosto 2008 Octubre Mendoza (COMPLETA)

CLASIFICACION

1 ÁREAS TERRESTRES CULTIVADAS Y/O MANEJADAS. . A11.

1.1 Cultivo de especies arbóreas. A1.

1.1.1 Cultivos de árboles en secano. .

1.1.1.1 Latifoliados. *Ej.: Eucalipto, Álamo, Sauce, , cítrus, frutales de carozo a secano.*

1.1.1.2 Coníferas. *Ej.: Pino, Ciprés, Araucaria.*

1.1.2 Cultivos de árboles bajo riego.. *Ej.: palto, olivo, citrus, frutales de carozo.*

1.2 Cultivos de arbustos.

1.2.1 Cultivos de arbustos en secano. *Ej.: vid, café, té, algodón, frutas finas (berries).*

1.2.2 Cultivos de arbustos bajo riego.). *Ej.: vid, frutas finas (berries).*

1.3 Cultivos de herbáceas.

1.3.1 Cultivo de “graminoideas”.

1.3.1.1 Cultivo único.

1.3.1.1.1 En secano. *Rainfed graminoid crop(s).Ej.: Caña de azúcar, pasturas megatérmicas, maíz, trigo, avena, cebada sorgo, sorgo forrajero, pasto llorón, etc..*

1.3.1.1.2 **Bajo riego.** Irrigated graminoid crop(s). *Ej.: avena, cebada, centeno, trigo, caña de azúcar, arroz.*

1.3.1.2 Cultivos múltiples.

1.3.1.2.1 En seco. *Ej.: maíz - trigo. trigo etc.*

1.3.1.2.2 Bajo riego.. *Ej.: cultivo dominante: maíz, cultivo secundario: trigo; cultivo dominante: arroz, cultivo secundario: trigo o pasturas,*

1.3.2 Cultivos “no graminoides”..

1.3.2.1 Cultivo único..

1.3.2.1.1 En seco. *Ej.: tabaco, soja, mandioca, citronela, (Cymbopogon nardos), girasol, poroto (Phaseolus spp.), alfalfa, horticolas*

1.3.2.1.2 Con riego..*Ej.: hortícolas, tabaco, alfalfa, etc.*

1.3.2.2 Cultivos múltiples. .

1.3.2.2.1 En seco. *Ej.: sojatrigo, Cultivo dominante: poroto; cultivo secundario:-cártamo, soja-(dominante)-girasol, algodón-t(dominante)-rigo, soja-cártamo, soja-forrajeras.*

1.3.2.2.2 Bajo riego. *Ej.: Sistemas hortícolas y aromáticas con diferentes combinaciones de cultivos simultáneos o secuenciados. Cebolla-alfalfa.*

1.4 Áreas urbanas vegetadas. Vegetated Urban Area(s), (A6).

2 ÁREAS NATURALES Y SEMI-NATURALES DE VEGETACIÓN PREDOMINANTEMENTE TERRESTRE.

2.1 Árboles.

2.1.1 Bosques cerrados.

2.1.1.1 Un estrato arbóreo.

2.1.1.1.1 Sin arbustos. Ej: Cañaveral , típicos en zonas centro-norte de Misiones. Bosque de aliso (*Tessaria integrifolia*) de río o alisal. Bosque de Sauces. Bosque de algarrobo blanco, Tipa colorada, Palo blanco. Bosque Montano de Quenoa; Bosque de lenga; vinalares.

2.1.1.1.2 Con arbustos. Ej: Bosques de Aliso(*Alnus jorulliensis*), Bosques de Pino del Cerro, Palmares de Caranday; Bosque de Quebracho Colorado y Blanco; Bosque de *Sauce*, *Bosque de caldén*, etc.

2.1.1.2 Más de un estrato arbóreo. Multi-layered forest *Estrato principal arbóreo denso (cobertura mayor a un 65%), con un segundo estrato de árboles de menor altura denso a abierto.*

2.1.1.2.1 Sin emergentes. Multi-layered trees, (A3A10B2XXXXXXF2F5F7G2). Ej: Selva Montana, Quebrachal de Colorado y Blanco, Bosque isla higrófilo.

