



*Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Escuela para Graduados*



**PRODUCCIÓN DE OLIVOS EN EL VALLE CENTRAL DE
CATAMARCA. DETERMINACIÓN Y VALORACIÓN ECONÓMICA
DEL IMPACTO SOBRE EL RECURSO SUELO, POR EFECTO DE
LAS PRÁCTICAS DE PRODUCCIÓN**

Ing. Agr. Susana Alderete Salas

Tesis

Para optar al Grado Académico de
Doctor en Ciencias Agropecuarias

Córdoba, 2011

**PRODUCCIÓN DE OLIVOS EN EL VALLE CENTRAL DE
CATAMARCA. DETERMINACIÓN Y VALORACIÓN ECONÓMICA
DEL IMPACTO SOBRE EL RECURSO SUELO, POR EFECTO DE
LAS PRÁCTICAS DE PRODUCCIÓN**

Ing. Agr. Susana Alderete Salas

Comisión Asesora de Tesis

Director: Ing. Agr. (Dr.) Manuel Ignacio Velasco

Asesores: Ing. Agr. (PhD) Mónica Balzarini

Dr. Alberto Figueras

Tribunal Examinador de Tesis

Dr. Alberto Figueras

Dra. Susana Hang

Dr. Jorge de Prada

Presentación formal académica

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación no hubiese sido posible de realizar sin el apoyo de la institución INTA EEA Catamarca, a la cuál pertenezco y de numerosas personas que me ayudaron a concluir esta etapa, en especial a:

- A las autoridades del Centro Regional Catamarca-La Rioja y de la EEA Catamarca, por brindarme la oportunidad y el tiempo para realizar este estudio.

- Al Dr. Daniel Collino, quién me animó a abordar este posgrado y me facilitó el camino para el ingreso a la Escuela de Graduados.

- A mi Director Tesis, Dr. Manuel Velasco, que guió, alentó, corrigió y estuvo siempre disponible para solucionar problemas y allanar el camino.

- A la Dra. Mónica Balzarini y al Dr. Figueras integrantes de la comisión de Tesis, que me orientaron y brindaron su tiempo para resolver el abordaje estadístico y efectuar la corrección del trabajo.

- A la Empresa CPM, Huaycama y Mamín, en especial a los Raúl Rodríguez y Marcelo Heredia que me permitieron realizar los trabajos de campo.

- A los Ing. Federico Alonso, Daniel Zelarayán, Carlos Varela, Guillermo Huarte, Francisco Dalla Lasta, Ariel Acosta, Olga Pernasetti, Eduardo De la Orden, y Lic. Beatriz Guichón y Diana Ovejero, por orientarme y facilitarme información.

- Al Dr. Marino Puricelli por su inestimable apoyo, ayuda y conocimientos; al Dr. Rafael Caeiro, por ayudarme en la traducción del resumen.

- A mis compañeros del área de Recursos Naturales de la EEA La Rioja, que me permitieron la utilización del Programa IDRISI.

- A mis compañera/os de trabajo, en especial a Leonor Pilatti y Rosario Scaltritti.

- A los integrantes de la Junta Examinadora, Dr. Jorge de Prada, Dra. Susana Hang y Dr. Alberto Figueras, por su colaboración y su tiempo.

- A las autoridades y personal administrativo de la Escuela de Graduados de la Facultad de Ciencias Agropecuarias- Universidad Nacional de Córdoba, por su calidez y buena predisposición de su atención.

- A mi familia y en especial a mis hijos, por su apoyo y aliento.

RESUMEN

La condición natural del suelo del Valle Central de Catamarca y la presión sobre él ejercida por la intensificación de la actividad productiva, resultan en modificaciones de sus características físico-químicas y alteración de los servicios ambientales que no han sido dimensionadas aún, como paso previo al diseño e implementación de políticas y leyes tendientes al uso sustentable del mismo. El objetivo del presente estudio fue determinar y valorar económicamente el impacto ambiental sobre el suelo, producido por la tecnología de producción de olivos en la región del Valle Central de Catamarca. Mediante el marco de cadena causal Fuerza Motriz, Presión, Estado, Impacto, Respuesta se seleccionaron los indicadores a utilizar. A nivel regional los indicadores patrón de uso de suelo y su variación en el tiempo, se generaron a partir de imágenes satelitales LANSAT TM de los años 1989 y 2006. Los indicadores de explotación productiva, estado del suelo sin y con cultivo y su variación en el tiempo, se determinaron mediante muestreos de suelo en parcelas de 2, 3, 5, 6 y 9 años de cultivo en un Caso de Estudio de 800 Ha. y monte natural como testigo. Se determinaron en ellas los parámetros físico-químicos. Las tendencias obtenidas se refirieron al contexto regional verificándolas en dos sitios productivos, en parcelas de 6 y 9 años de cultivo. Los resultados se relacionaron con la tecnología de producción utilizada por el sector relevada mediante encuestas y con las características del agua de riego. Con los índices físicos de evolución del recurso y las características del agua de riego, se modeló una situación *proxy* de evolución del recurso a nivel regional a partir del cuál se realizó la valoración económica del impacto, mediante el método de Costos Evitados. Los resultados indican: una intensificación del uso del suelo en la región del 23% al 2006; como factor responsable del impacto a la calidad del agua de riego de calidad severa que produce la sodificación del suelo, que medido por el PSI es función de la proporción de sodio del agua de riego y el tiempo de cultivo; un valor económico para mitigar los efectos y preservar los servicios ambientales de \$ 29.382 por hectárea, monto del daño ambiental a evitar si el sector incorpora el mismo en su ecuación de costos.

Palabras clave: daño ambiental- suelo-costos de mitigación.

SUMMARY

The natural condition of soils typical of arid Central Valley of Catamarca and the pressure exerted on him by the intensification of productive activity, resulting in changes in their physicochemical characteristics and alteration of environmental services that have not yet been dimensioned as a prelude to the design and implementation of policies and laws aimed at sustainable use of it. The aim of this study was to determine and assess the environmental impact economically on the ground, produced by intensification of production Olivícola System in the Central Valley Region of Catamarca. Through the framework of causal chain, Driving Force, Pressure, State, Impact, Response were selected indicators to use. At the regional level indicators of land use pattern and its variation over time, were generated using Landsat TM satellite images of 1989 and 2006. Productive exploitation rates, ground without and with crop and its variation over time, were obtained from soil samples in a Case Study of 800 ha of cultivated plots 2, 3, 5, 6 and 9 years and natural forest as a witness, which were measured physicochemical parameters. The trends obtained in the regional context were corroborated by two production sites in uncultivated plots and 6 and 9 years of planting. The results were related to the production technology used, relieved by industry surveys and chemical characteristics of irrigation water for each sample plot. With physical indices generated resource development for conditions with and without crops, and the characteristics of groundwater irrigation, a situation was modeled Proxy resource development at the regional level; from which was carried out economic impact assessment by the method of costs avoided. The results indicate the increased use of agricultural land in the region of 23% by 2006, where the use of irrigation water to severe risk factor is the production technology most relevant on impacts, producing soil sodification progressive in time as measured by the SEP intensity is a function of the ratio of sodium irrigation water and the culture time; and the economic value to mitigate effects to preserve environmental services is 29.382 \$/ha, environmental damage cost to be avoided if the sector incorporates the same in your cost equation.

Keywords: environmental damage-soil-mitigation costs.

TABLA DE CONTENIDOS

	Pag.
CAPÍTULO 1- CONSIDERACIONES LEGALES Y METODOLÓGICAS PARA LA EVALUACIÓN Y VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES - EL CASO DE ESTUDIO.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
MARCO LEGAL EN LA ARGENTINA Y EN LA PROVINCIA DE CATAMARCA.....	2
La Constitución Argentina.....	3
Leyes de Presupuestos Mínimos.....	4
Constitución de la provincia de Catamarca.....	8
Legislación de la provincia de Catamarca.....	8
MARCO CONCEPTUAL DE LA EVALUACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS.....	10
Métodos de valoración.....	11
Indicadores.....	15
La selección del método y los sistemas de información.....	17
MARCO CONCEPTUAL DE LA ECONOMÍA AMBIENTAL.....	20
Externalidades y valor económico total.....	20
El valor de los bienes y servicios ambientales: el valor económico total.....	23
Métodos de valoración económica de los bienes y servicios ambientales.....	27
IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA: EL CASO DE ESTUDIO.....	33
HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	41
OBJETIVO GENERAL.....	41
Objetivos Específicos.....	41
METODOLOGÍA GENERAL.....	42
CONSIDERACIONES SOBRE LA PERTINENCIA Y APORTES DEL TRABAJO.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	52
 CAPÍTULO 2- DETERMINACIÓN DE LOS IMPACTOS SOBRE EL RECURSO SUELO	 57
INTRODUCCIÓN.....	57
EL ÁREA DE ESTUDIO.....	61
HIPÓTESIS.....	64
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	64
MATERIALES Y MÉTODOS.....	64
Indicadores de nivel regional: cambios en el uso del suelo.....	64
Indicadores de nivel explotación agropecuaria.....	67
El caso de estudio en el contexto regional.....	77
Modelos de predicción.....	82
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	82
Indicadores de nivel regional: cambios en el uso del suelo.....	82
Indicadores de nivel de explotación agropecuaria.....	88
El caso de estudio en el contexto regional.	116

Modelos de predicción.....	130
CONCLUSIONES.....	139
BIBLIOGRAFÍA.....	147
CAPÍTULO 3- VALORACIÓN ECONÓMICA DEL IMPACTO: COSTOS DE MITIGACIÓN.....	152
INTRODUCCIÓN.....	152
HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	159
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	159
MATERIALES Y MÉTODOS.....	159
Modelo de impacto de aproximación regional.....	164
Valoración Económica.....	173
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	184
Modelo de impacto de aproximación regional.....	184
Valoración Económica.....	195
CONCLUSIONES.....	207
BIBLIOGRAFÍA.....	212
CAPÍTULO 4- CONCLUSIONES GENERALES.....	217
DETERMINACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES SOBRE EL RECURSO SUELO.....	217
Indicadores de nivel regional.....	217
Indicadores de nivel explotación agropecuaria.....	218
VALORACIÓN ECONÓMICA DEL IMPACTO PRODUCTO DE LA TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN.....	221
Modelo de impacto de aproximación regional.....	221
Costos económicos asociados al impacto.....	222
CONTRASTE DE HIPÓTESIS Y CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS.....	223
Hipótesis de trabajo.....	223
Objetivos de trabajo.....	224
METODOLOGÍA Y ENFOQUE UTILIZADO.....	225
APORTES DE INFORMACIÓN Y SUGERENCIAS DE OTROS ESTUDIOS.....	227
ANEXO 1- MARCO LEGAL.....	231
ANEXO 2- TRATAMIENTO DE IMÁGENES.....	252
ANEXO 3- ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELO, AGUA Y PRUEBAS ESTADÍSTICAS.....	287

LISTA DE TABLAS

		Pag.
Tabla 2.1	Criterios de clasificación para el agua de riego.....	76
Tabla 2.2	Patrón de uso agropecuario del suelo en el Valle Central de Catamarca 1989 y 2006, según Asociación de Suelos.....	84
Tabla 2.3	Variación en el patrón de uso agropecuario del suelo en el Valle Central de Catamarca, 1989-2006.....	86
Tabla 2.4	Manejo técnico utilizado por la empresa del caso de estudio.....	88
Tabla 2.5	Características del agua de riego del caso de estudio.....	91
Tabla 2.6	Calificación del agua de riego del caso de estudio.....	91
Tabla 2.7	Características físico-químicas de los suelos con monte natural, año 1983. Valor de perfil modal.....	92
Tabla 2.8	Características físico-químicas de los suelos sin cultivo, año 2007. Valores promedios.....	92
Tabla 2.9	Condiciones de fertilidad de los suelos sin cultivo, año 2007. Valores promedios.....	93
Tabla 2.10	Valores promedios de potencial Hidrógeno.....	95
Tabla 2.11	Valores promedios de conductividad eléctrica (decisiemens por metro).....	97
Tabla 2.12	Contenido promedio de carbonatos (porcentaje).....	98
Tabla 2.13	Contenido promedios de potasio soluble (miliequivalentes por litro)	100
Tabla 2.14	Contenido promedio de sodio soluble (miliequivalentes por litro)....	101
Tabla 2.15	Contenido promedio de calcio más magnesio soluble (miliequivalentes por litro).....	103
Tabla 2.16	Contenido promedio de materia orgánica (porcentaje).....	104
Tabla 2.17	Contenido promedio de nitrógeno (porcentaje).....	105
Tabla 2.18	Contenido promedio de fósforo (partes por millón).....	106
Tabla 2.19	Contenido promedio de potasio intercambiable (miliequivalentes por 100 gramos).....	108
Tabla 2.20	Contenido promedio de sodio intercambiable (miliequivalentes por 100 gramos).....	109
Tabla 2.21	Contenido promedio de calcio intercambiable (miliequivalentes por 100 gramos).....	110
Tabla 2.22	Contenido promedio de magnesio intercambiable (miliequivalentes por 100 gramos).....	112
Tabla 2.23	Relación de Adsorción de Sodio. Valores promedios.....	113
Tabla 2.24	Porcentaje de Sodio Intercambiable. Valores promedios.....	115
Tabla 2.25	Manejo técnico utilizado por el caso de estudio y las empresas de la muestra.....	116
Tabla 2.26	Aportes promedios de nitrógeno expresados en kilos por hectárea, utilizados por el caso de estudio y las empresas que forman los conglomerados.....	118

	Pág.
Tabla 2.27	Aportes promedios de potasio expresados en kilos por hectárea, utilizados por el caso de estudio y las empresas que forman los conglomerados..... 119
Tabla 2.28	Lámina promedio de riego expresada en milímetros utilizada por el caso de estudio y las empresas que forman los conglomerados..... 119
Tabla 2.29	Valores promedios de pH, conductividad eléctrica, Relación de Adsorción de Sodio y Porcentaje de Sodio Intercambiable. Caso de estudio y sitios de verificación 122
Tabla 2.30	Características del agua de riego utilizadas en por el caso de estudio y los sitios de verificación..... 124
Tabla 2.31	Calificación de las aguas utilizadas en el caso de estudio y los sitios de verificación..... 124
Tabla 2.32	Calificación del agua subterránea utilizada para riego en la región del Valle Central de Catamarca..... 127
Tabla 2.33	Valores promedios observados y predichos de Porcentaje de Sodio Intercambiable..... 134
Tabla 2.34	Valores de Proporción de Sodio, Porcentaje de Sodio Intercambiable y Relación de Adsorción de Sodio corregida de aguas del Valle Central de Catamarca..... 137
Tabla 3.1	Dosis respuesta para un agua de riego de calidad moderada (Proporción de Sodio de 1,04)..... 185
Tabla 3.2	Dosis respuesta del suelo para un agua de riego de calidad severa (Proporción de Sodio de 2,99)..... 186
Tabla 3.3	Situación sin mitigación: proyección del contenido de sodio intercambiable en el suelo (miliequivalentes por 100 gramos). Superficie irrigada con agua de calidad moderada 187
Tabla 3.4	Situación sin mitigación: proyección del contenido de sodio intercambiable en el suelo (miliequivalentes por 100 gramos). Superficie irrigada con agua de calidad severa..... 187
Tabla 3.5	Aportes promedio de azufre por fertilización efectuados al cultivo de olivo en Valle Central de Catamarca..... 189
Tabla 3.6	Intervalos de confianza bilateral para el contenido de sodio intercambiable del suelo sin cultivar..... 190
Tabla 3.7	Ganancia neta anual de sodio intercambiable en miliequivalentes por hectárea, para la superficie irrigada con agua de calidad severa..... 191
Tabla 3.8	Sodio intercambiable en miliequivalentes por 100 gramos de suelo a desplazar con la enmienda. Superficie irrigada con agua de calidad severa 191
Tabla 3.9	Situación con mitigación: proyección del contenido de sodio intercambiable del suelo (miliequivalentes por 100 gramos). Superficie irrigada con agua de calidad severa..... 192
Tabla 3.10	Cantidad de enmienda (toneladas totales,) necesaria para mitigar la superficie irrigada con agua de calidad severa..... 194
Tabla 3.11	Superficie total de olivo irrigada con agua de calidad severa, por edad de parcelas en cultivo..... 195

	Pág.
Tabla 3.12	Precios de ácido sulfúrico sin impuestos. Serie 2005-2010..... 196
Tabla 3.13	Precios del flete sin impuestos. Serie 2008-2010..... 197
Tabla 3.14	Frecuencia de recarga de tanques de almacenamiento..... 197
Tabla 3.15	Flujo de costos de mitigación. Valores privados..... 199
Tabla 3.16	Proyección del Valor Actual de Costos y del Costo Anual Equivalente por hectárea..... 199
Tabla 3.17	Rentabilidad de la economía y del sector alimentos, período 2005-2009..... 201
Tabla 3.18	Análisis de sensibilidad. Valores privados..... 201
Tabla 3.19	Costo del flete de la enmienda por tonelada. Valores privados y sociales..... 202
Tabla 3.20	Flujo de costos de mitigación. Valores sociales..... 204
Tabla 3.21	Análisis de sensibilidad. Valores sociales..... 204

LISTA DE FIGURAS

		Pag.
Fig. 1.1	Marco de cadenas causales.....	19
Fig. 1.2	Descomposición del valor económico total y métodos de valoración económica.....	26
Fig. 1.3	Marco causa-efecto del uso agropecuario del suelo para la producción de olivos. Valle Central de Catamarca.....	38
Fig. 1.4	Esquema de indicadores para la determinación del impacto sobre el suelo.....	44
Fig. 2.1	Condición sin cultivo.....	63
Fig. 2.2	Condición bajo cultivo.....	63
Fig. 2.3	Localización de puntos de muestreo del caso de estudio y sitios de verificación	71
Fig. 2.4	Ejemplo de dendrograma.....	79
Fig. 2.5	Puntos de muestreo de agua subterránea en el Valle Central, imagen 2006.....	81
Fig. 2.6	Distribución espacial de la superficie de uso agropecuario 1989-2006. Valle Central de Catamarca.....	83
Fig. 2.7	Variación en el patrón de uso de suelos en el Valle Central de Catamarca, 1989-2006.....	87
Fig. 2.8	Evolución del potencial Hidrógeno promedio.....	95
Fig. 2.9	Evolución de la conductividad eléctrica promedio.....	96
Fig. 2.10	Evolución del contenido promedio de carbonatos.....	98
Fig. 2.11	Evolución del contenido promedio de potasio soluble.....	99
Fig. 2.12	Evolución del contenido promedio de sodio soluble.....	101
Fig. 2.13	Evolución del contenido promedio de calcio más magnesio soluble....	102
Fig. 2.14	Evolución del contenido promedio de materia orgánica.....	104
Fig. 2.15	Evolución del contenido promedio de nitrógeno.....	105
Fig. 2.16	Evolución del contenido promedio de fósforo.....	106
Fig. 2.17	Evolución del contenido promedio de potasio intercambiable.....	107
Fig. 2.18	Evolución del contenido promedio de sodio intercambiable.....	109
Fig. 2.19	Evolución del contenido promedio de calcio intercambiable.....	110
Fig. 2.20	Evolución del contenido promedio de magnesio intercambiable.....	111
Fig. 2.21	Evolución de la Relación de Adsorción de Sodio promedio.....	113
Fig. 2.22	Evolución del Porcentaje de Sodio Intercambiable promedio.....	114
Fig. 2.23	Agrupamiento de empresas por prácticas de riego y fertilización.....	117
Fig. 2.24	Tendencia promedio para el potencial Hidrógeno y la conductividad eléctrica.....	120
Fig. 2.25	Tendencias promedio para la Relación Adsorción de sodio y el Porcentaje de Sodio Intercambiable.....	121
Fig. 2.26	Comparación de valores observados y predichos de Porcentaje de Sodio Intercambiable en función de la Proporción de Sodio del agua de riego, al noveno año de cultivo.....	136

		Pág.
Fig. 2.27	Comparación de valores observados y predichos de Porcentaje de Sodio Intercambiable en función de la Proporción de Sodio del agua de riego, al noveno año de cultivo.....	136
Fig. 3.1	Evolución del contenido total de sodio intercambiable para las situaciones sin y con mitigación. Parcelas de 4, 5 y 6 años de cultivo.....	193
Fig. 3.2	Evolución del contenido total de sodio intercambiable para las situaciones sin y con mitigación. Parcelas de 7, 8 y 9 años de cultivo.....	193

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

AEI: Indicadores agro-ecológicos.
AESA: Atributos del sistema agro-ecológico.
BSA: Bienes y Servicios ambientales.
Ca int: Calcio intercambiable.
Ca+Mg sol: Calcio más Magnesio soluble.
CAE: Costo Anual Equivalente.
CAE/Ha: Costa Anual Equivalente por hectárea.
Carb. Org.: Carbono orgánico.
CCMARN: Comité Coordinador del Medioambiente y los Recursos Naturales.
Ce: Conductividad eléctrica.
CSR: Carbonato de Sodio Residual.
COFEMA: Consejo Federal de Medioambiente.
CO₃: Carbonato.
CO₃H/Ca: Relación Bicarbonato- Calcio del agua de riego.
DPSIR: Driving forces–Pressures–State–Impact–Responses.
dS.m⁻¹: Decisiemens por metro.
DSR: Driving force-State-Responses.
ECM: Error cuadrado medio.
EDTA: Ácido etilendiaminotetraacético.
EIA: Environmental Impact Assessment.
Eq.: Equivalente.
FADEEAC: Federación Argentina de Entidades Empresarias del Autotransporte de Cargas.
GNV: Grado Neto de Variación.
ICT: Infomation and Communication Technology.
IK: Índice de Kelly.
K int: Potasio intercambiable.
Ks: Conductividad Hidráulica del suelo.
K sol: Potasio soluble.
KTS: Tiosulfato de potasio.
LB: Línea Base.
LCA: Life cycle assessment.
LCAA: Análisis del ciclo de vida para la agricultura.
LCAE: Análisis del ciclo de vida para la gestión del ambiente de fincas.
LGA. Ley General del Ambiente.
LI: Límite Inferior del Intervalo de confianza.
LS: Límite Superior del Intervalo de confianza.
Mg int: Magnesio Intercambiable.
Mat.Org: Materia orgánica.
meq/l: miliequivalentes por litro.
MIP: Matriz Insumo-Producto
Na int.: Sodio intercambiable.
Na sol: Sodio soluble.
NOA: Noroeste Argentino.

NR: Nivel de Referencia.
OECD: Organisation for Economics Cooperation and Development.
OIF: Optimun Index Factor.
P: Fósforo.
pH: Potencial de hidrógeno.
PIB. Producto Bruto Interno.
Ppm: partes por millón.
PS: Proporción de Sodio del agua de riego.
PSI: Porcentaje de sodio intercambiable.
PSR: Pressures-State-Responses.
PSS: Porcentaje de Sodio soluble del agua de riego.
RAS: Relación de Adsorción de Sodio.
RAS°: Relación de Adsorción de odio corregida.
S: Azufre.
SEA: Strategic Environmental Assessment.
SO₄H₂: Ácido sulfúrido
TM: Thematic Mapper.
UNCA: Universidad Nacional de Catamarca.
USDA: Unitet State Department of Agriculture.
VAC: Valor Actual de Costos.
VAC/Ha: Valor Actual de Costos por hectárea.
VE: Valor de Existencia.
VET: Valor Económico Total.
VNU: Valor de No Uso.
VO: Valor de Opción.
VU: Valor de Uso.
VUD: Valor de Uso Directo.
VUI: Valor de Uso Indirecto.
Yn: Valor que toma la variable en estudio en el último año de la serie analizada.

CAPÍTULO 1

CONSIDERACIONES LEGALES Y METODOLÓGICAS DE LA EVALUACIÓN Y VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES - EL CASO DE ESTUDIO

INTRODUCCIÓN

El reconocimiento de la importancia de medidas de protección y conservación del medioambiente ha crecido durante las dos últimas décadas, siendo hoy aceptado que el desarrollo económico debe ser compatible con los objetivos ambientales, lo que implica un desarrollo sustentable (INTA, 2000). A raíz de esto se ha dado un rápido incremento en el número de las regulaciones ambientales nacionales e internacionales, las cuales han conducido a la aparición de un gran número de reportes de valoración ambiental. (Niemeijer y de Groot, 2008)

La Comisión Mundial de Medioambiente y Desarrollo ofrece una definición de desarrollo sustentable: *‘La humanidad tiene la necesidad de practicar el desarrollo sustentable para garantizar la satisfacción de las necesidades de la presente generación, sin comprometer la posibilidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades’*. Este concepto implica límites, no absolutos pero limitaciones impuestas por el presente estado de la tecnología, la organización social sobre los recursos ambientales y por la capacidad de la biósfera de absorber los efectos de las actividades humanas. (Smith y Mc Donald, 1998)

El desarrollo sustentable se ha convertido en el paradigma dominante, guía de la planificación del desarrollo. A raíz de ello las valoraciones ambientales se tornan comunes para la toma de decisiones en los procesos de planificación y evaluación en todas las

escalas, en empresas privadas hasta gobiernos Estados y foros internacionales (Niemeijer y de Groot, 2008).

La toma de decisiones ambientales para el diseño de políticas al respecto, requieren una cuantificación de las propiedades ambientales tales como la vulnerabilidad del ambiente en donde se desarrollan los diferentes sistemas agropecuarios, los riesgos potenciales de las actividades de producción, la capacidad de regeneración del medioambiente luego de una perturbación (Villa y McLeod, 2002).

MARCO LEGAL EN LA ARGENTINA Y EN LA PROVINCIA DE CATAMARCA

‘La necesaria expansión de la riqueza nacional y, en general el desarrollo económico y social que entrañan siempre la explotación de los recursos naturales, tiene que desplegarse atendiendo este nuevo interés, el ambiental,... que condiciona casi todos los aspectos de ese desarrollo, al que sin embargo no se renuncia’ (Canosa Usera pág. 9, 2008). Esto originó ‘...un cambio cultural y político que desembocó en el concepto de Desarrollo Sostenible...’, ‘...donde el límite a toda acción de desarrollo estaría dado por la no afectación del ambiente, dentro de parámetros previamente establecidos’ (Alzabé y Mendilharzu, pág. 325, 2008).

La declaración del medio ambiente como patrimonio común de la humanidad traslada la necesidad, de determinar su modo jurídico de protección.

Se entiende por Legislación ambiental, al conjunto de instrumentos legales con que cuenta un sistema jurídico, en un momento dado en sus distintos niveles de gobierno. En el sistema jurídico argentino, las cuestiones ambientales se abordan en:

LA CONSTITUCIÓN ARGENTINA

- Primera parte: declaraciones, derechos y garantías, y Capítulo II: sobre nuevos derechos y garantías, en sus artículos N° 41, 42 y 43. Tiene relación directa el Artículo 41, en especial en los siguientes párrafos:

‘Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley’.

‘Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales’. (Art. 42 de Constitución de la Nación Argentina)

‘Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquellas alteren las jurisdicciones locales’ (Art. 41° Constitución de la Nación Argentina)

Consideraciones

El primer párrafo ... *‘Todos los habitantes gozan ...’* alude al derecho en sentido amplio que tienen los seres humanos de vivir en un ambiente físico, social y cultural adecuado para su desarrollo; ecológicamente equilibrado y en armonía con la naturaleza, donde el hombre es el centro de las preocupaciones del desarrollo sustentable. Incorpora el concepto de desarrollo sostenible, en el sentido de que la promoción del desarrollo económico y la protección del medioambiente no son desafíos independientes. Hace además, referencia a la obligación que tienen todos los habitantes de defender el medioambiente y legitima implícitamente al habitante para accionar en ejercicio de su derecho y obligación de preservar el ambiente. Por otro lado, la existencia de un derecho al ambiente preservado

trae como consecuencia la responsabilidad de los particulares por los daños derivados de la contaminación producida por ellos (Alzabé y Mendilaharsu, 2008).

En el segundo y tercer párrafo de este artículo, *‘Las Autoridades proveerán...’* y *‘Corresponde a la Nación...’* imponen las siguientes obligaciones a los poderes públicos: (i) A los gobiernos para que procedan a proveer: la protección de este derecho, la utilización racional de los recursos naturales, la información y educación ambiental; (ii) Al Congreso de la Nación para *‘dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección’*¹; (iii) a las Provincias para que dicten las normas *‘necesarias para complementarlas, sin que aquellas alteren las jurisdicciones locales’* (Díaz Ricci, 2008).

Los presupuestos mínimos son estándares básicos y uniformes de protección ambiental (Barrera Buteler ,1996) y conceden una tutela ambiental uniforme o común para todo el país, estableciendo un *‘mínimo’* de carácter obligatorio para todo el territorio nacional, contribuyendo a ordenar y gestionar diversas actividades en relación al medioambiente. Así a partir del año 2002, se generaron las siguientes leyes de presupuestos mínimos: Ley 25.612: Gestión integral de residuos industriales y de servicios; Ley 25.670: Gestión de PCB (Policloruro de bifenilo); Ley 25.675: Ley General del Ambiente; Ley 25.688: Gestión de Aguas; Ley 25.831: Información ambiental; Ley 25.916: Residuos domiciliarios y Ley 26.331: Protección ambiental de los Bosques Nativos, conocida como la ley de Desmontes.

LEYES DE PRESUPUESTOS MÍNIMOS

- Ley N° 25.675, General del Ambiente (noviembre de 2002)²

¹ Mínimo: se refiere a *‘piso’* o *‘base’*.

² Texto completo en ANEXO 1.

El espíritu de esta norma, es la instauración y ejecución de una política ambiental basada en la sustentabilidad del modelo de desarrollo. Sus aspectos más sobresalientes son:

Los Principios rectores: Principio de prevención: ‘Las causas y las fuentes de los problemas ambientales se atenderán en forma prioritaria e integrada, tratando de prevenir los efectos negativos que sobre el ambiente se pueden producir. Principio de precaución: ‘Cuando haya peligro de daño grave o irreversible la ausencia de información o certeza científica no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces’,...’para impedir la degradación del medioambiente’. Principio de equidad intergeneracional: ‘Los responsables de la protección ambiental deberán velar por el uso y goce apropiado del ambiente por parte de las generaciones presentes y futuras’. Principio de progresividad: ‘Los objetivos ambientales deberán ser logrados en forma gradual, a través de metas interinas y finales, proyectadas en un cronograma temporal que facilite la adecuación correspondiente a las actividades relacionadas con esos objetivos’. Principio de responsabilidad: ‘El generador de efectos degradantes del ambiente, actuales o futuros, es responsable de los costos de las acciones preventivas y correctivas de recomposición, sin perjuicio de la vigencia de los sistemas de responsabilidad ambiental que correspondan’; Principio de sustentabilidad: ‘El desarrollo económico y social y el aprovechamiento de los recursos naturales deberán realizarse a través de una gestión apropiada del ambiente, de manera tal, que no comprometa las posibilidades de las generaciones presentes y futuras’ (Art. 4º, Ley 25.675).

En el art. 11º, instala la obligatoriedad de la EIA (Evaluación de Impacto Ambiental) para todo proyecto que se considere susceptible de degradar el ambiente.

En los artículos 27º y 28º, la definición del daño ambiental como:

‘toda alteración relevante que modifique negativamente el ambiente, sus recursos, el equilibrio de los ecosistemas, o los bienes o valores colectivos’ y la expresión de sus consecuencias ‘el que cause el daño ambiental será objetivamente responsable de su restablecimiento al estado anterior a su producción. En caso de que no sea técnicamente factible, la indemnización sustitutiva que determine la justicia ordinaria interviniente, deberá depositarse en el Fondo de Compensación Ambiental que se crea por la presente...’

Consideraciones respecto del Daño Ambiental y de la Ley³

El daño ambiental puede dividirse en dos categorías: (i) daño al ambiente en si mismo, que es aquel que no depende del efecto concreto a la salud, vida o bienes de los seres humanos; y (ii) daño a través del ambiente que es aquel en que hay una lesión a una persona concreta/grupo de personas. La distinción entre estos puede hacerse respecto a la materialización de las consecuencias; así, mientras el primero tiene consecuencias indirectas o solo se materializarán a través del tiempo; el daño a través del ambiente es consecuencia directa de la degradación ambiental, como el que padecen las personas por beber agua contaminada.

Atento a esto, los daños a reclamar pueden consistir en: (i) daño emergente, como daños que suponen la pérdida de valor de los terrenos y de los inmuebles por la contaminación o por el empeoramiento de las condiciones ambientales, daño al paisaje, etc.; (ii) lucro cesante, el costo de actividades alternativas que no se pueden realizar por la contaminación y (iii) daños morales, como molestias o padecimientos causados, incluso enfermedades. Se incluyen aquí los daños a la privacidad o intimidad, producidos por la contaminación sonora.

Los actores que intervienen en los reclamos, son los legitimados. La ley reconoce: (i) a los legitimados pasivos como a el/los causantes del deterioro; el Estado por acción u omisión; el funcionario público por cumplimiento irregular de sus funciones; el directivo o profesional que asesora a la persona jurídica en la medida de su participación; la entidad financiera que otorga el crédito que posibilita el daño ambiental o sin requerir la previa auditoría cuando se trata de actividades de incidencia ambiental; y (ii) a los legitimados activos, el/los afectados; el Defensor del Pueblo; el Estado Nacional, Provincial o Municipal.

³ López Herrera, 2008. Articulación de las competencias ambientales en la Nación en las Provincias del NOA. Cap. 6, pp159-191.

El daño ambiental es una especie del género daño resarcible, identificado como el primer elemento de la responsabilidad civil. Cuando el daño, como fenómeno natural, hace surgir en un sujeto determinado la obligación civil de repararlo, se reconoce dicho daño como 'daño resarcible'. Para ser tal debe: (i) lesionar un derecho subjetivo o un interés legítimo; (ii) existir una clara relación de causalidad entre la acción supuestamente ilícita y el daño padecido; (iii) tener carácter personal y iv) debe ser cierto, no ser una mera conjetura (López Herrera, 2008).

Las premisas a cumplir antes mencionadas, provocan algunos problemas de la Ley en cuanto a la responsabilidad civil, según señala este autor, ya que el medioambiente no es de nadie en particular y es de todos a la vez; sin embargo señala en el análisis realizado, que: (i) la premisa de lesión a un interés, queda resuelta, ya que el derecho de gozar de un ambiente sano deriva de la Constitución, por lo que claramente se trata de un derecho subjetivo o de un interés legítimo cuanto menos; (ii) el carácter personal del daño, ya que el mismo es solo resarcible cuando afecta a la persona que reclama y no a otra (art. 1068 Código Civil Argentino), es el requisito que más inconvenientes presenta a la hora de configurar el tipo de daño ambiental 'daño al ambiente'. El problema de fondo que se plantea es el de la titularidad: ¿como puede invocar alguien el perjuicio al aire puro, si el aire no es de nadie?...¿Si los daños ambientales se manifestaran en daños concretos para la generación futura, tienen derecho los integrantes de ésta a reclamar la recomposición, o hay que esperar a que los de la próxima generación, los verdaderos afectados, reclamen la recomposición?. La respuesta por parte de este analista, es que la cuestión queda amparada en el principio de Equidad Intergeneracional; (iii) la certeza, como no siempre es posible saber de antemano las consecuencias futuras de tal o cual acción supuestamente contaminante, encuentra respuesta en el Principio de Prevención de esta Ley.

El autor enfatiza lo siguiente en sus conclusiones: i) La Ley General del Ambiente y en lo concerniente al daño ambiental ha recogido las principales recomendaciones de los máximos encuentros de la civilística argentina; ii) Los objetivos de la Ley no son solo resarcitorios sino también preventivos; iii) El daño ambiental tiende a proteger daños de incidencia colectiva o intereses difusos y participa de todos los caracteres del daño

resarcible; iv) El carácter de responsabilidad es objetivo, el fundamento es el riesgo y las exigencias son sumamente severas.

- Ley 26.331: Protección ambiental de los Bosques Nativos, de 2007.

Conocida como la ley de Desmontes, establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para el enriquecimiento, la restauración, conservación, aprovechamiento y manejo sostenible de los bosques nativos, y de los servicios ambientales que estos brindan a la sociedad.

Es particularmente importante para el sector agropecuario, ya que promueve la conservación del medioambiente, mediante el ordenamiento territorial de los bosques nativos y la regulación de la expansión de la frontera agropecuaria y de cualquier otro cambio de uso del suelo.

CONSTITUCIÓN DE LA PROVINCIA DE CATAMARCA

En particular en la Constitución de la provincia de Catamarca, reformada en 1988, previo a la Constitucional Nacional, prescribe que es competencia del Poder Legislativo, *‘establecer normas de control sobre investigaciones y/o transferencias tecnológicas que puedan resultar de riesgo para la comunidad, el equilibrio ecológico y el patrimonio cultural’* (Art. 110, inc.18, sección segunda, Constitución de la provincia de Catamarca).

LEGISLACIÓN DE LA PROVINCIA DE CATAMARCA

- Ley Provincial 4.720: mediante la cual se adhiere al Consejo Federal de Medioambiente (COFEMA). El Poder Ejecutivo asume el compromiso de reglamentar

dicha ley, promulgarla y adherir al COFEMA. Luego de 15 años la Provincia continúa sin una Ley de medioambiente.

- Decreto acuerdo N° 367/93, mediante el cual se crea el Comité Coordinador del Medioambiente y los Recursos Naturales (CCMARN).

Las normas ambientales en la provincia se encuentran dispersas en el ordenamiento legislativo provincial. Entre ellas se mencionan:

- Ley 5034 de Procedimiento para el Amparo Judicial de los Intereses Difusos o Derechos Colectivos: regula la acción judicial de defensa del ambiente sano, preservando de las depredaciones o alteraciones las aguas, el suelo, los recursos minerales, la flora, el aire, comprendiendo cualquier tipo de contaminación que amenace, altere o ponga en riesgo cierto cualquier forma de vida; y la conservación de los valores estéticos, históricos, urbanísticos, artísticos, arquitectónicos, arqueológicos y paisajísticos de interés general.
- Ley 493/04 de Salud y Medio Ambiente: reconoce el derecho básico e inalienable a la salud y prescribe el deber del Estado provincial de garantizar su ejercicio pleno, brindando asistencia médica integral y cualquier otra prestación o servicio de salud en relación con medioambiente. Se crea el Sistema Provincial de Salud, que entre otras, tiene la atribución de intervenir en la fiscalización de las normas de investigación de la atmósfera en los centros urbanos y rurales, y gestionar la aplicación de las medidas adecuadas para su mejoramiento (art. 9).

MARCO CONCEPTUAL DE LA EVALUACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS

Douglass (1984) y Yunlong y Smith (1994), entienden a la sustentabilidad como algo relativo a la agricultura. Sin embargo, Smith y Mc Donald (1998), observan que este sector no tiene un rol suficientemente activo en dirección hacia el desarrollo que es realmente sustentable, teniendo en cuenta la importancia de la agricultura como la última proveedora de alimento y fibra para la población humana.

Las metas de una agricultura sustentable, generalmente incluyen el mantenimiento del medioambiente natural, la provisión de las necesidades de alimentos de la humanidad, la viabilidad económica y el bienestar social. Esta aproximación a la agricultura sustentable, tiene la ventaja de captar el carácter mutli-objetivo del concepto de sustentabilidad; y la desventaja, de que las necesidades a ser satisfechas son diferentes para cada aplicación, dependiendo de la definición usada. (Smith y McDonald, 1998). Sin embargo, la dimensión ecológica del concepto de agricultura sustentable que implica el mantenimiento global del ecosistema o el medioambiente natural, es fundamental para toda sustentabilidad, como un prerrequisito para las dimensiones económicas y sociales (van der Werf y Petit, 2002).

A raíz de ello, diferentes aproximaciones para la valoración de la agricultura sustentable han sido desarrolladas en asociación a las diferencias conceptuales de sustentabilidad (Hansen, 1996). La valoración usando cualidades múltiples e indicadores cuantitativos es consistente con la interpretación de agricultura sustentable como una habilidad para satisfacer diversas necesidades.

La agricultura sustentable como una habilidad para continuar a través del tiempo, es valorada usando tendencias de tiempo. La valoración es efectuada en términos de la dirección y el grado de los cambios medidos en las propiedades del sistema; en consecuencia un sistema es considerado sustentable si no hay tendencias negativas en la

propiedad analizada del mismo (Smith y McDonald, 1998). De acuerdo a esto, resulta necesario traducir las observaciones científicas y la abundante información en un número reducido de parámetros capaces de ofrecer información útil sobre el problema, en cuanto a sus causas, su situación y sus tendencias.

MÉTODOS DE VALORACIÓN

Muchos proyectos fueron creados para generar métodos e indicadores de diferentes tipos, para diferentes escalas (local, regional, nacional), propósitos (planeamiento de escenarios, generación de políticas de protección, marcos regulatorios de actividades, etc), y objetivos (evaluar aportes, emisiones o estado del sistema, o mezcla de alguno de ellos) (Smith y Mc Donald, 1998).

Las escalas utilizadas son diferentes en función del propósito, y abarcan desde el cultivo como unidad mínima de uso de suelo, la finca como unidad socio-económica, el territorio/cuenca como unidad menor de agregación de fincas o explotaciones agrícolas y otros usos de la tierra, y la escala regional que incluye la suma de territorios/cuencas que conforman una región, una nación o un nivel internacional (Smith y Mc Donald, 1998).

Los métodos utilizados varían de acuerdo al propósito y a la escala que abarque el estudio, y en consecuencia lo hace también el conjunto de indicadores utilizados.

Según el tiempo en el que se realizan las evaluaciones en relación a la actividad productiva, dan lugar a dos grandes tipos de evaluaciones⁴: las ‘ex – ante’ y las ‘ex – post’.

⁴ Bajo la denominación de evaluación de impacto ambiental se encuentran actividades tan diferentes como: (i) previsión de los impactos potenciales que un determinado proyecto podría causar, en caso de ser implantado; (ii) estudio de las alteraciones ambientales ocurridas en una determinada región o determinado lugar, como consecuencia de una actividad individual o serie de ellas, pasadas o presentes; en esta acepción, la evaluación de impacto ambiental, es también llamada

Para propósitos de planeamiento o preventivos regulados por marcos legales, se utilizan métodos 'ex – ante', ejemplo de ello son la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y su derivada, la Valoración de las Estrategias Ambientales (SEA). La primera es utilizada a nivel de proyecto para identificar, predecir y evaluar las posibles consecuencias sobre el medioambiente debido al desarrollo de una propuesta o un proyecto (World Bank, 1992). La segunda, SEA, se aplica a propuestas de nivel más elevado, como Planes y Programas de Desarrollo locales y regionales (HMSO, 1993; Wood, 1995).