2.1.1.2.2 Con emergentes. Ej: Selva Paranaense; Selva marginal ribereña de los ríos Paraná y Uruguay y de sus principales afluentes. **Selva pedemontana; Bosque ribereño**

2.1.2 Bosques abiertos.

2.1.2.1 Con arbustos. Ej: Bosque de Urunday, Bosque de Quebracho colorado, Bosque de Ñandubay, Bosque de Algarrobo y Churqui; Bosque de Caldén etc.

2.1.2.2 Con estrato herbáceo. Ej: Chañaral, Bosque de ñire, Palmar de Butia yatay, Palmar de Caranday, etc.

2.1.2.3 Con arbustos y emergentes Ej: Bosque Xerohalófilo de *Prosopis nigra*, *Aspidosperma quebracho-blanco* y *Copernicia australis* (Caranday); Bosque Mesoxerófilo; Bosque de chañar, etc.

2.1.3 Árboles dispersos. Ej: Algarrobo y Palo Santo en peladares., etc.

2.2 Arbustos.

2.2.1 Arbustal cerrado.

2.2.1.1 Sin emergentes. Ej: Matorral de lenga; Jarillal, etc.

2.2.1.2 Con árboles emergentes. Ej: Matorral de duraznillo con Quebracho blanco, Horco Quebracho, CCebil y MMolle, etc.

2.2.1.3 Con arbustos emergentes. Ej: Arbustal de brea, Espinillo, Jarilla, etc.

2.2.2 Arbustal abierto..

2.2.2.1 Sin estrato herbáceo.

2.2.2.1.1 Sin emergentes. Ej: Estepa arbustiva de neneo

2.2.2.1.2 Con emergentes

2.2.2.1.2.1 Con árboles emergentes. Ej: Jarilla con emergentes de Chañar.

2.2.2.1.2.2 Con arbustos emergentes. Ej: Estepa arbustiva de tola con cardones.

2.2.2.2 Con estrato herbáceo de cobertura cerrada a abierta.

2.2.2.2.1 Sin emergentes Ej: Estepa arbustiva gramínea de neneo y coirón; Jarillal con estrato herbáceo; estepa arbustiva de tolilla y esporal, etc.

2.2.2.2.2 Con emergentes

2.2.2.2.2.1 Con árboles emergentes. Ej: Estepa arbustiva gramínea de jarilla y Stipas con algarrobo.

2.2.2.2.2.2 Con arbustos emergentes. Ej: Estepa arbustiva gramínea de neneo y coirones con alpataco.

2.2.3 Arbustos dispersos. Ej: arbustal de tolilla; arbustal de tola, etc.

2.3 Herbáceas.

2.3.1 Pastizal cerrado (herbáceas graminoideas)

2.3.1.1 De cobertura simple Ej: Pastizal natural de rye grass, esporales, espartillares, pastizales de paja colorada y paja amarilla, aibales, pastizales de pasto llorón, etc

2.3.1.2 Con árboles Ej: Sabana de *Prosopis spp*, o *Butia yatay*; Capuera, Palmares.

2.3.1.3 Con arbustos.Ej: Sabana arbustiva de *Acacia caven*, etc.

2.3.1.4 Con árboles y arbustos. Ej: Pastizal de psamófilas con caldén y atamisque

2.3.2 Pastizal abierto (herbáceas graminoideas).

2.3.2.1 De cobertura simple. Ej: Estepa gramínea de festuca o coirón blanco, Estepa gramínea de coirón duro, etc.

2.3.2.2 Con árboles Ej: Estepa de stipa con caldén, etc.

2.3.2.3 Con arbustos. Ej:, Estepa gramínea arbustiva de coirón con neneo, estepa gramínea con tola y churqui, etc.

2.3.2.4 Con árboles y arbustos. Ej: Estepa gramínea de coirón con maitén y calafate, etc.

2.3.3 Pastizal disperso. Ej: Esporales

3 VEGETACIÓN NATURAL O SEMI-NATURAL DE ÁREAS REGULARMENTE INUNDADAS/ANEGADAS O ACUÁTICAS.

3.1 Árboles.

3.1.1 Bosques cerrados, Ej: Bosque de sauce; bosques de alisos o palo bobo, bosques ribereños, etc.

3.1.2 Bosques abiertos.

3.1.3 Árboles dispersos..