Los efectos de las actividades productivas en marcha se valoran mediante evaluaciones denominadas 'ex – post'. Para este tipo de evaluación, Van der Werf y Petit (2002) examinan 12 métodos de evaluación de impacto en agricultura a nivel de sitio de producción (*farm level*); al respecto encuentran que los mismos difieren en:

- Qué se está evaluando, si es **impacto ambiental**, entendido como la alteración favorable o desfavorable en el medioambiente o **sustentabilidad ecológica**, entendida como la capacidad de un ecosistema de mantener su estado.
- El número y tipo de objetivos tomados en cuenta, que se agrupan en tres clases: **relativos a los aportes** (uso de energía no renovable, uso del suelo, uso de agua, uso de fertilizantes nitrogenados etc.), **relativos a las emisiones** que producen (gases de invernadero, emisiones de ozono, emisiones ecotóxicas para fuentes de agua, producción de residuos, etc.) y **relativos al estado** del sistema (calidad del paisaje, biodiversidad natural, calidad del aire, agua y suelo, etc.).

evaluación del daño ambiental, o evaluación del pasivo ambiental, ya que se preocupa de los impactos ambientales negativos; (iii) identificación e interpretación de los "aspectos e impactos ambientales", resultantes de las actividades de una organización, en los términos de las normas técnicas de la serie ISO 14000; (iv) análisis de los impactos ambientales, resultantes del proceso de producción, de la utilización y desperdicio de un determinado producto; esta forma particular de evaluación de impacto ambiental, también se conoce como análisis del ciclo de vida. (Sánchez, 2000)

- La referencia que se toma para expresar los resultados u objeto de estudio. Así para algunos la referencia de expresión de resultados es **el producto**, valorándose aportes o emisiones en kg de producto del sistema en estudio; mientras que para otros la referencia es la unidad o **sitio de producción**, en consecuencia los resultados se refieren a la unidad de superficie (emisiones o aportes /ha).

- La expresión de los resultados en forma de valores o transformados en listados por orden de importancia (se realiza un orden de mérito en base a una escala arbitraria).

Respecto al tipo de expresión de los indicadores, Hass *et al.* (2000) y van der Werf y Petit (2002) proponen a las expresiones que refieren resultados por hectárea como los mas apropiados para valorar efectos locales; mientras que los que expresan resultados por kilo de producto son expresiones más apropiados para valorar efectos más globales. Guineé *et al.* (2002) y van der Werf *et al.* (2007), afirman que los impactos deben expresarse por unidad de producto cuando la función del sistema es la producción de materias primas sin proceso de transformación o con uno escaso, y por unidad de área para funciones que no son de mercado (ej: servicios ambientales). De Koeijer *et al.* (2002), prefieren la expresión de impactos por unidad de área que tiene en cuenta la capacidad del medioambiente.

La relación de impacto por unidad de área combina un criterio ambiental y un criterio de espacio y permite la implementación de valores umbrales basados en el área, fundados sobre límites críticos o límites máximos, los que pueden ser derivados de objetivos nacionales o regionales para emisiones o impactos. (IPCC, 2001; Erisman *et al.*, 2003; Van der Wef *et al.*, 2007). La relación impacto por unidad de producto combina un criterio ambiental y uno de producción, y por lo tanto brinda una medida de eficiencia ambiental (Olsthoorn *et al.*, 2001), en lugar de una medida de impacto ambiental.

Algunos de los métodos analizados se mencionan a continuación⁵:

- AEI, Indicadores Agroecológicos propuesto por Girardin *et al.* (2000), utiliza la metodología clásica de valoración de impactos a partir de la matriz de Leopold. Valora el impacto de las prácticas de producción sobre un componente ambiental. Utiliza indicadores relativos a los aportes de energía no renovable e indicadores de estado del sistema, como calidad del paisaje, agua, suelo, aire. El objeto de estudio es la explotación agropecuaria.
- LCAA, Análisis del ciclo de vida para la agricultura propuesto por Audsley *et al.* (1997), valoran la sustentabilidad ecológica y económica a partir de la cuantificación de emisiones, y aportes directos e indirectos de energía de fuentes no renovables. Utiliza indicadores relativos a los aportes y a las emisiones. El objeto de estudio es el producto.
- LCAE, LCA para la gestión del ambiente de fincas propuesto por Dossier. Valora impactos ambientales a partir de adaptar indicadores del LCA, para identificar las fuentes de polución y evaluar las posibles modificaciones de los métodos de producción en las fincas. Utiliza indicadores relativos a los aportes y relativos a las emisiones del sistema. El objeto de estudio es la explotación agropecuaria y el producto.
- AESA, Atributos del sistema agro-ecológico propuesto por Dalsgaard y Oficial, (1997), el cual analiza y cuantifica el estado y rendimiento de agro-ecosistemas. Valora la sustentabilidad agro-ecológica de los sistemas de producción. El objeto de estudio es la explotación agropecuaria. Utiliza los tres tipos de indicadores, de aportes (uso del suelo), de emisiones (sustancias nitrificantes) y de estado (biodiversidad agrícola y biomasa total del sistema)

⁵ Extractado de van der Werf y Petit (2002).

INDICADORES

El término indicador ha sido definido como una variable que aporta información sobre otra/s variable/s de difícil acceso o de un fenómeno, y que puede ser usado como parámetro para tomar una decisión (Van der Wef y Petit, 2002; Smith y McDonald, 1998).

Los indicadores ambientales adquieren mucha importancia, ya que proveen un signo o señal que transmite un complejo mensaje, potencialmente desde numerosas fuentes de una manera simplificada y fácil (Jackson *et al.*, 2000), permitiendo hacer perceptible una tendencia o fenómeno que no es inmediatamente detectable (Hammond *et al.*, 1995). Los indicadores ambientales ofrecen una imagen de la condición del medioambiente.

Los mismos pueden agruparse, en:

- Indicadores ambientales: tienen como propósito aportar la dimensión del estado del medioambiente en relación a un problema ambiental, la presión que este soporta y la respuesta. Estos pueden asociarse a la denominación de bio-físicos (Smith y Mac Donald, 1998) o físicos, químicos y biológicos (Smeets y Weterings, 1999), o agro-ecológicos (Girardin *et al.*, 2000).
- Indicadores de integración sectorial: informan sobre la interrelación entre los efectos ambientales sectoriales (agricultura, turismo, transporte, etc.) y las condiciones ambientales (Manteiga, 2000).
- Indicadores de integración económica: informan sobre el costo ambiental en relación a la actividad económica desarrollada (Manteiga, 2000).

Basado en el hecho de que el impacto ambiental de la agricultura depende en gran medida de las prácticas de producción; que la relación entre ellas es indirecta ya que los impactos dependen primeramente del estado del sistema, y este a su vez, de las prácticas de producción; los indicadores utilizados a nivel de explotaciones productivas, pueden basarse en :

- las prácticas de producción (*'means-based'*), como la cantidad de fertilizante utilizado o,
- sobre los efectos, que esas prácticas de manejo tienen sobre el estado del sistema de producción o sobre las emisiones ambientales, (*'effect-based'*).

La utilización de estos últimos es preferible a los primeros, ya que la relación del efecto con el objetivo a evaluar es más directa. Si bien, los primeros tienen un costo menor ya que pueden extraerse de bases de datos, no siempre se consigue una evaluación de impacto actual (Van der Werf y Petit, 2002).

Los indicadores ambientales deben reunir ciertos requisitos, a saber: i) validez científica; ii) representatividad en el marco de la preocupación ambiental; iii) fácil aplicación e interpretación; iv) brindar respuestas correctas a los cambios; v) que la información que se requiera sea fácil de conseguir, vi) que la información sea lo menos costosa posible, (Manteiga, 2000; Van der Werf y Petit, 2002); vii) internacionalmente compatibles; viii) universales (aplicable a muchas áreas, situaciones y escalas; ix) sensibles a los cambios; y x) de validez internacional (Riley, 2001).

Respecto del conjunto de indicadores utilizados, mucha confusión existe concerniente a distinciones entre indicadores y muchos de ellos, aún no han sido testeados en cuanto a su relevancia y practicidad (Riley, 2001). La realidad indica que no constituye un problema la

búsqueda de indicadores, respecto del problema que implica encontrar los apropiados que reflejen la situación del recurso en estudio (Custance y Hillier, 1998).

Niemeijer y de Groot (2008), analizan diversos trabajos de valoración ambiental y señalan que los indicadores utilizados responden al criterio de indicadores individuales, y no al criterio que relaciona indicadores unos con otros; enfatizan el problema en el proceso de selección de ellos. En este sentido afirman, que ante un problema particular es posible identificar un conjunto de indicadores relevantes de una manera estructurada y flexible, que al mismo tiempo ponga de manifiesto la relación estructural entre ellos; señalando a dicha relación como una de las claves del criterio de selección de indicadores.

La ausencia de un proceso de selección de indicadores debidamente documentado, no es una cuestión menor. Los indicadores son considerados altamente influyentes sobre las conclusiones, en cuanto a que problemas ambientales son serios o no, que condiciones están mejorando o degradándose, y en cual dirección necesitan ser buscadas las causas y las soluciones. Por lo tanto, es muy importante tener un procedimiento bien definido y transparente que guíe desde la definición del problema hasta el conjunto de indicadores y la interpretación de los valores de los mismos (Niemeijer y de Groot, 2008).

LA SELECCIÓN DEL MÉTODO Y LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN

La identificación de las interacciones propias entre las numerosas características que deben reunir los indicadores y los métodos de evaluación, respecto de la necesidad de contar con un método de análisis simple y que brinde respuestas correctas, constituye uno de los mayores desafíos en el desarrollo de los métodos de evaluación. Un método puede brindar respuestas erróneas por dos razones: i) porque los objetivos no son apropiados, respecto a los propósitos del estudio; o ii) porque el conjunto de indicadores escogido, cuantifica pobremente los objetivos (Van der Werf y Petit, 2002).

Una forma de encontrar métodos apropiados, es a través de estudios de casos en agroecosistemas bien conocidos, a los fines de evaluar la predisposición de métodos simples a brindar respuestas correctas; utilizando indicadores basados en los efectos de las prácticas de manejo (*effects-based*) (Van der Werf y Petit, 2002).

Los indicadores pueden entenderse como las células de un sistema de información, por lo que es necesario establecer las conexiones entre ellos para dar funcionalidad al conjunto (Manteiga, 2000).

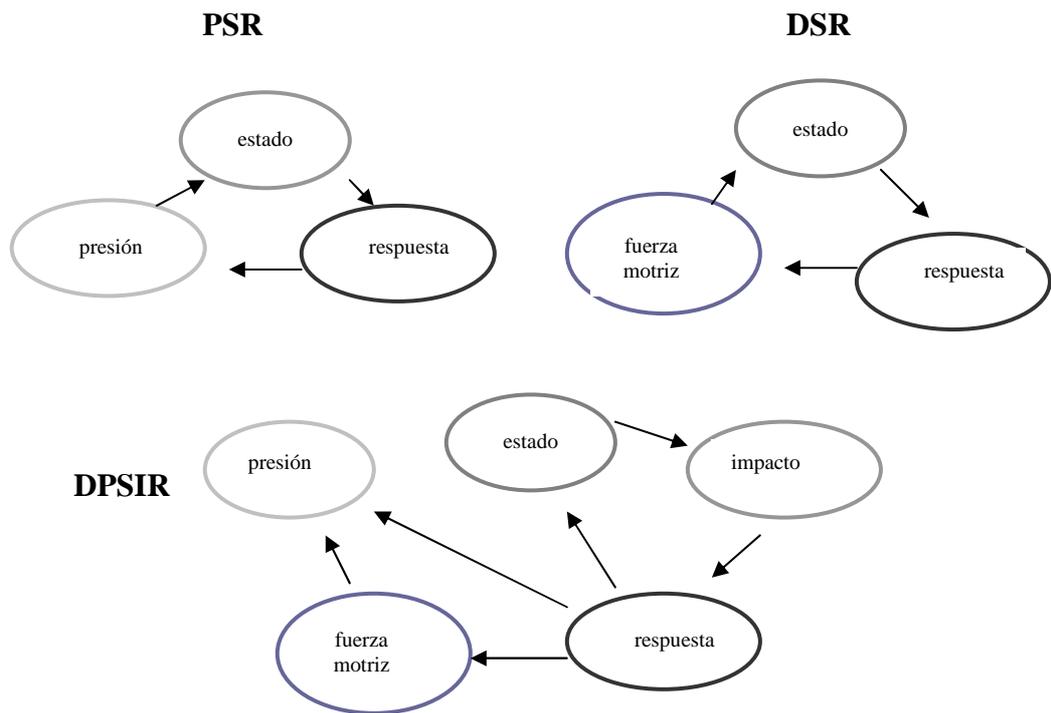
La utilización de sistemas de información puede ayudar en el proceso de selección de indicadores, a identificar aquellos capaces de relacionar las dimensiones ecológicas del ambiente, con las dimensiones social y económica; lo que es vital para la buena formulación de políticas (Niemi y Mc Donald, 2004), o para el entendimiento de un problema y planteo de soluciones.

Los marcos conceptuales para las evaluaciones ambientales más utilizados son los de cadena causal, inspirados en el pensamiento sistémico de Odum; que abordan las complejidades del mundo real en busca de causalidad en cadena y en las redes que forman la interacción y conexión de múltiples cadenas causales (Niemeijer y de Groot, 2007, 2008). En este marco conceptual es reconocida la diferencia entre: (1) las fuerzas que actúan sobre el ambiente, (2) los cambios que como consecuencia tienen lugar en el ambiente y (3) la reacción social ante dichos cambios (Niemeijer y de Groot, 2008).

Los marcos más comúnmente utilizados en estudios basados en indicadores basados en la cadena causal son, el de fuerza motriz-presión-estado-impacto-respuesta (DPSIR), presión-estado-respuesta (PSR) o fuerza motriz-estado-respuesta (DSR); donde el desarrollo social y económico, son considerados fuerzas motrices que ejercen presión sobre el medioambiente, produciendo cambios en el estado de éste. A su vez, estos cambios producen impactos sobre la salud humana, el sistema ecológico y los materiales, que

pueden producir respuestas sociales que realimentan las fuerzas motrices, las presiones, o sobre el estado o directamente los impactos (Smeets y Weterings, 1999). Estos marcos conceptuales difieren en el grado en que subdividen los pasos en la cadena causal.

Los mismos se esquematizan en la Fig. 1.1:



Fuente: Niemeijer y de Groot (2008).

Fig. 1.1. Marco de cadenas causales

- Marco presión-estado-respuesta (PSR, OECD 1999): identifica indicadores de presión, de estado y de respuesta. Entiende que las actividades humanas generan presiones sobre el medio ambiente (indicadores de presión), que modifican la calidad y cantidad de los recursos naturales (indicadores de estado), en virtud de lo cual se produce una respuesta que tiende a modular la presión (indicadores de respuesta) (Manteiga, 2000).

- Marco fuerza motriz-estado-respuesta (DSR, OCDE, 1999): el componente presión se sustituye por el de fuerza motriz. Este concepto da cabida a un marco más amplio de influencias que el de presión; incluyendo el comportamiento de los agricultores, las políticas gubernamentales, económicas, sociales y culturales (Niemeijer y de Groot, 2008).

- Marco fuerza motriz- presión-estado-impacto-respuesta (DPSIR, Smeets y Wetering, 1999): Sigue esencialmente el mismo patrón general, pero permite distinguir entre fuerzas motrices indirectas, tales como el desarrollo social y económico. Asimismo distingue entre las presiones, tales como las emisiones que influyen en el medioambiente y los impactos o cambios en el estado del ambiente sobre la salud humana, los sistemas ecológicos y recursos (Niemeijer y de Groot, 2008).

MARCO CONCEPTUAL DE LA ECONOMÍA AMBIENTAL

EXTERNALIDADES Y VALOR ECONÓMICO TOTAL⁶

La riqueza ambiental es la base principal del desarrollo social y económico de un país. Ésta brinda un enorme flujo de bienes⁷ y servicios ambientales⁸ que dependen del estado de los recursos naturales; por lo que el bienestar de la sociedad depende no sólo de los bienes y servicios generados por la actividad económica, sino también de la calidad del medio ambiente sobre la que sustentan dichas actividades económicas.

⁶ Extracto en base al trabajo de Martínez Coll (2001).

⁷ Bienes ambientales: Recursos tangibles utilizados por el ser humano como insumos en la producción o en el consumo final y que se gastan y/o transforman en el proceso; como bosques, pasturas naturales, recursos pesqueros, suelos, agua superficial y subterránea, etc. (CCAD-CBM, 2002).

⁸ Servicios ambientales: Son las funciones ecosistémicas no tangibles, utilizadas por el hombre que le generan beneficios, como la regulación de gases, regulación del clima, regulación hídrica, reciclado de nutrientes, tratamiento de residuos, etc. (CCAD-CBM, 2002).

Uno de los problemas económicos básicos de los que debe ocuparse una sociedad es el de la asignación de los recursos escasos, capital, trabajo y recursos naturales, que son empleados en la producción de bienes y servicios.

La mayor parte de los recursos existentes tienen como medio de asignación de valor y control, al mercado. En un mercado de competencia perfecta⁹ o idealmente competitivo acuden productores y consumidores que interaccionan de manera racional buscando maximizar su función de bienestar (utilidad en el caso de los consumidores y beneficio en el caso de los productores), dando origen a la formación de los precios. Dichos precios sirven de guía para tratar de resolver el problema de la asignación de los recursos.

Los consumidores revelan sus preferencias a través de su disposición a pagar por una serie de bienes y servicios, la que es recogida por los productores que organizan el proceso productivo. Luego, la competencia entre ellos así como entre consumidores y entre oferentes, deberían garantizar un resultado óptimo. Sin embargo este resultado no se alcanza, ya que en el mercado existen imperfecciones que hacen que se generen un conjunto de precios que no son el reflejo de la teoría de la competencia perfecta o mercado ideal.

Estas imperfecciones o fallas de mercado, afectan la asignación eficiente de los recursos y tienen que ver con: la existencia de competencia imperfecta en el mercado de bienes y servicios y de factores productivos, donde distorsiones como la existencia de poder de mercado impide la libre competencia entre agentes o rigideces de tipo geográfico y salarial que impiden el libre acceso al mercado; la incompletitud o falta de información, ya que es prácticamente imposible que todos los agentes en un mismo tiempo estén informados sobre todo lo que sucede en todos los mercados; y la inexistencia de un mercado para ciertos bienes y servicios no transables, como es el caso de los bienes y servicios ambientales.

⁹ Mercado de competencia perfecta: es aquel en el cual los agentes, productores y consumidores, disponen de toda la información de lo que sucede en el mercado, siendo todos precios aceptantes. De esta manera ninguno individualmente puede influenciar los precios establecidos en el mismo. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, España, 2003)

Para este último caso en particular, las fallas antes mencionadas producen distorsiones en la información que tienen los individuos, de tal manera que no es posible la formación de un precio que permita asignarles un valor; motivo por el cual resulta fácil subestimar su valor económico. Esta subvaloración llevaría a asignar a los recursos naturales usos no óptimos, produciendo ganancias o pérdidas en el bienestar económico de la sociedad.

Los efectos sobre el bienestar de la sociedad originaron el concepto de externalidad. Se entiende por externalidad a todos los costos o beneficios que recaen sobre la sociedad y el medioambiente como consecuencia de una actividad económica, y que no están contemplados en el precio del producto que los ocasiona. Los costos externos o externalidades no repercuten en los costos y beneficios del empresario, pero si suponen un costo para la sociedad generalmente en forma de efectos socioeconómicos y medioambientales. De allí que el costo de un proceso productivo para la sociedad en su conjunto o costo social es igual a la suma de los costos externos y los internos o privados.

El impacto¹⁰ que una determinada actividad económica tiene sobre el ambiente afecta a toda o parte de una comunidad, generalmente ajena al desarrollo de la misma. En consecuencia el impacto ambiental o por lo menos parte de éste es un claro ejemplo de economías externas o externalidad, generadas por una actividad.

Las acciones judiciales, amparadas en el marco legal explicitado en párrafos anteriores, por contaminación ambiental o mal uso de la base de recursos naturales pueden involucrar importantes transferencias de ingresos y afectar, de forma significativa la asignación de recursos en la economía; lo que requiere la estimación lo más exacta posible del valor monetario del deterioro del recurso o el costo de su restauración o rehabilitación.

¹⁰ El Impacto Ambiental se define como el cambio en un parámetro ambiental, en un determinado período y en una determinada área, que resulta de una actividad dada, comparado con la situación que ocurriría si esa actividad no hubiera sido iniciada” (Wathern, 1988).

La valoración económica entonces, debe proveer la información necesaria para: i) realizar las evaluaciones de impacto ambiental de los proyectos de inversión; ii) incorporar los cambios producidos en la base de recursos naturales y los impactos ambientales en la contabilidad nacional/regional y el sistema de cuentas ambientales; iii) conocer el valor de los bienes y servicios naturales nacionales/regionales para su apropiada administración y gestión; iv) diseñar y planificar el desarrollo nacional/regional en consistencia con un uso sustentable de los BSA y sus ecosistemas; v) mejorar el desempeño del mercado en la asignación de los recursos y uso de los BSA.

EL VALOR DE LOS BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES: EL VALOR ECONOMICO TOTAL (VET)¹¹

Una dificultad de la economía ambiental al encarar la valoración del medio ambiente es definir quién valoriza al mismo, y luego especificar cuales son los derechos de aquellos usuarios de bienes y servicios ambientales y cuales, los de los no usuarios.

Para valorar los usos que pueden ser asociados a los recursos y bienes ambientales, es necesario en primera instancia realizar una clasificación y diferenciación de los usos que pueden estar asociados a estos, de acuerdo con las preferencias que los individuos muestren o revelen hacia ellos. Las preferencias individuales son el factor fundamental que determina el valor; ya que los recursos naturales y ambientales son considerados en términos económicos solo en su capacidad para satisfacer necesidades y por lo tanto, valorados según la escala de preferencias humanas.

El concepto de valor de los BSA ha sido analizado y formalizado de varias maneras y se le ha dado diversas interpretaciones en el tiempo, sin embargo se ha llegado a aceptar el concepto de ‘Valor Económico Total’, VET (Cristeche y Penna, 2008). Este permite incluir tanto los bienes y servicios tradicionales (tangibles) como las funciones del

¹¹ Azqueta D. (1994).

medioambiente (intangibles), además de los valores asociados al uso del recurso mismo. Se define conceptualmente como la suma de los valores de uso y de no uso, según la Ec.1.1.

$$VET = VU + VNU \quad (1.1)$$

$$VU = (VUD + VUI) + VO$$

$$VNU = VE$$

$$VET = (VUD + VUI) + VO - VE$$

Donde: VET= Valor Económico Total; VU= Valor de Uso; VNU= Valor de No Uso; VUD= Valor de Uso Directo; VUI= Valor de Uso Indirecto; VO= Valor de Opción; VE= Valor de Existencia.

El Valor de Uso, está compuesto por el Valor de Uso Directo, el Valor de Uso Indirecto y el Valor de Opción. El Valor de No Uso, se asocia habitualmente con el concepto de valor de existencia.

Estos refieren al valor de los servicios del ecosistema que son empleados por el hombre con fines de consumo y de producción. Engloba a aquellos servicios del ecosistema que están siendo utilizados en el presente de manera directa o indirecta o que poseen un potencial para proporcionar Valores de Uso Futuros.

- El Valor de Uso Directo hace referencia a los bienes y a los servicios del ecosistema que son utilizados de manera directa por los seres humanos, tales como: la producción de alimentos, la producción de madera para utilizar como combustible y como insumo para la construcción, los productos medicinales derivados de sustancias naturales, la caza de animales, etc. Dentro de esta categoría pueden identificarse ciertos servicios ambientales cuyo consumo no implica una disminución en el stock o flujo total de los mismos; tal es el caso del disfrute de actividades culturales y de recreación que no se asocian con la generación de productos. Por lo que surgen dos tipos de Valor de Uso

Directo, el de uso consumptivo y el de uso no –consumptivo. El primero se da cuando la cantidad de un bien disponible se ve reducida cuando es consumida por un conjunto de actores; y en cambio es no-consumptivo cuando dicho consumo no trae aparejada una reducción en la disponibilidad de los mismos, ej. disfrute de la belleza escénica.

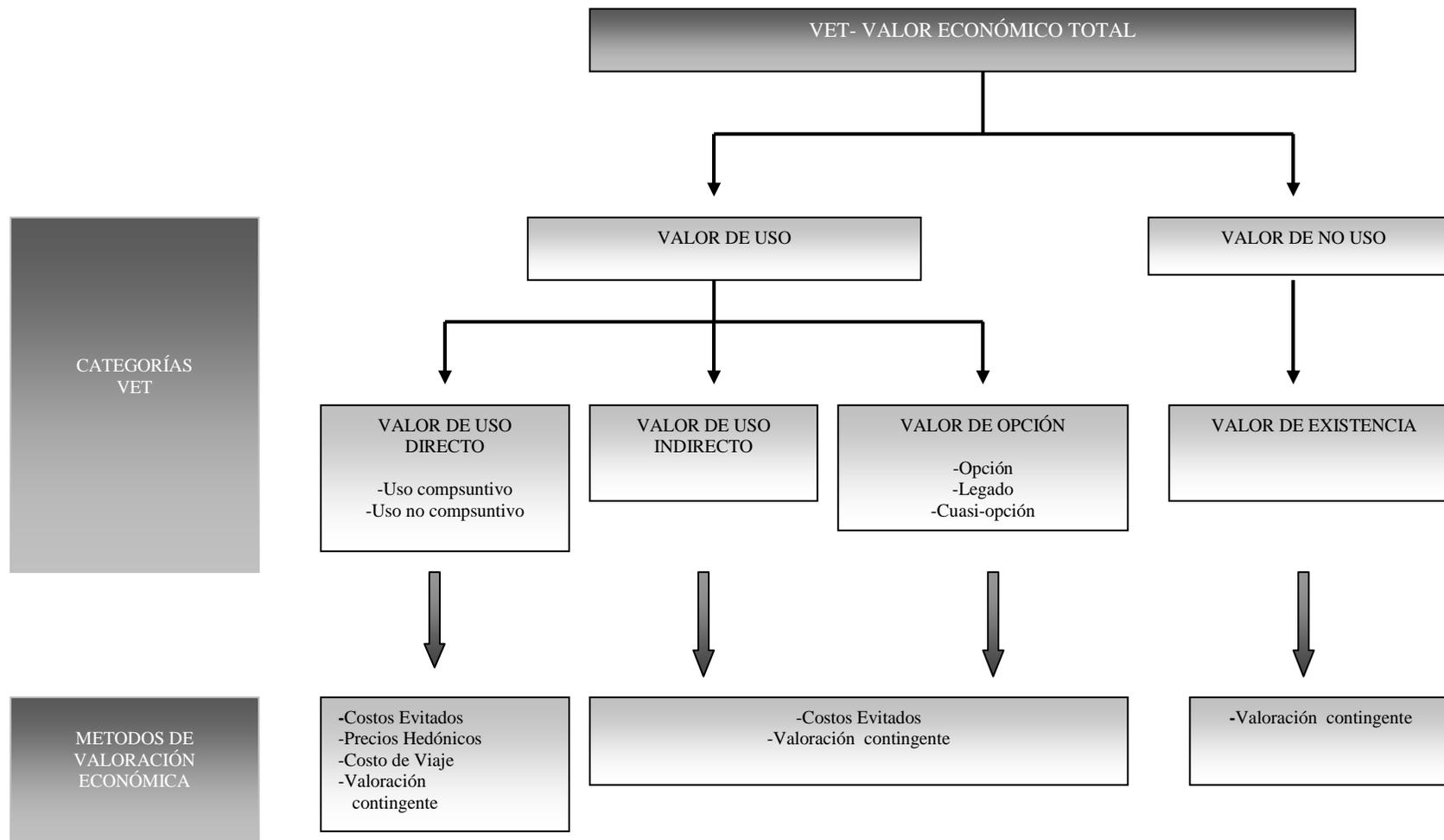
- El Valor de Uso Indirecto se asocian a los servicios ambientales derivados de las funciones de soporte de los ecosistemas y que pueden considerarse como requisitos naturales o insumos intermedios para la producción de bienes y servicios finales. En el caso de la producción de alimentos, es muy importante la intervención de servicios del ecosistema tales como: la provisión de agua y de nutrientes del suelo, la polinización y el control biológico de plagas.

- El Valor de Opción se refiere al bienestar que experimentan las personas por el hecho de preservar la oportunidad de utilizar en el futuro los bienes y servicios del ecosistema, ya sea por parte de las generaciones presentes (valor de opción) o de las generaciones futuras (valor de legado).

El ‘valor de cuasi-opción’ representa el beneficio que se percibe por postergar decisiones que en un contexto de elevado grado de incertidumbre puedan producir efectos irreversibles hasta que surja nueva información que revele si ciertos servicios ambientales poseen valores que se desconocen hasta el momento.

El valor de no uso se refiere al disfrute que experimentan las personas simplemente por saber que un servicio ambiental existe, aún si no esperan hacer uso del mismo de forma directa o indirecta a lo largo de todas sus vidas. Este valor también es conocido como ‘Valor de Existencia’, ‘Valor de Conservación’ o ‘Valor de Uso Pasivo’

La relación entre la valoración de los BSA y los métodos de valoración económica se muestran en la siguiente figura.



Fuente: Millenium Ecosystem Assessment (2003, citado de Cristeche y Penna, 2008).

Fig. 1.2. Descomposición del valor económico total y métodos de valoración económica

MÉTODOS DE VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES ¹²

Los métodos de valoración de los BSA derivan de un enfoque utilitarista antropocéntrico, lo que implica poder contar con un indicador que refleje la importancia del medio ambiente en el bienestar social (Azqueta, 1994).

Según David Pearce (1994, citado de Cristeche y Penna, 2008), la esencia de la valoración económica es encontrar la disposición a pagar por obtener los beneficios ambientales o, por evitar los costos ambientales medidos donde el mercado revele esta información. De acuerdo a la forma en que se revela esa disposición a pagar, los métodos de valoración pueden agruparse en:

- Directos o de preferencias declaradas: Se realiza a través de técnicas experimentales o encuestas a partir de las cuales el consumidor hace explícitas sus preferencias, dando origen al método conocido como Valoración Contingente (Riera, 1992 citado de Cristeche y Penna, 2008). Pueden estimarse a partir del mismo los Valores de No Uso' o de 'Existencia' y los 'Valores de Uso Directo e Indirecto'

- Indirectos o de preferencias reveladas: Pretende estimar el valor del activo ambiental a través de comportamientos o preferencias del consumidor que se revelan en mercados reales. Dentro de este grupo se encuentran los métodos de Costos evitados o inducidos, Precios hedónicos y el Coste del viaje. Mediante el primero pueden obtenerse el 'Valor de Uso directo', el 'Valor de Uso indirecto' y el 'Valor de Opción'; mientras que con los restantes solo el 'Valor de Uso directo'.

Se desarrollan a continuación los lineamientos generales de los distintos métodos de valoración económica de bienes y servicios ambientales.

¹² Resúmen que se sustenta principalmente en los trabajos de Azqueta (1994), Azqueta y Pérez (1996), Cristeche y Penna (2008)

Método de Valoración Contingente

Es uno de los métodos más utilizados para estimar el valor de los bienes y servicios ambientales que no poseen mercado, y que no guardan relación de sustitución o complementariedad con bienes privados que si poseen mercado. Dado que las funciones son estrictamente separables, se utilizan instrumentos para identificar las preferencias de las personas en relación a un determinado bien o servicio ambiental. Se crea así un mercado hipotético por medio del cual se busca la estimación del bien o servicio.

Este método identifica las preferencias de las personas con relación a un determinado bien o servicio ambiental, en lugar de realizar estimaciones sobre la base de conductas que se observan en el mercado.

El modelo de valoración es probabilístico, conceptualmente se basa en obtener respuestas sobre el mayor nivel de utilidad si se compra o se mejora algún bien o servicio ambiental y obtener la disposición a pagar. Se indaga sobre el precio que se está dispuesto a pagar, lo que puede expresarse como sigue:

$$U_1(Q_1) > U_0(Q_0) \quad (1.2)$$

Donde: U_1 : Utilidad final; Q_1 : Situación final que supone la mejora de la calidad o cantidad de un bien o servicio ambiental; U_0 : Nivel de utilidad inicial; Q_0 : situación inicial en la que no se dispone del recurso.

Este método mide la pérdida de bienestar ante un cambio en la calidad ambiental y puede valorar el valor económico total de un bien o servicio.

Una de las aplicaciones más importantes es la de medir cambios que todavía no se han producido.

Método de los Costos Evitados/ Inducidos/de Daño Evitado

En este método el bien o servicio ambiental bajo análisis no se comercia en el mercado, pero está relacionado con un bien que sí lo es está, es decir que posee un precio; el vínculo entre ambos radica en ser sustitutos en el marco de una determinada función de producción, admitiéndose dos posibilidades: i) El bien o servicio ambiental es un insumo más dentro de la función de producción ordinaria de un bien o servicio privado, ii) El bien o servicio ambiental, junto con otros bienes y servicios, forma parte de la función de producción de utilidad de un individuo o una familia.

Cuando el bien o servicio ambiental es un insumo más de la función de producción de un bien o servicio privado, se asume que los costos de evitar daños al medioambiente o de reemplazar ecosistemas o los servicios que estos proveen, constituyen estimaciones útiles de valor toda vez que si las personas están dispuestas a incurrir en este tipo de costos, entonces los servicios deben valer al menos el monto que la gente paga para ello. Se distinguen dentro de este enfoque el cambio en la productividad y los efectos sobre la función de utilidad

El cambio en la productividad, es una modalidad muy utilizada para la valoración de los efectos de la producción agrícola y mide ganancias o pérdidas de producción en función del estado de los recursos. Se requiere para su implementación de una función 'Dosis-Respuesta' o el resultado de investigaciones que miden la presión sobre el ambiente como causa, y resultados específicos sobre la productividad, como efecto. Se obtiene a partir de ella, una estimación del impacto ambiental de una práctica particular que puede luego ser utilizada para predecir la mejora de la presión ejercida.

$$X = X(V, K, q) \quad (1.3)$$

Donde: V: Factores fijos de la producción; k: factores variables de la producción; q: calidad ambiental

Dicha función indica que la producción de un bien X es función de factores fijos, variables y de la calidad ambiental. Las variaciones de esta última, producirán variaciones en la producción del bien.

Cuando no se dispone de información para construir la función dosis-respuesta sobre la productividad, pueden aplicarse las siguientes variantes:

- **Costos de Reemplazo (o Precio Sombra):** El mismo asume que es posible calcular los costos en los que se incurre para sustituir los activos ambientales dañados, a causa del desarrollo de alguna actividad humana. Se pretende obtener así, una estimación de los beneficios que se perciben por evitar que se genere un determinado daño o deterioro ambiental.
- **El costo de oportunidad:** Calcula el costo de destinar recursos para la conservación del medio ambiente, contabilizando todos los ingresos perdidos por no asignar esos recursos a otras funciones.
- **El costo de relocalización:** Constituye una variante de los costos de reemplazo, a través de la cual se estiman los costos de relocalizar una instalación física, de manera de evitar una potencial disminución de la calidad ambiental.
- **Gastos defensivos o preventivos/Costos de Mitigación:** Se valora mediante esta variante, los cambios ambientales considerando el costo de las acciones defensivas realizadas por los individuos para prevenir o mitigar efectos ambientales indeseables. El gasto que se efectúa es considerado como el mínimo valor del beneficio ambiental.

Los efectos en la función de utilidad se utilizan cuando el bien o servicio ambiental forman parte junto con otros bienes de la función de utilidad. Bajo este enfoque la

valoración de los servicios ambientales consiste en analizar la relación entre bienes privados y ambientales que forman parte de una misma función de producción de utilidad y que son sustitutos entre sí; entonces la alteración de un servicio ambiental provocará que se aumente o disminuya la demanda de un bien privado. La estimación del costo de la alteración ambiental se reflejará a partir del grado de cambio en la demanda del bien privado multiplicado por su precio, debido al cambio en la calidad del bien ambiental.

Es generalmente aplicado ante acciones que afectan la salud de las personas, ya que el mismo incide de manera directa en su bienestar. La función de producción de la salud de las personas se puede definir como la combinación de diversos bienes y servicios, entre los que se incluyen los ambientales y que generan un estado de salud deseado.

Método de los Costos de Viaje

Este método consiste en analizar la relación entre bienes y servicios privados y ambientales complementarios. Así, para el consumo del servicio ambiental paisaje de una reserva natural, se requiere del consumo de bienes privados como vehículo, combustible, costo de la entrada, tiempo, estadías, etc.; la sumatoria de los costos incurridos por el consumidor para disfrutar de ese servicio ambiental, es una medida del valor que el mismo tiene para ese consumidor. Luego, la sumatoria del número de visitas que realizan, más los costos de viaje en lo que incurren los visitantes, constituye el valor estimado del mismo, a partir de la disposición a pagar. Lo antes expresado se obtiene a partir de la curva de demanda individual y su integración al conjunto de visitantes, como sigue:

$$V_i = \beta_0 + \beta_1 CV_j \quad (1.4)$$

Donde: V_j = Número de visitas que realiza un individuo; CV_j = Gastos incurridos o costo de viaje; j = representa a cada persona.

Luego, el Beneficio Total o Valor Total viene dado por la Ec. 1.5.

$$BT = \sum_{i=1}^k V_i CV_i \quad (1.5)$$

Donde: BT: Beneficio Total; V_i = cantidad de visitantes; CV_i = costos de viaje individuales

Este método puede utilizarse para estimar los costos y los beneficios resultantes de los cambios en los costos de acceso a un sitio donde se desarrollan actividades recreativas, la eliminación o creación de un determinado espacio natural que provee servicios de recreación, los cambios en la calidad del ambiente de un sitio recreativo.

Método de los Precios Hedónicos

Este método es utilizado para calcular el valor económico de bienes y servicios del ecosistema que afectan de manera directa a los precios de mercado.

El método asume que muchos de los bienes que se comercian en el mercado poseen un conjunto de características y atributos que no pueden adquirirse por separado, dado que los mismos no se intercambian en un mercado independiente.

Un ejemplo de este tipo de bien privado es la vivienda, así la consideración de compra de la misma tiene en cuenta además de las características edilicias del bien en si mismo, el entorno, la tranquilidad, la pureza del aire, la cercanía a plazas o espacios verdes, etc. Donde el precio del bien privado (vivienda) es función de un conjunto de atributos, a saber:

$$P_h = (S_h, N_h, X_h) \quad (1.6)$$

Donde: P_h = precio hedónico del bien; S_h = vector de características estructurales de la vivienda (m^2 , materiales, etc.); N_h = vector de características del barrio (comercios, medios de transporte, seguridad, etc.); X_h = características del medio ambiente circundante (proximidad de espacios verdes, calidad de agua, aire, ruido, etc.).

IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA: EL CASO DE ESTUDIO

Históricamente en el Valle Central de Catamarca se desarrollaron actividades agrícolas bajo riego (horticultura, citrus, algodón y forrajes) y tambo. Las mismas no superaban las 3.000 ha en el año 1986. (Correa, 1986). A partir de 1990, empresas de diferentes sectores de la economía nacional comenzaron a invertir en la provincia para implantar montes de olivo. Esta actividad fue promovida por el diferimiento impositivo establecido por la Ley Nacional de Desarrollo Económico N° 22.021 y su modificatoria, Ley 22.702. La finalidad de ellas fue generar fuentes de trabajo y revertir el éxodo de la población (Ley 22.702 28/12/82).

La Ley 22.702, permitió deducir de la materia imponible del impuesto a las ganancias o del que lo complemente o sustituya, lo siguiente en relación a la actividad agropecuaria entre otras actividades promovidas¹³:

- *‘El ciento por ciento (100%) de los montos invertidos en maquinaria agrícola’.*
- *‘El ciento por ciento (100%) de los montos invertidos en praderas y plantaciones permanentes, incluidas las cortinas forestales’.*
- *‘El ciento por ciento (100%) de los montos invertidos en vivienda única en el establecimiento para el personal y su familia; trabajos de desmonte, rozaduras, nivelación, etc. Los beneficios que acuerda este inciso en cuanto a viñedos, montes frutales, ágave, sisal y otros textiles y otras plantaciones perennes, alcanzan a todas las erogaciones que constituyan costos de implantación’.*
- *‘Se encontrarán exentos del pago del impuesto a las ganancias o del que lo complemente o sustituya, los beneficios de las explotaciones agrícolas-ganaderas realizadas en predios adquiridos o adjudicados mediante el régimen de saneamiento de la*

¹³ Extraído de la Ley 22.702, ANEXO 1

propiedad rural indivisa y del minifundio de la provincia de La Rioja o mediante el régimen similar instituido por el gobierno de la provincia de Catamarca para su jurisdicción, la que regirá por un término de 15 años’.

- *‘Estarán exentas del pago del impuesto sobre el capital los bienes incorporados al patrimonio de las explotaciones por aplicación de las disposiciones antes mencionadas’.*

La proporción de capital aportado a través de este mecanismo fue del 75% del monto de la inversión, a devolver a su valor histórico¹⁴ en 5 cuotas consecutivas a partir del año 15° de iniciada la inversión, para el caso de cultivos frutales.

Esta franquicia fiscal asociada a otras leyes, se transformó en una herramienta de financiación sin precedentes para inversiones agropecuarias, logrando las provincias alcanzadas por este régimen una importantísima ventaja competitiva¹⁵ respecto de otras regiones del país.

A raíz de ello se desmontaron alrededor de 23.000¹⁶ hectáreas de bosque nativo e implantaron en su lugar montes de olivo, por un monto de inversión cercano a los 250 millones de dólares (Alderete Salas y Villa, 2000). Los montes quedaron distribuidos principalmente en dos zonas de producción: 61 % (14.000 ha¹⁶) en el Valle Central de Catamarca y el 39 % (9.000 ha¹⁶) restante en la región oeste de la provincia, en particular en los departamentos de Pomán, Andalgalá y Tinogasta. El tamaño promedio de las explotaciones agropecuarias es de 270 ha, con superficies mínimas de 100 ha y máximas de 1.200 ha. (Alderete Salas y Bauzá, 2002). En la actualidad continúa la implantación de

¹⁴ ‘La Ley de Convertibilidad de 1991 (estabilidad monetaria) es asociada por los inversores al diferimiento impositivo contemplado en el marco de la Ley 22.702 de 1982; cuyo efecto fue la suspensión de todas las cláusulas o mecanismos indexatorios, entre ellos el previsto para la devolución del diferimiento de impuestos. Debido a ello esta franquicia fiscal se transforma en un crédito sin intereses ni actualizaciones, en pesos y a muy largo plazo. Además del régimen de diferimientos de impuestos nacionales, se dispusieron una serie de exenciones impositivas particulares, a saber: la Ley de Estabilidad fiscal y promoción de inversiones para empresas agropecuarias N° 5.020, que dispuso beneficios sobre los impuestos inmobiliario, ingresos brutos y sellos; la Ley Nacional de Inversiones para Bosques Cultivados N° 25.080, que exime de impuestos inmobiliarios, de ingresos brutos y sellos a este tipo de actividades’. (Caeiro, 2009)

¹⁵ Ventajas competitivas. Suelen denominarse así a las ventajas comparativas que no provienen de la dotación específica de recursos naturales de un país o de otros factores semejantes.