3.2 Arbustos.

3.2.1 Arbustal cerrado a abierto. Ej: Arbustales freatófitos de pájaro bobo y zampa, etc.

3.3 Herbáceas. .

3.3.1 Herbáceas cerradas.

3.3.1.1 Áreas (Semi) permanentemente inundadas o anegadas. Ej: Pajonal, carrizales; pirizal, camalotales, embalsados, gramillares, turberas, etc.

3.3.1.2 Áreas temporalmente inundadas o anegadas. Ej: Pastizal en áreas temporalmente inundadas, etc.

3.3.1.3 Áreas saturadas o con freática alta. Ej: Pradera húmeda a pantanosa de *Paspalum acuminatum* o *Axonopus* spp. Gramillar de bajos en suelos saturados o anegados. Espartillar de *Spartina argentinensis*, mallines o vegas, etc

4 SUPERFICIES ARTIFICIALES Y ÁREAS ASOCIADAS. (B15).

4.1 Superficies construidas. .

4.1.1 Áreas urbanas densamente pobladas,

4.1.2 Áreas urbanas de densidad media,

4.1.3 Áreas urbanas de baja densidad,

4.1.4 Áreas urbanas dispersas,

4.2 Superficies no construidas.

5 ÁREAS NATURALES DESNUDAS. (B16).

5.1 Áreas desnudas consolidadas. Consolidated material(s), (A1).

5.1.1 Rocas, fragmentos

5.1.2 Salares

5.2 Áreas desnudas no consolidadas..

5.2.1 Dunas – Dunes (A6B1)

5.2.2 Salinas – Salt flats (A6B13).

5.2.3 Suelos pedregosos

6 CUERPOS DE AGUA, NIEVE O HIELO ARTIFICIAL. (B27). Cuerpos de agua artificial permanentes. Ej: Embalses o represas

7 CUERPOS DE AGUA, NIEVE O HIELO NATURAL. (B28).

7.1 Agua.

7.1.1 Estacionarios

7.1.1.1 Permanente –Cuerpos de aguas con permanencia mayor a 9 meses.

7.1.1.2 Temporaria – Cuerpos de aguas con permanencia menor a 9 meses.

7.1.2 En movimiento

7.1.2.1 Permanente –Cuerpos de aguas con permanencia mayor a 9 meses.

7.1.2.2 Temporaria –Cuerpos de aguas con permanencia menor a 9 meses.

7.2 Nieve. Permanente –Nieve con permanencia mayor a 9 meses

7.3 Hielo. Ice. (A3).

Anexo 5: Galería de fotos correspondiente al Área de Estudio que ilustran los efectos de la erosión eólica y su respectiva degradación



**Alambrados tapados por voladuras de suelos
(Municipio de Patagones)**



Alambrados tapados de suelo como resultado de la erosión eólica (Municipio de Villarino)



**Banquinas y alambrados tapados por voladuras de suelos
(Municipio de Patagones)**



Tranqueras y Alambrados tapados por suelos erosionados (Municipio de Patagones)



**Áreas de cultivos degradados
(Municipio de Villarino)**



**Áreas de cultivos degradados
(Municipio de Patagones)**



**Monte nativo degradado por sobrepastoreo
(Municipio de Patagones)**



**Monte nativo degradado por sobrepastoreo
(Municipio de Villarino)**



**Vegetación herbácea y arbustiva degradada por
sobrepastoreo (Municipio de Villarino)**



**Vegetación herbácea y arbustiva degradada por
sobrepastoreo (Municipio de Patagones)**



**Suelos con escasa vegetación y signos de
Erosión Eólica (Municipio de Patagones)**



**Suelos muy erosionados y degradados por
Erosión Eólica (Municipio de Patagones)**



**Área agrícola sin cobertura vegetal muy degradada
(Municipio de Villarino)**



**Cultivo totalmente degradado por la
Sequía del año 2009 (Municipio de Patagones)**



**Área agrícola totalmente erosionada y degradada por
Erosión Eólica (Municipio de Patagones)**



**Área de pastizales totalmente degradada
(Municipio de Patagones)**



**Camino y banquetas tapados signos de
Erosión Eólica (Municipio de Villarino)**



**Area agrícola muy erosionada y degradada por
Erosión Eólica (Municipio de Patagones)**



Suelos totalmente erosionados producto de Erosión Eólica (Municipio de Patagones)