¹⁶ Dato al año 2000.

montes olivareros; un porcentaje superior al 70 % de los ya implantados están en producción, pero aún no se ha alcanzado en su totalidad la etapa de producción comercial.

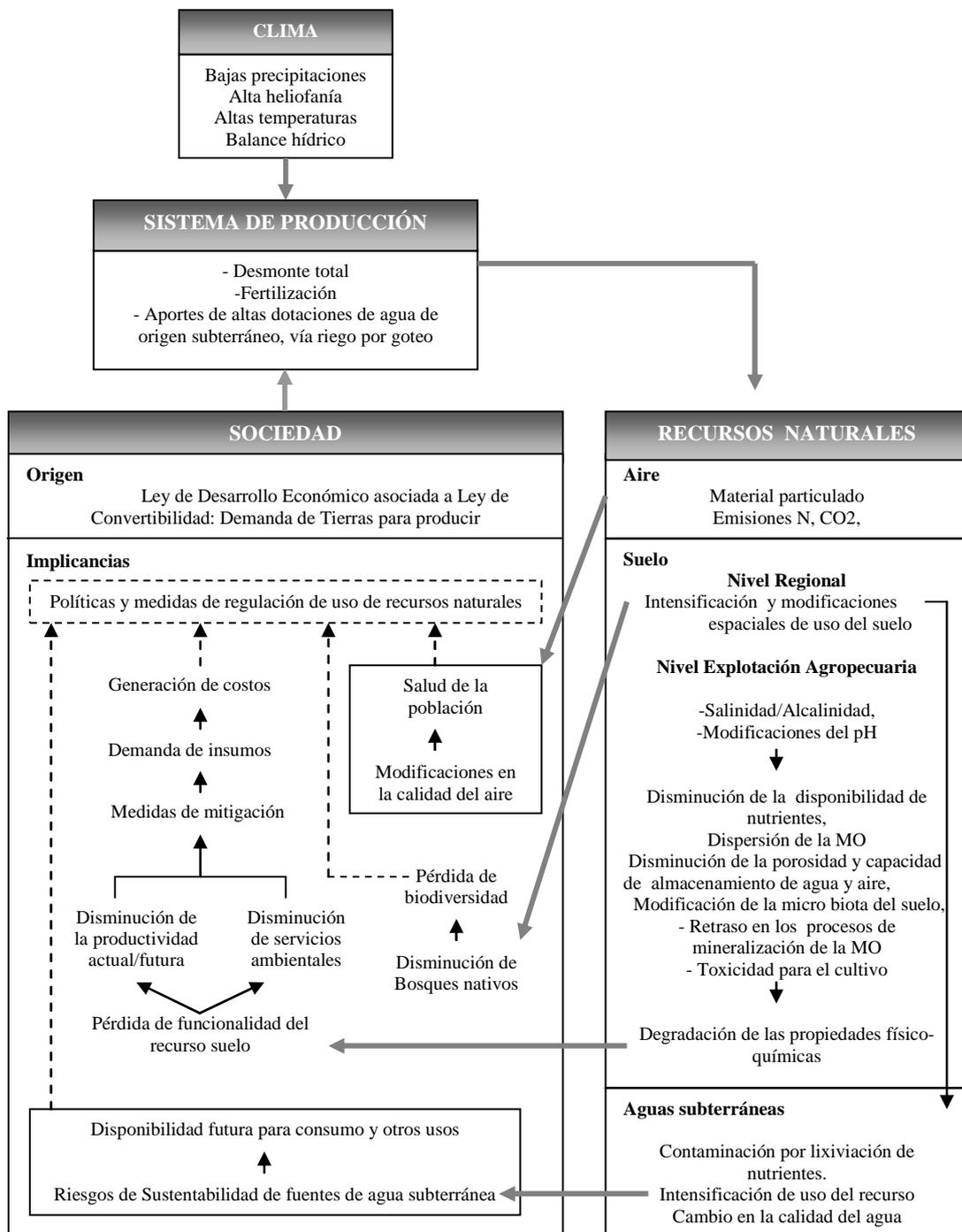
Los montes frutícolas, se implantaron eliminando totalmente el monte original degradado. Se utiliza tecnología de producción de tipo intensiva e incluye alta densidad de plantación en marcos promedios de 7 x 4 m, implantación de pasturas (*Buffel grass*) entre líneas, riego presurizado por goteo con agua proveniente de fuentes subterráneas, fertilización con nitrógeno y potasio aportado en la línea de riego, control de malezas químico en la línea de plantación y mecánico entre líneas. Dado que se trata de una zona nueva de producción, las plagas que se registran no requieren el uso masivo de productos fitosanitarios.

Como resultado del desarrollo de la actividad productiva se han introducido cambios en el estado de los recursos, en especial sobre el recurso suelo como modificaciones de la composición espacial de la vegetación, grados de cobertura del suelo, propiedades físico-químicas del suelo por utilización de agua subterránea y aplicación de fertilizantes. No hay estudios realizados sobre el impacto que esta actividad ha tenido y tiene sobre el suelo, en particular sobre las características químicas y físicas del mismo. Como consecuencia tampoco es factible afirmar que se puede esperar del comportamiento de dicho recurso. Se desconoce en qué medida se ha producido degradación o deterioro del suelo y si esto ha sucedido, cómo y cuándo dicha degradación puede impactar sobre la producción y sobre el medioambiente.

Los suelos son poco conocidos en relación a otros recursos naturales en el Valle Central de Catamarca. La heterogeneidad de los mismos, la amplia gama de funciones y servicios que realizan y la variedad y combinación de presiones que se ejercen sobre ellos, requieren especial atención. Diferentes actividades ejercen distintas presiones sobre el suelo y causan disímiles impactos, los que influyen sobre las funciones y servicios que este brinda (Tzilivakis *et al.*, 2005). La Comisión de las Comunidades Europeas (2002) reconoce las siguientes funciones esenciales del suelo:

- Producción de alimento y otros productos, como medio donde fijar sus raíces y como medio que provee agua y nutrientes.
- Almacenamiento, filtrado y transformaciones: Capacidad de almacenamiento y transformación de minerales, materia orgánica, agua, energía y una diversidad de sustancias. Filtro natural de las aguas subterráneas, emisiones de CO₂ y metano.
- Hábitat y reservorio de genes: Hábitat para una gran cantidad y variedad de organismos vivientes, todos con patrones genéticos únicos. Por lo tanto realiza funciones ecológicas esenciales.
- Entorno físico y cultural: Elemento del paisaje y patrimonio cultural. Plataforma para las actividades humanas.
- Fuente de materias primas: fuente de arcillas, minerales, arena y turba.

El análisis de los cambios de estado en los recursos naturales con énfasis en el recurso suelo y sus probables implicancias debido al uso de dicho recurso para la producción de olivos, se muestran en la siguiente figura.



-----► Indica que la respuesta, incentivará la aparición de nuevas acciones de Fuerza motriz.

Fig. 1.3. Marco causa-efecto del uso agropecuario del suelo para la producción de olivos. Valle Central de Catamarca

La Figura 1.3 presenta como origen del desarrollo de la actividad agropecuaria a un posible factor de carácter social, la necesidad de crear puestos de trabajo y evitar el éxodo de la población. Esta necesidad se hace efectiva a partir de la implementación de la Ley Nac. N° 22.702 que incentiva la generación de fuentes de trabajo, creando ventajas competitivas para la región mediante el financiamiento de inversiones para el desarrollo de la actividad agropecuaria, entre otras. Esta Ley es utilizada en asociación a la Ley de Convertibilidad, por ello el desarrollo agropecuario en la región del Valle Central de Catamarca se produce en la década de los años noventa, luego de aproximadamente 10 años de su sanción. En relación a ello se incentiva la demanda de tierras para la producción, el desmonte total para la implantación de cultivos y la utilización de tecnología intensiva y agua subterránea para producir. Estas actividades, sumadas a las condiciones propias de los recursos naturales en relación al clima del Valle Central, resultan en probables cambios de estado de los recursos afectados, a saber:

- Aire: emisión de material particulado y de otros gases, producto de desmontes y la práctica de fertilización: modifican la calidad del aire con probables incidencias sobre la salud de las personas.
- Suelos: i) intensificación de uso del suelo y modificación del patrón espacial de uso a nivel regional ocasionados por el desmonte: reducen la superficie de bosques nativos provocando la pérdida de biodiversidad, y promueven la utilización de otros recursos naturales asociados a la producción, como el agua subterránea; ii) modificación de las características físico-químicas y biológicas del suelo como resultado de las prácticas de manejo sobre él, en particular fertilización y riego. Estos efectos pueden manifestarse principalmente a través de problemas de salinidad, sodicidad, disminución de los tenores de materia orgánica y de nutrientes, e implican la degradación del recurso. Esta, induce la pérdida de la capacidad del suelo para cumplir con sus funciones ambientales resintiendo los servicios ambientales de tratamiento de residuos, reciclado de nutrientes, intercambio gaseoso, oferta de agua y

nutrientes, y la productividad de los cultivos. Ambos aspectos, los servicios ambientales y la pérdida de productividad actual y/o futura, afectan el sostenimiento del desarrollo logrado y los futuros a lograr en la región.

A los efectos de disminuir las presiones indicadas y reestablecer la funcionalidad del recurso, serán necesarias medidas para mitigar los efectos adversos. Estas demandarán insumos y generarán costos económicos para el sector privado y el Estado.

- Agua subterránea: i) contaminación por lixiviación de compuestos nitrogenados aportados por los fertilizantes: estos compuestos resultan tóxicos para la salud de la población en el agua de bebida e, ii) intensificación de uso: ella incide sobre la cantidad y la calidad del agua disponible, debido a que la extracción de volúmenes que superan a los de recarga producen la concentración de sales. La implicancia está asociada a la sustentabilidad de las fuentes de agua subterránea, lo que condicionará su disponibilidad futura para su uso prioritario, el consumo humano.

En respuesta a los procesos de cambio de estado de los recursos y sus implicancias, se espera se generen políticas y medidas para regular el uso de los recursos naturales. Estas medidas actuarán como una nueva fuerza motriz, para mantener las presiones identificadas en niveles que permitan un desarrollo equilibrado y sostenible en el tiempo.

En relación a lo expuesto y centrandó el trabajo en los impactos sobre el recurso suelo debido a las prácticas de producción, se plantean las hipótesis y objetivos para este trabajo.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

1. Las vastas plantaciones de olivos implantadas en el Valle Central de Catamarca, producen modificaciones en el patrón de uso del suelo de la región.

2. La tecnología de manejo del cultivo del olivo en el Valle Central, produce la degradación de las propiedades físico-químicas del suelo.

3. La degradación de las propiedades del suelo ocasionada por la tecnología de manejo productivo del cultivo de olivo, genera costos económicos de implicancia privada y social.

OBJETIVO GENERAL

Determinar el impacto ambiental sobre el suelo ocasionado por la tecnología de manejo del cultivo del olivo en la región del Valle Central de Catamarca, y valorarlo económicamente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar los cambios en el uso del suelo en la Región Valle Central de Catamarca.

2. a. Identificar y cuantificar las variables que reflejen el impacto ambiental producido por la tecnología de manejo del cultivo del olivo sobre el recurso suelo en la región del Valle Central de Catamarca, a nivel de explotación agropecuaria.

2. b. Construir curvas de impacto en el tiempo y un modelo que lo represente.

2. c. Determinar los indicadores críticos que permitan el monitoreo del recurso.

3. Valorar los costos económicos privados para mitigar el daño producido sobre el suelo y estimar el valor económico de los servicios ambientales afectados por dicho daño.

METODOLOGÍA GENERAL

En este apartado se describirá en forma general algunos aspectos de la metodología utilizada en el presente trabajo. Los materiales y métodos utilizados, son descritos en los siguientes dos capítulos en forma detallada

La selección de indicadores para el presente trabajo se realizó de acuerdo a las características del problema a estudiar, para lo cual se trabajó bajo el enfoque de Cadena Causal, aplicando el marco conceptual de fuerza motriz- estado-impacto- respuesta (DPSIR), y restringe la identificación posterior de indicadores a aquellos que son pertinentes a los objetivos planteados en este estudio.

Se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Alcance geográfico: Valle Central de Catamarca, explotaciones agropecuarias del sector olivícola, especialmente las localizadas sobre asociación de suelos ‘Colonia del Valle’.

- Identificación de Indicadores:

- de Fuerza Motriz: se reconoce a una fuerza motriz a la decisión política de desarrollo, materializada a través de la modificatoria de Ley de Desarrollo Económico. El indicador utilizado es el monto deducible de impuestos a las ganancias invertido en el sector, ya señalado en el apartado de este capítulo Identificación de la problemática: el caso de estudio (pág. 35).

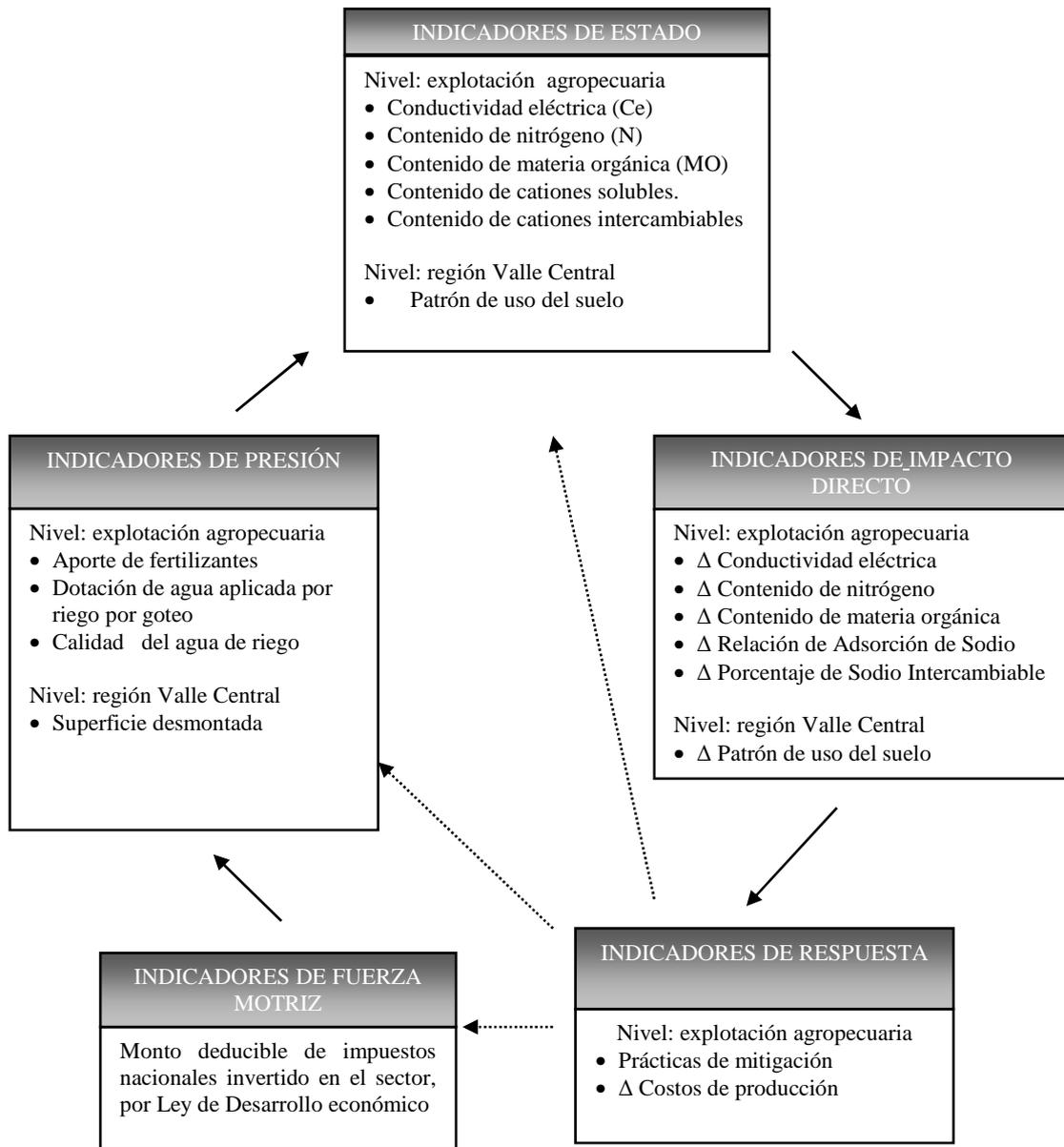
- de Presión: indican la presión que se ejerce sobre el recurso suelo y que responden al tipo 'relativos a los aportes' y a la clasificación '*means-based*' o basados en las prácticas de producción.

- de Estado: muestran el efecto que las prácticas de manejo producen sobre el paisaje y el recurso suelo a lo largo del tiempo; responden al tipo de ambientales 'relativos al estado del sistema' y a la clasificación de '*effect-based*' o basados en los efectos que producen las prácticas de producción'.

- de Impacto: se utilizarán los de impacto directo sobre el recurso que mostrarán el grado neto de cambio en el tiempo en el uso del suelo a nivel regional y en las propiedades físico-químicas de este recurso a nivel de explotación agropecuaria. Permitirán inferir tendencias y responden a la clasificación de indicadores ambientales.

- de Respuesta: son del tipo técnico-económico, como la modificación en las prácticas de manejo a los efectos de disminuir la presión sobre los recursos y el costo consecuente de las prácticas de mitigación. Responde al tipo indicadores de integración económica.

Del esquema de análisis de la problemática surgen los siguientes indicadores, que se muestran en la Figura 1.4.



----► Indica que la respuesta, incentivará la aparición de nuevas acciones de Fuerza motriz que impulsaran otras acciones y/o disminuirán en forma directa la presión sobre el estado del recurso.

Δ Indica variación.

Fig. 1.4. Esquema de indicadores para la determinación del impacto sobre el suelo

El trabajo realizado, los materiales y metodología utilizada, se describirán en los siguientes dos capítulos.

El primero de ellos está referido a los indicadores de presión, estado e impacto que se generarán a dos niveles o escalas, a saber:

- Indicadores de nivel regional

Este apartado responde al primer objetivo específico y aporta información sobre tendencias en el uso de los recursos y la pérdida relativa de biodiversidad; a partir del estudio de los cambios en el uso de suelo en el Valle Central se generarán los indicadores de presión ‘superficie desmontada’, de estado ‘patrón de uso de suelo’ y de impacto ‘variación en el patrón de uso de suelo’. El trabajo consiste en la identificación de zonas homogéneas de suelo del Valle Central, utilizando mapas de suelo e imágenes satelitales de tipo LANSAT. Sobre cada zona se identifican, en dos momentos de tiempo, patrones de usos de suelo en función de la distribución proporcional de: i) vegetación natural; ii) cultivos bajo riego con agua proveniente de fuentes superficiales, iii) cultivos bajo riego con agua proveniente de fuentes subterráneas y iv) desmontes. La variación del patrón de uso de suelo a través del tiempo, sugiere el impacto a nivel regional. Este apartado permite además, localizar el sitio donde se realizan los estudios para lograr el apartado siguiente.

- Indicadores de nivel de explotación agropecuaria

Este apartado responde al segundo objetivo específico y aporta información respecto de los indicadores de presión, estado e impacto, detallados en la Figura 1.4. El mismo se considera central ya que informa respecto del estado del recurso, la tendencia de evolución

en el tiempo y el grado neto de impacto en el período de tiempo analizado; permitiendo la construcción de las curvas de impacto en el tiempo, producto de la tecnología de producción del sistema productivo. Esta información es necesaria para planificar nuevas actividades, mitigar impactos y para la aplicación de los instrumentos legales de regulación. El trabajo que se aborda a partir de un ‘caso de estudio’, es decir sobre una superficie lo suficientemente grande como para obtener información que permita arribar a conclusiones sobre las parcelas estudiadas, consiste en un muestreo de suelos estratificado a los fines de efectuar las mediciones conducentes a la evaluación de estado del recurso en zonas homogéneas, tanto con vegetación natural como con implantaciones de olivos. El estado original del sistema que se usa como control o testigo, es el ocupado con vegetación natural; el que a su vez, es comparado con información pre-existente proveniente de estudios realizados para la elaboración de la carta de suelos del Valle Central. La variación de las características físico-químicas del suelo, producto de las prácticas de producción, en función del tiempo de cultivo se mide a partir de parcelas productivas de diferente edad de plantación. Estas parcelas con implantaciones de olivo de diferentes edades, constituyen las ‘unidades de observación del sistema’ y se muestrean todas en el mismo momento. Los años de cultivo o edad de la plantación son utilizados como criterio de clasificación, ya que de ellos depende la dotación de agua y fertilizantes aportados al cultivo. Los cambios de estado en el tiempo y la tendencia, surgen de la diferencia entre el estado del recurso con prácticas de cultivo y el estado original. Las tendencias encontradas en el caso de estudio se confirman regionalmente mediante muestreos en otros dos sitios productivos del Valle Central, denominados ‘sitios de verificación’.

El segundo de los capítulos dedicados a describir el trabajo realizado en la presente tesis, Valoración económica del impacto: costos de mitigación, se fundamenta en el marco legal presentado y permite la obtención de los indicadores físicos y económicos de respuesta para atenuar la presión ejercida sobre el suelo.

Utiliza como insumos la información técnica que surge del capítulo precedente, a partir de la cual se construye un modelo técnico que represente la situación promedio regional, y establece un valor de referencia a partir del cual será necesario realizar la práctica de mitigación. Dicho modelo permite efectuar la proyección del estado del recurso para la situación actual o sin mitigación y para la situación con mitigación. De la diferencia entre estas, surge la necesidad de insumos para efectuar la corrección de la condición de suelo, la que conjuntamente con los costos asociados para la adquisición del producto y su aplicación, constituirán el costo de mitigación, costo del impacto o costo ambiental a incluir en los costos anuales de producción de las empresas del sector. En relación a ello y teniendo en cuenta que la degradación del suelo afecta los servicios ambientales que tienen implicancia social, se estimará el valor socioeconómico de los mismos, utilizando como medida indirecta el valor de los costos para mitigar los efectos de degradación.

CONSIDERACIONES SOBRE LA PERTINENCIA Y APORTES DEL TRABAJO

El uso del suelo y la tecnología de producción son los factores que mayores implicancias tienen en la alteración del ambiente; en consecuencia ¿cómo los cambios en el uso del suelo y la incorporación de tecnologías afectan el medioambiente rural?; ¿cuáles de las tendencias críticas del ambiente dada su utilización, son detectables?, y ¿que impactos pueden proyectarse en el corto y mediano plazo? (Viglizzo *et al.*, 2001). Los cambios en uso del suelo generan patrones espaciales y medidas temporales de la alteración ambiental (Internacional Geosphere-Biosphere Program, 1995).

En Argentina no hay suficiente conocimiento del problema ambiental y de sus implicancias a diferentes escalas/niveles a través del tiempo (Viglizzo *et al.*, 1997) y son escasos los antecedentes en la región NOA y en la provincia de Catamarca, en particular.

No existen para la zona de estudio, antecedentes que revelen los cambios del estado de los recursos en el tiempo a partir del inicio de una nueva actividad agropecuaria; comparando sus propiedades en el estado natural y la manera en que evoluciona a medida que es utilizado como un factor más de la producción. Al respecto, este tipo de estudios permite identificar y mensurar cuales de esas propiedades marcan tendencias críticas de utilización y cual es el grado en que se encuentran afectadas dada una tecnología y un ambiente determinado.

Lo mencionado cobra relevancia si se considera el hecho de que el desarrollo de esta zona productiva no cuenta con el estudio 'ex-ante' de la Evaluación de Impacto Ambiental, por lo que no se dispone de información que oriente sobre dichos cambios.

La falta de información científico-técnica impide la determinación de valores de referencia para su control y el conocimiento de las implicancias económicas de los problemas ambientales. Adquieren particular importancia estas últimas, por cuanto facilitan la interpretación de dicha información a productores y al Estado. A los primeros de manera que consideren los costos del deterioro de los recursos, y a los segundos para que a partir del conocimiento de su valor económico, contemplen el diseño e implementación de instrumentos legales que permitan conservar y regular el uso de los recursos naturales.

La mayoría de las metodologías para el abordaje de estudios de impacto ex – post, utilizan información que en países desarrollados se encuentra disponible en bases de datos de organismos públicos y privados. Esto constituye un gran inconveniente para zonas donde no hay información sobre la cual aplicar metodologías que permitan poner de manifiesto el problema ambiental.

En consecuencia, al problema ya identificado de falta de información sobre la evolución del recurso bajo las presiones de producción actuales, se agrega la ausencia de información para detectarlo.

En este trabajo se diseña y pone a prueba una metodología para recabar información expeditiva en terreno y en tiempo real. La misma permitirá detectar el problema, su magnitud, amplitud geográfica, sus causas, sus posibles soluciones y estimar sus implicancias económicas.

Para ello se combinaron aspectos resaltados por distintos autores, como básicos para abordar estudios de impacto ex – post a nivel de explotación agropecuaria, a saber: (i) la definición del alcance a nivel espacial y del recurso ambiental que se estudia, (ii) la utilización de un marco causa-efecto como metodología de análisis de la problemática y para el proceso de selección de los indicadores, (iii) la utilización de un conjunto de indicadores relacionados entre si, basados en las prácticas y los efectos, y (iv) las características de los mismos respecto a su pertinencia técnica y política, solidez analítica, validez científica internacional, mensurabilidad y repetitividad, entre otros.

Dichos aspectos se complementaron en este trabajo con otros, para poder aplicarla a campo y otorgarle practicidad, fidelidad y rapidez para la obtención de la información, a saber: (i) la prueba de la respuesta del conjunto de indicadores seleccionados, en un Caso de estudio; (ii) la incorporación de Sitios de Verificación para confirmar los resultados del Caso y determinar el alcance geográfico del problema, (iii) la inclusión de muestreos simultáneos en áreas problemas de diferente tiempo de uso bajo prácticas similares, en una escala de muestreo amplia de manera de lograr información de los efectos de uso de largos períodos tiempo, en corto tiempo y tiempo real.

Un problema técnico con implicancias económicas requiere de un enfoque integrador para su análisis. En este sentido este trabajo aborda la problemática a partir de conocimientos edafológicos y económicos dentro del marco legal vigente en materia ambiental. Los resultados que se obtendrán como consecuencia de la utilización de este enfoque, adquieren verdadera relevancia cuando se los considera en su conjunto.

Este enfoque, la metodología diseñada para ser aplicada a campo a escala geográfica amplia, la información rutinaria utilizada para manifestar el impacto y la resultante de su aplicación, constituyen verdaderos aportes originales para la temática ambiental de la región dado que: i) son conocimientos inéditos para la misma, ii) relevantes para la administración y gestión del recurso en el marco legal vigente y iii) de importancia e interés tanto para el sector público como para el privado; iv) de aplicación inmediata si así lo decidiera el Estado, para prevenir implicancias futuras como son la pérdida de valor económico de las tierras degradadas y la dificultad para el desarrollo de otras actividades agrícolas por problemas de degradación de suelo.

En particular, la información emanada de este trabajo permite conocer la existencia, la dimensión y el alcance geográfico de los efectos adversos más sobresalientes que requieren de atención sobre el resto; disponer de un modelo de aproximación regional del impacto y de un valor de meta ambiental para monitorear su evolución en el tiempo, basado en las características originales del recurso; conocer los costos privados asociados a la degradación encontrada y un valor económico estimado de los servicios ambientales que se ven afectados por dicha degradación.

Se pretende, a raíz de la misma poner de manifiesto: i) la necesidad de disponer de una legislación que contemple la necesidad de efectuar Estudios de Impacto Ambiental en la fase de proyectos, para prevenir los efectos adversos que la ejecución de los mismos pueda tener sobre el recurso, y sus consecuencias económicas; ii) la necesidad de conocer el valor económico de los servicios ambientales que brinda el recurso; iii) la necesidad de que se analicen e instrumenten en forma conjunta estado-sector privado, medidas para hacer

efectivas las prácticas de mitigación; iv) la oportunidad de equilibrar los objetivos económicos con los ambientales en materia de uso agropecuario del suelo, ya que el sistema de producción es relativamente nuevo en la región.

BIBLIOGRAFÍA

- Alderete Salas S. y Bauzá G. 2000. Cadena Agroalimentaria Nacional del Olivo- Sub-Cadena Aceite de Olivo. INTA-IDR Mendoza, 220 pp.
- Alderete Salas S. y Villa J. 2000. Análisis económico financiero de la producción primaria intensiva y su integración con la industria. Sistema Olivícola de la Provincia de Catamarca. Disertación Congreso Internacional Arauco. Catamarca, Argentina.
- Alzabé F. y Mendilharzu L. 2008. El Desarrollo sustentable como principio ambiental en el ordenamiento jurídico nacional e internacional. En: Articulación de las competencias ambientales en la Nación y en las provincias del NOA. Bravo M.C., Hillen M.(ed), EDUNET, San Miguel de Tucumán, Argentina, pp. 325- 345.
- Audsley E., Alber S., Clift R., Cowell S., Crettaz P., Gaillard G., Hausheer J., Jolliett O., Mortensen B., Pearce D., Roger E., Teulon H., Weidema B. y van Zeijts H. 1997. Harmonisation of environmental life cycle assessment form agriculture. Final Report Concerted Action AIR3-CT94-2028. Silsoe Research Institute, Silsoe, UK, 139 pp.
- Azqueta D., 1994. Valoración económica de la Calidad Ambiental. McGraw Hill, Madrid, España, 299 pp.
- Azqueta D. y Pérez y Pérez L. 1996. Gestión de espacios naturales. La demanda de espacios recreativos. Mc Graw Hill/Interamericana, Madrid, España, 237 pp.
- Barrera Buteler G. 1996. Provincias y Nación. Ediciones Ciudad Argentina, Buenos Aires, Argentina, 510 pp.
- Caeiro R.E. 2009. Análisis de las Transformaciones del Sector Agropecuario de la Provincia de Catamarca (Argentina) a raíz de la implementación de la Ley 22.702 de Desarrollo Económico: Efectos Territoriales e Institucionales en el Sistema Olivar. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes, Departamento de Economía, Sociología y Política Agrarias, Universidad de Córdoba, España, 305 pp.
- Canosa Usera, R. 2008. Articulación de las competencias ambientales en la Nación y en las Provincias del NOA. Prefacio. En: Articulación de las competencias ambientales en la Nación y en las provincias del NOA. Bravo M.C, Hillen M. (ed.), EDUNET, San Miguel de Tucumán, Argentina, pp. 9-11.
- CCAD-CBM 2002. Guía metodológica de valoración económica de bienes, servicios e impactos ambientales. Proyecto para la consolidación del Corredor Biológico Mesoamericano. Serie Técnica 04. Barzev, R., Managua, Nicaragua, 147 pp.
- Correa M. 1986. Aproximación a la problemática de las principales actividades agropecuarias. Diagnóstico Agropecuario Expeditivo de la Provincia de Catamarca. Vol. I. Unidad Integrada INTA, UNCa, Provincia de Catamarca y Consejo de Ingenieros Agrónomos de Catamarca, Catamarca, Argentina, 97 pp.
- Cristehe C. y Penna J. 2008. Métodos de valoración económica de los servicios ambientales. Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales N° 3. Instituto de Economía y Sociología (IES)-

- INTA. Publicado en Internet, disponible en http://www.inta.gov.ar/ies/docs/otrosdoc/metodos_doc_03.pdf. Activo abril de 2008.
- Comisión de las Comunidades Europeas, 2002. Hacia una estrategia temática para la protección del suelo. COM 2002 final 176. Bruselas, pp.39. Publicado en Internet, disponible en <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2002:0179:FIN:ES:PDF>. Activo abril de 2008.
- Custance J. y Hillier H. 1998. Statical issues in developing indicators of sustainable develop-ment. *J.R. Statist. Soc. A* 161: 281-290.
- Dalsgaard J.P.T. y Oficial R.T. 1997. A quantitative approach for assessing the productive performance and ecological coantributions of smallhoder farms. *Agric. Sys.* 55: 503-533.
- Datta K.K., Sharma V.P. y Sharma D.P. 1998. Estimation of a production function for wheat under saline conditions. *Agric. Water Manage* 36: 85-94.
- De Koeijer T.J., Wossink G.A., Struik P.C. y Renkeman J.A. 2002. Measuring agricultural sustainability in terms of efficiency: the case of Dutch sugar beet growers. *Environ. Manage* 66: 9-17.
- Díaz Ricci R. M. 2008. Competencias ambientales y federalismo en la Ley General del Ambiente y en las leyes ambientales del NOA. En: Articulación de las competencias ambientales en la Nación en las provincias del NOA. Bravo M.C, Hillen M.,(ed.) EDUNET, San Miguel de Tucumán, Argentina, pp. 97-139.
- Douglass G. 1984. The meaning of agricultural sustainability. En: *Agricultural Sustainability in a changing world order*. Douglass G. (ed.), Westview Press, Boulder, pp.3-29.
- Erismán J.W., Grenfelt P. y Sutton M. 2003. The European perspective on nitrogen emission and deposition. *Environ.Int.* 29:311-325.
- Girardin P., Bockstaller C. y van der Werf H. 2000. Assessment of potencial impacts of agricultural practices on the environment: the AGRO*ECO method. *Environmental Impact Assessment* 20: 227-239.
- Guiné J.B., Gorrée M., Heijungs R., Huppés G., Kleijn R., de Koning A., van Oers L., Wegener Sleeswijk A., Suth S., Udo de Haes H.A., de Bruijn H., van Duin R. y Huijbregts, M.A.J. 2002. Life cycle assessment. En: *An Operacional Guide to the ISO Standards*. Lindeijer, E., Leiden, Holanda, 111 pp.
- Hammond A, Adriaanse A., Rodenburg E., Bryant D. y Woorward R. 1995. *Environmental Indicators: A systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Perfomance in the Context of Sustainable Development*. Word Resouces Institute, Washington DC, USA, 50 pp.
- Hansen J. W. 1996. Is agricultural sustainability a useful concept?. *Agricultural Systems* 50: 117-143.
- Haas G., Wetterich F. y Geier, U. 2000. Life cycle assessment framework in agriculture on tre farm level. *Life Cycle Assessment* 5 (6): 345-348.
- HMSO, 1993. *Environmental Appraisal of Development Plans - A Good Practice Guide*. GPG 15. Her Majesty's Stationary Office, London,UK, 57 pp.

- IGBP/HDP 1995. Land-Use and Land-Cover Change: Science/Research Plan. Report No. 35 Internacional Geosphere-Biosphere Program y The Human Dimensions of Global Environmental Change Programme (HDP), Stockholm, Suecia, 87 pp.
- INTA, 2000. Proyecto Prosusnoa. Centro Regional NOA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- IPCC 2001. **Third Assessment Report - Climate Change 2001 - Complete online versions. Intergovernmental Panel on Climate Change. Publicado en Internet, disponible en http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm Activo abril de 2008.**
- Jackson L.E; Kurtz J.C. y Fisher W.S., 2000. Evaluation Guidelines for Ecological Indicators. Environmental Protection Agency, Washington, DC. Report EPA/620/R-99, 110 pp.
- Ley 22.702. 1982. Franquicias, extensión del régimen promocional a las provincias de Catamarca y La Rioja establecido por Ley N° 22.021, de Desarrollo Económico de la Provincia de La Rioja. Publicado en Internet, disponible en <http://infoleg.mecon.gov.ar/infolegInternet/anexos/25000-29999/norma.htm>. Activo junio 2009.
- Ley 25.675. 2002: Ley General del Ambiente. Material de estudio módulo Legislación y ética ambiental. Maestría en Ingeniería ambiental. Escuela de 4° Nivel, UTN, Córdoba.
- Ley 26.331. 2007. Presupuestos mínimos de protección ambiental de los Bosques Nativos. Publicado en Internet, disponible en <http://infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/135000-139999/norma.htm>. Activo junio 2009.
- López Herrera E. 2008. Daño ambiental-Análisis de la ley 26.675. En: Articulación de las competencias ambientales en la Nación en las provincias del NOA. Bravo, M.C, Hillen M.(ed.), EDUNET, San Miguel de Tucumán, Argentina, pp. 159-191.
- Manteiga L. 2000. Los indicadores ambientales como instrumento para el desarrollo de la política ambiental y su integración en otras políticas. Estadística y Medio Ambiente. Instituto de Estadística de Andalucía. Sevilla, España, pp. 75-87. Publicado en Internet, disponible en <http://www.terracentro.org/Seleccion%20de%20articulos.htm>. Activo abril 2008.
- Martínez Coll J. C. 2001. Los fallos del mercado. En: La Economía de Mercado, virtudes e inconvenientes. Publicado en Internet, disponible en <http://www.eumed.net/cursecon/9/index.htm> . Activo abril de 2008.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2003. Guía Metodológica para la valoración de los bienes, servicios ambientales y recursos naturales, pp. 1-51. Publicado en Internet, disponible en <http://www.minambiente.gov.co/documentos/569guiavaloracion.pdf>. Activo abril de 2008.
- Niemeijer D. y de Groot R. 2007. Framing environmental indicators: moving from causal chains to causal networks. *Environment, Development and Sustainability* 10(1): 89-106.
- Niemeijer D. y de Groot R. 2008. A conceptual framework for selecting environmental indicator sets. *Ecological Indicators Journal* 8: 14-25.

- Niemi G.J. y Mc Donald M.E. 2004. Application of ecological indicators. *Ann. Rev. Ecol. Evol.Syst.* 35: 89-111.
- OCDE 1999. Environmental Indicators for Agricultura: Volume 1. Concepts and Frameworks. Organisation form Economic Cooperation and Development, París, Francia, 45 pp.
- Olsthoorn X., Tyteca D., Wehrmeyer W. y Wagner M. 2001. Environmental indicators for business: a review of the literature and standardisation methods. *Cleaner Production* 9: 453-463.
- Riley J. 2001. Indicador quality for assessment of impact of multidisciplinary systems. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 87: 121-128.
- Sánchez L.E. 2000. II Curso internacional de aspectos geológicos de protección ambiental. Publicado en Internet, disponible en <http://www.unesco.org.uy/geo/campinaspdf/4evalua-cion.pdf>. Activo noviembre 2007.
- Smeets E. y Weterings R. 1999. Environmental indicators: Tipology and Overview. European Environmental Agency, Copenhagen, Report N° 25, 19 pp.
- Smith C.S. y McDonald G.T. 1998. Assessing the sustainability or agricultura at the planning stage. *Journal of Environmental Management* 52:15-37.
- Tzilivakis J., Lewis K.A. y Williamson A.R. 2005. A prototype framework for assessing risks to soil functions. *Environmental Impact Assessment Review* 25: 181-195.
- van der Werf H. y Petit J. 2002. Evaluation of the environmental impact of africanures at the faro level: a comparison and análisis of 12 inciator-bases methods. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93: 131-145.
- van der Werf H., Tzilivakis J., Lewis K. y Basset-Mens C. 2007. Environmental impacts of faro scenarios according to five assessment methods. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118: 327-338.
- Viglizzo E.F., Roberto Z. E., Lértora F., López Gay E. y Bernardos J. 1997. Climate and land-use change in field-crop ecosystems of Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 66: 61-70.
- Viglizzo E.F., Lértora, F., Pordomingo A. J., Bernardos J., Roberto Z. E. y Del Valle, H. 2001. Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the pampas of Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 81: 65-81.
- Villa F.y McLeod H. 2002. Environmental vulnerability indicators for environmental planning and decision-making: Guidelines and applications. *Environmental Manage* 29: 335-348.
- Yunlong C. y Smith B. 1994. Sustainability in Agricultura-A General Review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 49: 299-307.
- Wathern P. 1988. An introductory guide to EIA. En: Environmental impact sssessment. Theory and practice. Wathern P., Unwin Hyman, London, UK, pp. 3-30.
- Wood C. 1995. Environmental Impact Assessment: A comparative review. Longman Group Limited Harlow, UK, 355 pp.

World Bank. 1992. EIA Sourcebook. Washington DC, USA, 189 pp.

DETERMINACIÓN DE LOS IMPACTOS SOBRE EL RECURSO SUELO

INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental se define como el cambio en un parámetro ambiental, en un determinado período de tiempo y en una determinada área, que resulta de una actividad dada, comparado con la situación que ocurriría si esa actividad no hubiera sido iniciada (Wathern, 1988).

Indicadores que miden cambios sociales y económicos en nuestro país son relativamente abundantes, en contraposición a la escasez de indicadores que evalúan los cambios ambientales. Sin embargo se reconoce que los mismos son esenciales para: i) medir los cambios en el medioambiente rural a diferentes escalas geográficas (explotaciones productivas, regiones y países); ii) guiar estrategias preventivas y tácticas correctivas; iii) aportar información y recomendaciones prácticas para los usuarios que operan a diferentes escalas (productores, técnicos, gobiernos) (Viglizzo *et al.*, 2003).

El uso del suelo es un indicador de alta relevancia en agro ecología, el que junto a las prácticas de manejo marcan la dirección y el grado de cambio de su calidad en el tiempo, ya que ambos afectan la funcionalidad del agro ecosistema (Viglizzo *et al.*, 2001).

La relación causa-efecto entre el manejo y la calidad de suelo, se puede establecer a través de experimentos de larga duración para la obtención de indicadores de calidad de

tierras (FAO, 2001) y calidad de suelo (Karlen *et al.*, 1997).

La valoración de los efectos de la aplicación de tecnologías sobre la calidad del suelo se ha basado en la medición de su contenido de carbono y nitrógeno (Gregorich *et al.*, 1997); esto es debido principalmente a que es posible vincular a las prácticas de laboreo como responsables de los efectos sobre la cantidad y calidad de la materia orgánica; las cuales inciden sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, afectando la fertilidad física por disminución de la densidad aparente, espacio poroso, capacidad de retención de agua y agregación, y la fertilidad química, como carbono lábil y carbono total, actividad biológica, entre otras. Estos efectos repercuten en los rendimientos de los cultivos, el escurrimiento y la erosión (García *et al.*, 1993; García *et al.*, 2008; Spedding *et al.*, 2004; Hamza y Anderson, 2005).

A raíz de ello, las propiedades físicas del suelo más estudiadas son la densidad aparente, la resistencia mecánica, la estabilidad estructural y la infiltración (Cholaky *et al.*, 2005; Steinbach y Alvarez, 2007). Entre las propiedades químicas se ha considerado al carbono orgánico total y particulado como un indicador sensible al manejo, junto a la disponibilidad de nitrógeno total, fósforo extraíble y actividad microbiológica del suelo (Morón, 2001; Sánchez *et al.*, 2006).