Area agrícola degradada producto de la sequía 2005-2009 (Municipio de Villarino)



Cultivo de trigo degradado producto de la sequía 2005-2009 (Municipio de Villarino)



Cultivo de trigo muy degradado producto de la sequía 2005-2009 (Municipio de Patagones)



Area de cultivos degradado producto de la sequía 2005-2009 (Municipio de Patagones)



Zonas ganaderas muy degradadas por la sequía del Periodo 2005-2009 (Municipio de Patagones)



Zonas ganaderas muy degradadas por la sequía del Periodo 2005-2009 (Municipio de Patagones)



Zonas ganaderas muy degradadas por la sequía del Periodo 2005-2009 (Municipio de Villarino)



Suelos muy erosionados producto de la erosión Eólica (Municipio de Patagones)



Zonas de pastizales cerrados muy degradadas por la sequía del periodo 2005-2009 (Municipio de Villarino)



Acumulación de suelos en el monte producto de la erosión eólica (Municipio de Patagones)



Suelos totalmente degradados en el Municipio de Patagones



Acumulación de suelos en el monte producto de la erosión eólica (Municipio de Patagones)



Suelos totalmente degradados en el Municipio de Patagones



Tormenta de polvo en suspensión originada por erosión eólica (Municipio de Patagones)



Banquinas y señalización de tránsito con acumulación de suelos signos de Erosión Eólica (Municipio de Patagones)

Fuente: Todas la imágenes anteriores han sido registros propios de cada relevamiento realizado a campo

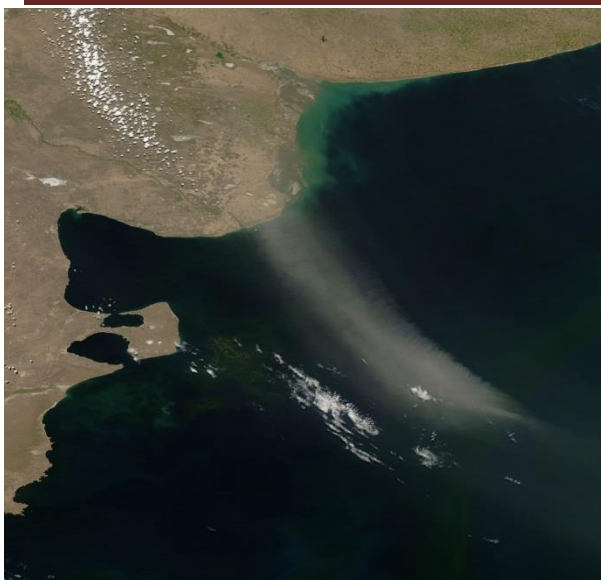


Imagen satelital de la NASA de la tormenta de polvo producida por erosión eólica, 23 de enero de 2009



Imagen satelital de la NASA de la tormenta de polvo producida por erosión eólica, 17 de febrero de 2009

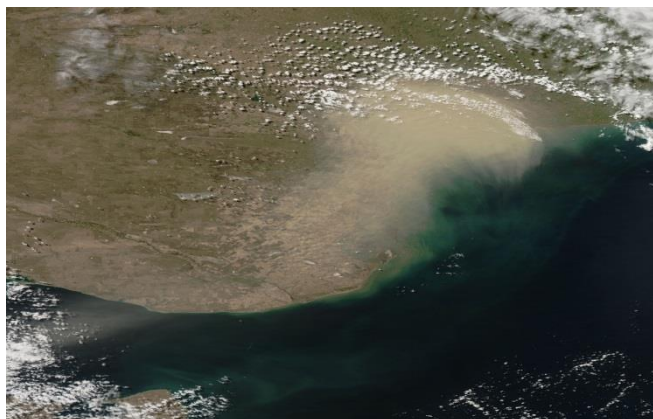


Imagen satelital de la NASA de la tormenta de polvo producida por erosión eólica, 11 de noviembre de 2008



Imagen de satélite de la NASA que muestra los efectos del material roto transportado al Océano Atlántico.

Fuente: Todas la imágenes anteriores han sido registradas y publicadas por la NASA