El crecimiento continuo de la demanda de alimentos a nivel mundial está ejerciendo desde hace varios años una fuerte presión sobre la superficie agrícolamente útil del mundo, lo que se manifiesta mediante un paulatino crecimiento de la superficie que incorpora el riego complementario en áreas de secano, y la habilitación de nuevas tierras de baja aptitud agrícola mediante el uso del riego con agua subterránea; a raíz de lo cual surge otra variable que afecta la calidad del suelo, la práctica del riego; de esta forma el riego se incorpora como otra variable que afecta la calidad del suelo.

En los últimos años los métodos de riego presurizados han adquirido mayor relevancia por presentar ventajas respecto a la eficiencia de uso del agua, aunque el área regada con estos métodos no ha alcanzado aún, la importancia que posee el riego por gravedad (Abraham, 2007).

Desde una perspectiva económica individual, la adopción de la práctica de riego minimiza el riesgo de cosecha causado por el déficit hídrico, eleva y estabiliza el rendimiento de los cultivos y maximiza el beneficio neto de su producción, en el caso del riego complementario (Génova *et al.*, 2008), permitiendo el desarrollo de nuevos sistemas intensivos en áreas donde era impensable la producción. Pero desde una perspectiva social y antropológica, es necesario mantener la sustentabilidad de los ecosistemas agro-productivos.

La utilización de aguas con elevados niveles salinos es uno de los principales factores responsables de la salinización de tierras agrícolas (Chapman, 1975), lo cual disminuye no solo la productividad sino también el valor de las tierras afectadas (Flowers y Yeo, 1988).

La salinización por irrigación es un proceso a partir del cual las sales solubles provenientes de aguas de riego, se acumulan en el suelo por una inadecuada lixiviación, altas dotaciones de agua o altos niveles de evaporación. El fenómeno de salinidad afecta a las plantas directamente disminuyendo la capacidad de las mismas para extraer el agua de la solución del suelo. Por otro lado el efecto de iones específicos y los cambios en las propiedades físico-químicas del suelo pueden provocar en el largo plazo efectos nocivos sobre la producción de los cultivos. (Karen, 2000; Ramos *et al.*, 2009). Si las sales son principalmente sódicas, como es frecuentemente el caso, su acumulación incrementa la concentración de sodio en el complejo de intercambio catiónico del suelo, afectando sus propiedades y su comportamiento (Hillel, 1998).

La utilización de aguas subterráneas bicarbonatadas sódicas para riego, constituyen la principal fuente de disturbios a los suelos provocando impactos de diferente naturaleza, intensidad y duración para las zonas de la Pampa Húmeda de Argentina (Marano *et al.*, 2008, Génova *et al.*, 2008).

Antecedentes sobre el aspecto físico de los suelos, indican que el poder dispersante del sodio (Na) cuando se incrementa el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI), sobre la materia orgánica (MO), las arcillas y la consecuente destrucción de los agregados (Crescimanno *et al.*, 1995) tiene consecuencias negativas sobre la estabilidad de la estructura del suelo y la dinámica del agua (Albrego *et al.*, 1998). Los poros reducen su tamaño como resultado de la expansión y dispersión de las arcillas y la condición física resultante es caracterizada por una pérdida general de la porosidad, dando lugar a cambios en la permeabilidad del suelo (Shainberg y Letely, 1984).

Estudios sobre la conductividad hidráulica (Ks) de suelos en argiudoles¹⁷ de la provincia de Bs. As., manifiestan una reducción del 20% de ésta, con un valor de Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) menor al 5%; esto evidencia que un bajo contenido de sodio (insuficiente para ser clasificado como suelo sódico) resulta suficiente para que el recurso se encuentra afectado y pone bajo análisis el valor de 'PSI =15 %' propuesto por el USDA (1976) para calificar los suelos de sódicos (Shainberg y Letely, 1984; Shainberg, 1990; Hillel, 1998; Costa y Godz, 1999; Paz *et al.*, 2008).

Si bien se ha evaluado la variabilidad temporal de algunas de las propiedades químicas y físico-químicas del suelo sometido a distintos tipos de uso y manejo (Musso *et al.*, 2004, 2006) a los fines de observar cambios en la calidad de los mismos y obtener indicadores de degradación (Cantú *et al.*, 2007), son escasos los trabajos vinculados al impacto del uso y manejo sobre las propiedades del suelo (Rodríguez *et al.*, 2008).

¹⁷ Clasificación de suelos.

EL ÁREA DE ESTUDIO

El Valle Central de Catamarca es una región en forma de triángulo ubicada al sudeste de la provincia, entre los paralelos 28° 30' y 29° 15' de latitud sur y los meridianos 65° 30' y 65° 15' longitud oeste. En el vértice norte del triángulo se localiza la ciudad capital de la provincia, los lados lo constituyen las sierras de Ambato y Ancasti, mientras que la base esta orientada hacia la provincia de La Rioja. Desde el vértice y hacia la base la zona esta atravesada por las rutas provinciales N° 33 y nacional N° 38 (Fig. 2.1)

Forma parte de la provincia fitogeográfica del Chaco, distrito Chaco Árido de Llanura, Gran Paisaje Valle de Catamarca, llanura fluvio-aluvio-eólica y aluvio-ecólica. (Morillo y Andámoni, 1974). La clasificación del clima es seco, subclima de estepa (Oblitas, 1968) con deficiencia hídrica permanente. Las precipitaciones disminuyen de norte a sur y alcanzan a 350 mm anuales, con un régimen pluviométrico del tipo monzónico, y una distribución concentrada en verano y otoño (Oblitas, 1968).

Las temperaturas promedios son de 27 ° C para el mes más cálido y 11,5 ° C para el mes más frío. La elevada heliofanía y temperatura producen valores altos de evapotranspiración, que unidos a las bajas precipitaciones configuran condiciones de semidesierto con una deficiencia hídrica climática anual de 660 mm. Los vientos predominan todo el año del cuadrante noreste, intensificándose en primavera (Morlans y Guichón, 1993).

Los suelos responden a las características del Orden Entisoles¹⁸ en su gran mayoría incluidos los suelos del caso de estudio y de los sitios de verificación; pequeñas zonas con Molisoles y la zona sur con Aridisoles. En general se trata de suelos poco desarrollados, caracterizados por su baja capacidad de retención de humedad, bajos tenores de materia orgánica y exiguo grado de mineralización; con valores de pH entre 7.6 y 8.6. Poseen una

¹⁸ Ent: joven/sin desarrollo

fracción arenosa importante; así la limitación más grave de los suelos la constituye el riesgo de erosión eólica (Da Silva *et al.*, 1983).

La carta de suelos del Valle Central de Catamarca, de escala 1/200.000, abarca un área de 362.640 ha. Agrupa los suelos en asociaciones con características modales específicas. La asociación de mayor utilización para la producción agropecuaria y específicamente el cultivo del olivo y otros frutales, es la denominada asociación Colonia del Valle que reúne a 109.676 ha.

‘Dicha Asociación ocupa la llamada Playa aluvial’... ‘Resulta en un intrincado padrón de otentes, fluentes y psammentes típicos,...’ ‘Resulta por lo tanto difícil expedirse en cuanto a la dominancia de algún subgrupo sobre otro.’ ‘Esta área ha sufrido la acción del desmonte resultando un tapiz con escasa eficiencia de protección contra la erosión’ (Da Silva *et al.*, 1983). Esta descripción indica la dimensión de la variabilidad espacial posible de encontrar en la región.

La acción del hombre ha modificado profundamente la comunidad vegetal original (bosque con predominio de *Aspidosmerma quebracho blanco*, *Prosopis alba* y *nigra*, algarrobo blanco y negro respectivamente) y son escasos los lugares que presentan una vegetación cuasi primitiva, como resultado de la explotación forestal y luego en menor medida de la actividad ganadera extensiva. En la actualidad en el bosque nativo predominan árboles xerófilos, con denso estrato arbustivo y un estrato de pasturas de baja densidad. Las especies del estrato arbóreo y arbustivo más comunes de encontrar son *Aspidosmerma q.b.*, *Prosopis a.*, *Prosopis nigra*, *Acacia caven*, *Larrea divaricata* y *cuneifolia*, *Bulnesia retama*, *Cereus* sp, *Atriplex* sp., y otras de importancia menor. El porcentaje de cobertura arbórea no supera el 45 % mientras que el porcentaje para el estrato arbustivo alcanza hasta un 70% (Morlans y Guichón, 1993).

En esta región se inició la implantación de olivos a partir de 1991, los que hasta la fecha de este trabajo (2008) ocupan alrededor de 20.000 ha. Dicho desarrollo implicó la incorporación de un paquete tecnológico que incluye: (i) alta densidad de plantación en marcos promedios de 7 x 4 m; e implantación de pasturas (*Buffel grass*) entre líneas de plantación, cuya cobertura va disminuyendo a medida que aumenta la cobertura arbórea (ii) riego presurizado por goteo; (iii) fertilización por el sistema de riego (fertirrigación); (iv) control de malezas químico en la línea de plantación y mecánico entre líneas; (v) poda de formación manual y de producción mecánica.; y (vi) una combinación de cosecha manual y mecánica. La práctica de fertilización utilizada incluye aportes de nitrógeno y potasio aportados a través de la línea de riego, y fertilizantes foliares para el aporte de micronutrientes. Por tratarse de una zona nueva de producción, las plagas que se registran no requieren el uso masivo de productos fitosanitarios. El agua de riego proviene de fuentes subterráneas. Esta tecnología es utilizada desde hace 10 años.

En la Fig. 2.1 pueden observarse la condición del bosque nativo sin cultivo y en la Fig. 2.2, puede apreciarse como es la situación una vez implantado el cultivo. La secuencia completa desde el desmonte hasta la condición alcanzada a los 9 años de cultivo se muestra en el ANEXO 2, Fig. 50 a Fig. 56.



Fig. 2.1. Condición sin cultivo



Fig. 2.2. Condición bajo cultivo

HIPÓTESIS DE TRABAJO¹⁹

1. Las vastas plantaciones de olivos implantadas en el Valle Central de Catamarca, producen modificaciones en el patrón de uso del suelo de la región.

2. La tecnología de manejo del cultivo del olivo en el Valle Central, produce la degradación de las propiedades físico-químicas del suelo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS³

1. Determinar los cambios en el uso del suelo, en la región Valle Central de Catamarca.

2. a. Identificar y cuantificar variables que reflejen el impacto ambiental producido por la tecnología de producción del cultivo del olivo sobre el recurso suelo en el Valle Central de Catamarca, a nivel de explotación agropecuaria

2. b. Construir curvas de impacto en el tiempo y un modelo que lo represente.

2. c. Determinar los indicadores críticos que permitan el monitoreo del recurso.

MATERIALES Y MÉTODOS

INDICADORES DE NIVEL REGIONAL: CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO

¹⁹ Las hipótesis de trabajo y los objetivos específicos que se mencionan son los pertinentes a este capítulo.

Este apartado responde al primer objetivo específico que aportará información de sobre tendencias generales mediante los cambios en el uso de suelo en el Valle Central; a partir de los cuales se inferirán los indicadores de estado ‘patrón de uso de suelo’ y de impacto ‘variación en el patrón de uso de suelo’.

El uso de la tierra define el propósito por la cual es ocupada. Los diferentes patrones de uso de la tierra se estiman mediante factores de ocupación relativa, geográfica y temporal, debido a distintas actividades agropecuarias. Por ello se identificaron zonas homogéneas de suelo del Valle Central, en las cuales se reconocieron usos del suelo en función de la distribución proporcional de las siguientes categorías: i) vegetación natural; ii) cultivos bajo riego con agua proveniente de fuentes superficiales, iii) cultivos bajo riego con agua proveniente de fuentes subterráneas y iv) desmonte/ganadería. Dichas categorías responden al tipo de producción de la región y los objetivos perseguidos en este trabajo.

Para la identificación de las categorías de uso del suelo, se utilizó el mapa de suelo del Valle Central de nivel de reconocimiento e imágenes satelitales LANSAT TM de la región, correspondientes a los años 1989 y 2006; los que mediante el Programa de análisis IDRISI, fueron geo-referenciados y procesados.

El procesamiento de las imágenes tuvo como finalidad la elección de las bandas a combinar y la aplicación de técnicas de realce, de manera de facilitar la interpretación visual a los fines de extraer información. El mismo se realizó a partir del cálculo del Factor de Índice Óptimo (OIF) (Disperati *et al.*, 2003), para lo cual se efectuó un análisis estadístico de cada una de las bandas que componen la imagen, determinando la media, la desviación estándar y los coeficientes de correlación entre ellas. El indicador OIF y el número de combinaciones posibles de bandas, se obtuvieron según las siguientes expresiones:

$$OIF = \frac{\sum_{k=1}^3 S_k}{\sum_{j=1}^3 r_j} \quad (2.1)$$

Donde: OIF: factor de índice óptimo; S_k : desvío estándar de la banda k ; r_j : coeficiente de correlación absoluto entre pares de las 3 bandas utilizadas; donde j representa cada uno de los coeficientes de correlación posibles en un número de 3

$$C_{m,n} = \frac{m!}{(m-n)!n!} \quad (2.2)$$

Donde: C: n° de combinaciones posibles; m: número total de bandas; n: número de bandas de la composición colorida; m!: factorial de bandas; n!: factorial del número de bandas de la composición colorida.

Las combinaciones de mayor OIF, suponen mejores contrastes y visualización de la utilización de los recursos naturales. (ANEXO 2, Tablas 1, 2 y 3). Las combinaciones fueron corroboradas mediante observación visual para la definición final de la combinación a utilizar.

De dicho procedimiento resultaron las siguientes combinaciones de bandas con las que se trabajó:

- Imagen 1989: bandas 3, 4, 7.
- Imagen 2006: bandas 1, 4, 5.

Luego, se procedió a efectuar un análisis de reconocimiento en la imagen a partir del cual se identificaron las categorías de uso de interés y puntos de referencia; que con la asistencia de informantes calificados y reconocimiento en terreno permitieron confirmar las categorías mencionadas.

Dado que gran parte del interés del trabajo radica en identificar dentro de la categoría 'cultivo', la superficie irrigada con agua de origen superficial de la irrigada con agua de origen subterráneo, no se utilizó ningún tipo de algoritmo de procesamiento digital, puesto que se demostró en experimentaciones previas que los mismos no lograron distinguir las subcategorías mencionadas. Estas experiencias previas consistieron en obtener primero la firma espectral de las categorías monte, cultivos y desmontes o áreas con muy escasa vegetación arbórea a los fines de conocer si las mismas son separables es decir si sus patrones de respuesta espectral²⁰ o firma espectral resultaban diferentes. El resultado si bien indica que la clasificación supervisada puede distinguir estas tres categorías, no puede separar dentro de la categoría cultivo las sub-categorías riego con agua superficial de la de riego con agua subterránea. (ANEXO 2, Fig. 22 a Fig. 46)

En su defecto se efectuó la digitalización de las áreas cultivadas y habilitadas para la producción, en ambas imágenes 1989 y 2006; utilizando como apoyo las imágenes producidas con la clasificación automática. Las capas vectoriales obtenidas a partir de la digitalización, se rasterizaron para convertirlas en imágenes, de manera de poder calcular el área ocupada por las distintas categorías mencionadas en las diferentes asociaciones de suelo. (ANEXO 2, Fig. 49 y Fig. 50)

El patrón de uso general para cada categoría en cada tiempo de estudio, constituyen los indicadores de estado; la variación general de la superficie a nivel de región y la de cada categoría en particular, constituyen los indicadores de impacto a nivel regional

INDICADORES DE NIVEL EXPLOTACIÓN AGROPECUARIA

²⁰ Los elementos de la superficie terrestre según sus características, redistribuyen la energía electromagnética del sol que incide sobre ellos. Parte es absorbida, parte es transmitida hacia otros cuerpos y el resto se refleja. Esta energía reflejada es la captada por los sensores remotos, como reflectancia del elemento. La misma o energía que emiten y reflejan los cuerpos, responde a un patrón propio, a características particulares de cada cuerpo y se denomina firma espectral. Como una firma, esta típica al cuerpo, lo identifica. La firma espectral, por lo tanto, permite discriminar y distinguir diferentes elementos.

Este apartado, brindará información para el cumplimiento de los objetivos 2.a, 2.b y 2.c. El trabajo se abordará a partir de un caso de estudio, de donde surgirá la evolución en el tiempo de la condición del recurso; la que será verificada en otras dos explotaciones agropecuarias o sitios de verificación. La combinación de resultados detallados de un caso de estudio y la confirmación de tendencias encontradas en él, en sitios de verificación, encuentra fundamento en la inviabilidad económica de efectuar un muestreo representativo de las aproximadamente 20.000 ha cultivadas con olivo en el Valle Central. Al respecto se trabajó de acuerdo a los siguientes pasos metodológicos:

Elección del lugar de muestreo para analizar el cambio en las propiedades del suelo

El muestreo de suelos del caso de estudio, se realizó en un área de 800 ha perteneciente a una empresa dedicada a la producción de olivos. Dicha explotación agropecuaria dista 70 Km de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca y se localiza hacia el sur, sobre la ruta provincial N° 33, que une la mencionada ciudad con la provincia de Córdoba. (Fig. 2.1)

Se escogieron en dicha explotación 5 parcelas dedicadas a la producción de olivos de 2, 3, 5, 6 y 9 años desde la implantación del cultivo respectivamente, utilizando el monte natural contiguo como testigo o parcela sin cultivo.

El criterio de selección de los lugares donde se realizó el muestreo, respondió a la necesidad de cumplimentar dos condiciones, a saber: (i) la pertenencia a la asociación de suelos Colonia del Valle, donde desarrollan sus actividades la mayor proporción de las explotaciones agropecuarias y, (ii) la aplicación de una tecnología de producción similar a través del tiempo, de manera de asegurar la homogeneidad de tratamiento entre parcelas con montes frutales de diferente edad; tal que los resultados obtenidos permitan la construcción de una curva de tendencia en el tiempo.

Para verificar el cumplimiento de la condición (i) ‘pertenencia a la misma asociación de suelos’, se procedió a ubicar la explotación agropecuaria y, dentro de ella las diferentes parcelas, para su localización en la imagen satelital LANSAT 5 del Valle Central del año 2006, sobre la cual se superpuso la carta de suelos previamente geo-referenciada. La condición (ii), quedó cumplida al verificarse la existencia de parcelas de diferente edad implantadas con olivos y bajo un mismo plan de manejo tecnológico, dentro de la empresa.

Extracción y análisis de muestras

Se efectuó un muestreo estratificado²¹, sistemático y simultáneo en el tiempo sobre parcelas de 12 ha²² de superficie cada una de ellas y a su vez de 2, 3, 5, 6 y 9 años de implantación del cultivo de olivo, utilizando el monte natural contiguo como testigo o parcela sin cultivo, que será utilizada como punto de inicio de la serie de tiempo a construir. En cada una de ellas y en el monte natural contiguo, se tomaron 3 pseudo-réplicas (tres muestras similares de cada una de las parcelas) a tres profundidades, 0 a 40 cm, 40 a 80 cm y 80 a 120 cm; con lo que cada parcela obtuvo 3 pseudo-réplicas por cada profundidad muestreado. La extracción de las mismas se efectuó utilizando un barreno de 20 cm de longitud.

Los puntos de muestreo dentro de cada parcela, se escogieron siguiendo las siguientes consideraciones: i) equidistancia entre tronco de árbol y límite exterior del bulbo de riego; ii) minimización del efecto borde, por tal motivo se descartaron las 5 primeras filas desde los bordes exteriores hacia adentro de cada parcela productiva y; iii) equidistancia y alineación de los puntos de muestreo, en un recorrido diagonal dentro de las parcelas de manera de captar la posible variabilidad del suelo.

²¹ La estratificación de la población ‘suelo’ realizada responde al tiempo de uso bajo cultivo, como principal criterio de clasificación en vistas de la construcción de series de tiempo, es decir 2, 3, 5, 6 y 9 años de cultivo. El segundo criterio de estratificación es la profundidad.

²² Tamaño de las parcelas implantadas de la empresa.

Las muestras de suelo fueron analizadas en laboratorio, a los fines de efectuar las siguientes determinaciones: granulometría, por el método de la pipeta de Robinson; pH, lectura en potenciómetro en una relación suelo:agua 1:2.5; conductividad eléctrica (dS/m), extracto de saturación; carbonatos (%), método volumétrico con ácido clorhídrico y titulación con fenolftaleína; cationes solubles²³ provenientes de extracto de saturación de pasta saturada: calcio más magnesio soluble (meq/l) valoración con EDTA, sodio soluble (Na sol.) y potasio soluble (meq/l) fotometría de llama; carbono orgánico (%), método de Wakley Black; nitrógeno (%), método de micro Kjeldhal; fósforo (ppm), método de Olsen; cationes intercambiables¹⁵, sodio intercambiable y potasio intercambiables (meq/100g) extracción con acetato de amonio 1N pH 7, calcio intercambiable y magnesio intercambiable (meq/100g) extracción con acetato de sodio pH 8.2; capacidad de intercambio catiónico, acetato de sodio pH 8.2.

Los puntos de muestreo del caso de estudio y de los sitios de verificación se muestran en la Figura 2.3.

²³ La fase líquida del suelo contiene una serie de aniones, cationes, moléculas inorgánicas u orgánicas u organometálicas. A los iones positivos o cationes presentes en dicha solución se los denomina cationes solubles. La fase sólida del suelo posee cargas electrostáticas en su superficie y retiene moléculas o iones en forma más o menos permanente mediante la adsorción. Los iones positivos o cationes adsorbidos por estas fuerzas se les denomina cationes de intercambio. Se entiende por adsorción al fenómeno por el cual una sustancia se une a una superficie al ser atraída por fuerzas electrostáticas, de Van der Waals o químicas. (Fassbender y Bornemisza, 1987)



Referencias: E1: caso de estudio; E2: sitio de verificación 1; E3: sitio de verificación 2; P0: parcelas testigos; P: parcelas bajo cultivo; 1, 2, 3, 5, 6 y 9 años de cultivo

Fig. 2.3. Localización de puntos de muestreo del caso de estudio y sitios de verificación.

Procesamiento y tratamiento estadístico de la información

El procesamiento de la información emanada de los análisis de suelo, se efectuó a partir de un estudio longitudinal, midiendo la evolución promedio de cada variable en el tiempo (de 0 a 9 años) y en cada profundidad analizada (0-40 cm, 40-80 cm y 80-120 cm). Luego se generaron los indicadores Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI), que permiten una visualización de los efectos de la aplicación de un paquete tecnológico sobre el recurso suelo a lo largo del tiempo. (Ec.2.3 y Ec.2.4)

$$RAS = Na / \sqrt{(Ca + Mg) / 2} \quad (2.3)$$

Donde: RAS: Relación de Adsorción de Sodio; Na: sodio soluble (meq/l); Ca+Mg: calcio más magnesio solubles (meq/l)

$$PSI = [Na / (Ca + Mg + K + Na)] * 100 \quad (2.4)$$

Donde: PSI: Porcentaje de Sodio Intercambiable; Na: sodio intercambiable (meq/100 g); Ca: calcio intercambiable (meq/100 g); Mg: magnesio intercambiable (meq/100 g); K: potasio intercambiable (meq/100 g)

El tratamiento estadístico de los datos obtenidos, atendiendo a que el estudio longitudinal se efectuó muestreando en un mismo momento parcelas en cultivo de diferente edad, con similares condiciones de suelo y prácticas de manejo; presupone las siguientes consideraciones: i) parte de las variaciones observadas entre las parcelas se deben a variaciones naturales del suelo o a la acumulación temporal de efectos de la tecnología de manejo utilizada y, ii) las variaciones entre pseudo réplicas se deben a heterogeneidades del suelo que se dan en la micro-escala de manejo, por lo que se trabaja con valores promedios.

Se efectuó una representación gráfica con los valores promedios, utilizando para ello la técnica del *smoothing* o suavizado, obteniendo tendencias para modelos de regresión entre 'x' los años de cultivo, e 'y' el indicador output del sistema. La tendencia que asume la variable en el tiempo surge a partir del contraste entre, la curva obtenida con el nivel de referencia o curva de pendiente 0. La curva de pendiente 0 es el valor de la variable en estudio de la parcela sin cultivo, que se asume constante en el tiempo.

La significancia de una tendencia particular con respecto al testigo o situación inicial, se estableció a partir de la construcción de intervalos de confianza²⁴ no-paramétricos obteni-

²⁴ Un intervalo de confianza de nivel α es definido como un conjunto de valores del parámetro (intervalo) que con confianza $(1 - \alpha) * 100\%$, incluirían el valor del parámetro en la población. Se trabajó con un $\alpha = 0.05$, lo que implica una confianza del intervalo del 95%, para los valores obtenidos en la parcela sin cultivo.

dos para las variables e indicadores del suelo sin cultivar, mediante la técnica de remuestreo *Bootstrap* (Efron y Tibshirani, 1993 citado del Manual de Infostat 2008).

Se asume que no existen diferencias significativas, cuando los valores de las variables encontradas para las parcelas con cultivo, queden incluidas en el intervalo de confianza construido para la recta testigo.

El grado neto de variación de la variable en estudio a lo largo del tiempo, entendido como el diferencial entre el estado alcanzado por el recurso a lo largo de la serie temporal analizada y el estado del recurso sin cultivo, se determinó según la Ec. 2.5. Dicho diferencial permite dimensionar el cambio y se basa en que los efectos de las prácticas de manejo se acumulan en el tiempo. Según esto, el grado neto de variación en el tiempo se puede calcular como la sumatoria del diferencial ocurrido entre años sucesivos, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$GNV = \sum_{i=0}^n (y_{i+1} - y_i) \quad (2.5)$$

Donde: GNV= Grado Neto de Variación de la variable en estudio para el período analizado; i = distintos años de cultivo; y= valor que asume la variable en los distintos años de la serie analizada.

Luego, la determinación de la ocurrencia de impacto, se estableció según el siguiente criterio:

Si $LI \leq GNV + NRt \leq LS$ se considera que no ocurre impacto, en caso contrario se considera que ocurre impacto

En dicho criterio, NRt es el nivel de referencia o valor medio de la variable en el testigo; LI es el límite inferior del intervalo de confianza del testigo y LS es el límite superior del intervalo de confianza del testigo.

Dado que Y_n o valor encontrado para la variable en el último año de la serie se define como $Y_n = GNV + NRt$; surge la siguiente ecuación simplificada de GNV:

$$GNV = Y_n - NRt \quad (2.6)$$

Donde: GNV: grado neto de variación de la variable en estudio para el período analizado; Y_n : valor de la variable en el último año de la serie; NRt : nivel de referencia o valor medio de la variable en el testigo.

Reemplazando y operando en los criterios para determinar la ocurrencia de impacto, se llega a lo siguiente:

Si $LI \leq Y_n \leq LS$ se considera que no ocurre impacto, en caso contrario se considera que ocurre impacto

La propuesta simplificada se fundamenta en que según las prácticas utilizadas, los desvíos respecto del valor de referencia del testigo, pueden incrementarse o revertirse a medida que transcurre el tiempo de cultivo. Si las mismas se revierten no se verificarán diferencias entre el testigo y el último año de la serie, lo que supone la no ocurrencia de impacto para el período de tiempo analizado; por el contrario si no se revierten y persisten, se obtendrán diferencias significativas con el testigo, donde la dimensión del impacto estará determinada por la ecuación simplificada propuesta.

Relevamiento de la tecnología de producción utilizada en el caso de estudio

A los efectos de establecer relaciones causa efecto entre los resultados obtenidos en el suelo y la tecnología de manejo del cultivo que incide sobre él, se efectuó el relevamiento de información a la empresa, mediante encuestas semi-estructuradas. Se indagó respecto de la superficie total en producción y por edad de parcelas implantadas, tipo de fertilizantes y dosis utilizadas en función de la edad de la plantación; dotación de agua de riego aplicada según edad de la plantación; origen del agua de riego, número de perforaciones para estos efectos y caudales erogados.

Relevamiento de la calidad del agua de riego del caso de estudio

Se extrajeron cinco (5) muestras de agua de las perforaciones que irrigan cada una de las parcelas muestreadas, a los fines de establecer su calidad en laboratorio. Sobre estas muestras de agua se efectuaron las siguientes determinaciones: pH lectura en potenciómetro; cloruros (meq/l), método de Mohr; conductividad eléctrica (dS/m), método conductimétrico y solución patrón de cloruro de potasio 0,01 M; sulfatos (meq/l), método turbidimétrico; carbonatos y bicarbonatos (meq/l), titulación con ácido clorhídrico, e indicadores ácido-base fenolftaleína y anaranjado de metilo; calcio y magnesio (meq/l), valoración con EDTA; sodio y potasio (meq/l), Fotometría de llama.

La aptitud de las mismas se determinó a partir de los grados de restricción de uso debido a salinidad, sodicidad y toxicidad por Na, a partir de la metodología propuesta por Ayers y Westcot (FAO 1976, revisión 1987) utilizada por la Universidad de California; y los criterios utilizados por el Ministerio de Agricultura de Israel, la Universidad de Texas y España, entre otros, según lo indicado en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Criterios de clasificación para el agua de riego

Fuente	Parámetro	Grado de restricción de uso		
		Ninguno	Ligero a Moderado	Severo
Universidad de California y FAO	RAS ^o = 0,0-0,3 y CE =	>0,7	0,7-0,2	<0,2
	RAS ^o = 0,3-0,6 y CE =	>1,2	1,2-0,3	<0,3
	RAS ^o = 0,6-12 y CE =	>1,9	1,9-0,5	<0,5
	RAS ^o = 12-20 y CE =	>2,9	2,9-1,3	<1,3
	RAS ^o = 20-40 y CE =	>5,0	5,0-2,9	<2,9
Ministerio de Agricultura de Israel	RAS (meq/l)	<6,0	6,0-11,0	>11,0
Tamés (España)	CSR (meq/l)	<1,25	1,25-2,50	>2,50
Universidad Texas A&M	RAS (meq/l)	<5,0	5,0-15,0	>15,0
	PSS (%)	<40,0	40,0-80,0	>80,0

Referencias: RAS^o: Relación de Adsorción de Sodio corregida; CE: Conductividad eléctrica; RAS: Relación de Adsorción de Sodio; CSR: Carbonato de Sodio Residual; PSS: Porcentaje de Sodio Soluble

Como indicadores complementarios para sodicidad se utilizaron el CSR (Carbonato de sodio residual, Ec. 2.7) (Palacios y Aceves, 1970; De la Peña, 1986; Róblez Pérez, 2002) y la Relación de Ca (Índice de Kelly, Ec. 2.8)

Los cálculos se efectuaron de la según las siguientes ecuaciones:

$$CSR = (CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg) \quad (2.7)$$

Donde: CSR: Carbonato de Sodio Residual; CO₃: carbonatos del agua (me/l); HCO₃: bicarbonatos del agua (meq/l); Ca+Mg: calcio más magnesio del agua (meq/l)

$$IK = [Ca / (Ca + Mg + Na)] * 100 \quad (2.8)$$

Donde IK: Índice de Kelly; Ca: calcio del agua (meq/l); Mg: magnesio del agua (meq/l); Na: sodio del agua (meq/l)

$$RAS = Na / \sqrt{(Ca + Mg)/2} \quad (2.9)$$

Donde: RAS: Relación de Adsorción de Sodio del agua de riego; Na: sodio del agua (meq/l); Ca+Mg: calcio más magnesio del agua (meq/l)

$$^{25}RAS^{\circ} = Na / \sqrt{(Ca^{\circ} + Mg)/2} \quad (2.10)$$

Donde: RAS^o: Relación de Adsorción de Sodio del agua de riego; Na: sodio del agua (meq/l); Ca^o: calcio corregido del agua (meq/l) según relación entre la conductividad eléctrica y la relación HCO₃⁻/Ca del agua de riego (ANEXO 3, Tabla 24); Mg: magnesio del agua (meq/l)

$$PSS = [Na / (Ca + Mg + K + Na)] * 100 \quad (2.11)$$

Donde: PSS: Porcentaje de Sodio Soluble del agua; Na: sodio del agua (meq/l); Ca: calcio del agua (meq/l); Mg: magnesio del agua (meq/l); K: potasio (meq/l)

Los valores límites utilizados para el Índice de Kelly fueron: >35% Buena; < 35% Mala.

EL CASO DE ESTUDIO EN EL CONTEXTO REGIONAL

Este apartado tiene por finalidad poner en el contexto regional el caso de estudio. Para ello se procedió a establecer las similitudes/diferencias de la tecnología de manejo del cultivo utilizada por el establecimiento donde se realizó el presente trabajo (caso de estudio) respecto de la utilizada por otras empresas de la región, indagar si las tendencias encontradas en el recurso se producen en otros sitios, y establecer las relaciones causa-efecto entre los resultados encontrados y la tecnología de producción utilizada.

²⁵ El procedimiento del ajuste de la RAS sugerido por Suarez (1981), corrige la concentración de calcio del agua de riego en función del valor de equilibrio esperable dado el efecto del dióxido de carbono, de los bicarbonatos y la salinidad (CE) del agua. El procedimiento corrige la concentración del Calcio del agua de riego, según la relación HCO₃⁻/Ca (meq/l), y la CE (dS.m⁻¹) en el agua en. Con esos valores se utiliza la Tabla N° 24 del ANEXO 3, para establecer el valor de Ca^o (calcio corregido). Este valor de calcio corregido, expresado en meq/l, es el que permanecerá en la solución del suelo cuando se constituya el equilibrio y es el utilizado para el cálculo de la RAS corregido.

Tecnología utilizada por las empresas del sector para la producción de olivos

El proceso de análisis de la tecnología de producción utilizada tuvo por finalidad verificar la utilización de prácticas de producción similares entre el caso de estudio y el resto de las empresas de la región. Para ello se procedió a la recopilación de dicha información en la región aplicando la misma encuesta utilizada para el caso de estudio en una muestra formada por 14 empresas. La muestra representa el 25% (aproximadamente 5.000 ha) sobre el total de superficie implantada en la región.

La información emanada de las encuestas fue sometida a un análisis de conglomerados, para establecer similitudes/diferencias entre los integrantes de la muestra. Dicha técnica de análisis, implica la distribución de las variables en estudio (lámina de riego, fertilización, etc) en clases o categorías llamadas conglomerados, que reúnen observaciones cuya similitud es máxima bajo algún criterio; en este caso el criterio utilizado es el de Ward o de la mínima varianza. Las similitudes o diferencias entre las entidades agrupadas se expresa partir de distancias (eje x), en este caso la distancia euclídea por tratarse de variables cuantitativas.

El resultado de este análisis es una figura de ejes denominada dendrograma. En el cuerpo de la figura se observan agrupamientos sucesivos de las empresas que se inicia de a pares por vez, agrupando primero las de mayor similitud y al último las de menor similitud, dando origen a los conglomerados. Las empresas quedan representadas en el eje y, mientras que en el eje x queda representada la distancia que separa esos agrupamientos. Cuanto menor es la distancia, mayor es la similitud de las variables en estudio para ese par o grupo de empresas.

Como criterio general de análisis de la información, se trabajó agrupando las empresas encuestadas en 3 conglomerados (representadas en el cuerpo de la figura). Se asume por

convención, que la variable evaluada es similar para las empresas agrupadas en conglomerados que se formen a una distancia \leq al 50% de la total del eje x.

En el Fig. 2.4, se brinda un ejemplo de dendrograma. En ella puede observarse que por debajo del 50% se forman dos conglomerados, el primero constituido por las empresas 0 y 9, y el segundo por las 2, 3 y 5. Para las variables hipotéticas evaluadas, indica que las mismas son similares entre las empresas del primer grupo y entre las empresas del segundo; resultando diferentes entre ambos grupos o conglomerados, ya que estos se unen formando uno solo a mayor distancia que el 50% establecido como criterio.

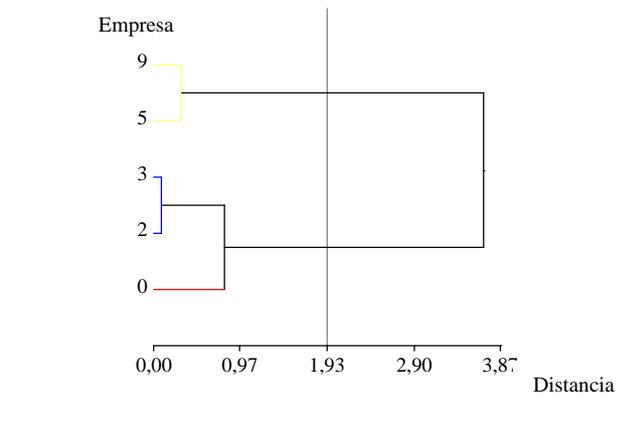


Fig. 2.4. Ejemplo de dendrograma

Respuesta de los suelos en sitios de verificación

En base a la información emanada de las encuestas de relevamiento de tecnología de producción utilizada, se seleccionaron dos empresas que desarrollan sus actividades sobre la misma asociación de suelos, que poseen parcelas con cultivo de la edad requerida para verificar tendencias (6 y 9 años de cultivo) y que se ubicaran una sobre la Ruta Prov. N° 33 y la otra sobre la Ruta Nac. N° 38. (Fig. 2.3, p.69)

Se muestrearon en un mismo tiempo solo parcelas de 6 y de 9 años de cultivo y el monte natural contiguo como parcela testigo o de inicio de la serie. En cada una de ellas, se extrajeron 3 muestras compuestas, una para cada profundidad, 0-40 cm, 40-80 cm y 80-120 cm. Cada muestra compuesta estuvo formada por tres (3) sub-muestras (pseudos-réplicas) tomadas en diagonal a lo largo de toda la parcela, despreciando el efecto borde, de manera de captar la variabilidad del suelo en cada una de ellas. Respecto de la distancia entre árbol y el punto de muestreo, este se realizó de la misma forma que en el caso de estudio, así las muestras representan la condición del suelo en la zona de los bulbos de riego.

Se efectuaron en las muestras las mismas determinaciones realizadas para el caso de estudio.

Calidad del agua de riego de los sitios de verificación y de la región del Valle Central

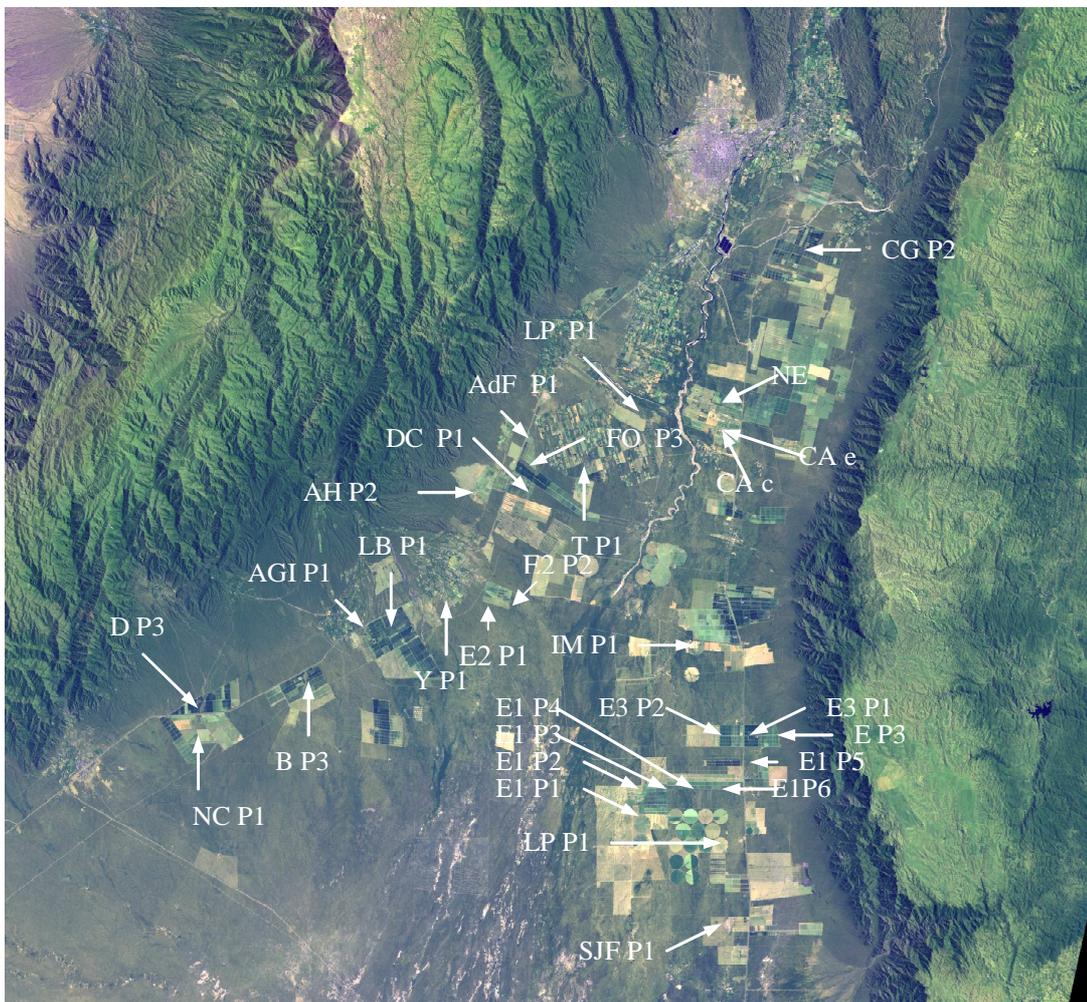
A los efectos de completar la información recabada en las encuestas de tecnología de producción, se procedió a tomar muestras de agua de las perforaciones que irrigan las parcelas muestreadas para verificar tendencia.

Las muestras de agua que totalizaron 4, fueron analizadas en laboratorio y se les efectuaron las mismas determinaciones que a las del caso de estudio. Se utilizaron los mismos criterios para su clasificación de aptitud.

A los resultados obtenidos del caso de estudio y de los sitios de verificación, se agregaron los análisis de agua de perforaciones de empresas frutícolas del Valle Central, extraídas de la base hidro-química cedida por la Secretaría del Agua y del Ambiente de la provincia de Catamarca (ANEXO 3, Tabla 23).

El número total de muestras analizadas fue de 32, 18 de las cuales pertenecen a perforaciones situadas sobre la Ruta Prov. N° 33, mientras que las 14 restantes son de perforaciones localizadas a lo largo de la Ruta Nac. N° 38. (Fig. 2.5)

Las mismas se clasificaron por su aptitud, utilizando idénticos indicadores y criterios que para el agua del caso de estudio y los sitios de verificación.



Referencias: E1 P1, P2, P3, P4, P5, P6: perforaciones del caso de estudio; E2 P1, P2: perforaciones 1 y 2 del sitio de verificación E2; E3 P1, P2, P3: perforaciones 1, 2 y 3 del sitio de verificación E3; Resto: corresponden a otros sitios de muestreo.

Fig. 2.5. Puntos de muestreo de agua subterránea en el Valle Central, imagen 2006

MODELOS DE PREDICCIÓN

Los resultados encontrados en los suelos se relacionaron con los de la tecnología de producción utilizada mediante regresión lineal multivariada, de manera de obtener un modelo matemático que los vincule.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

INDICADORES DE NIVEL REGIONAL: CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO

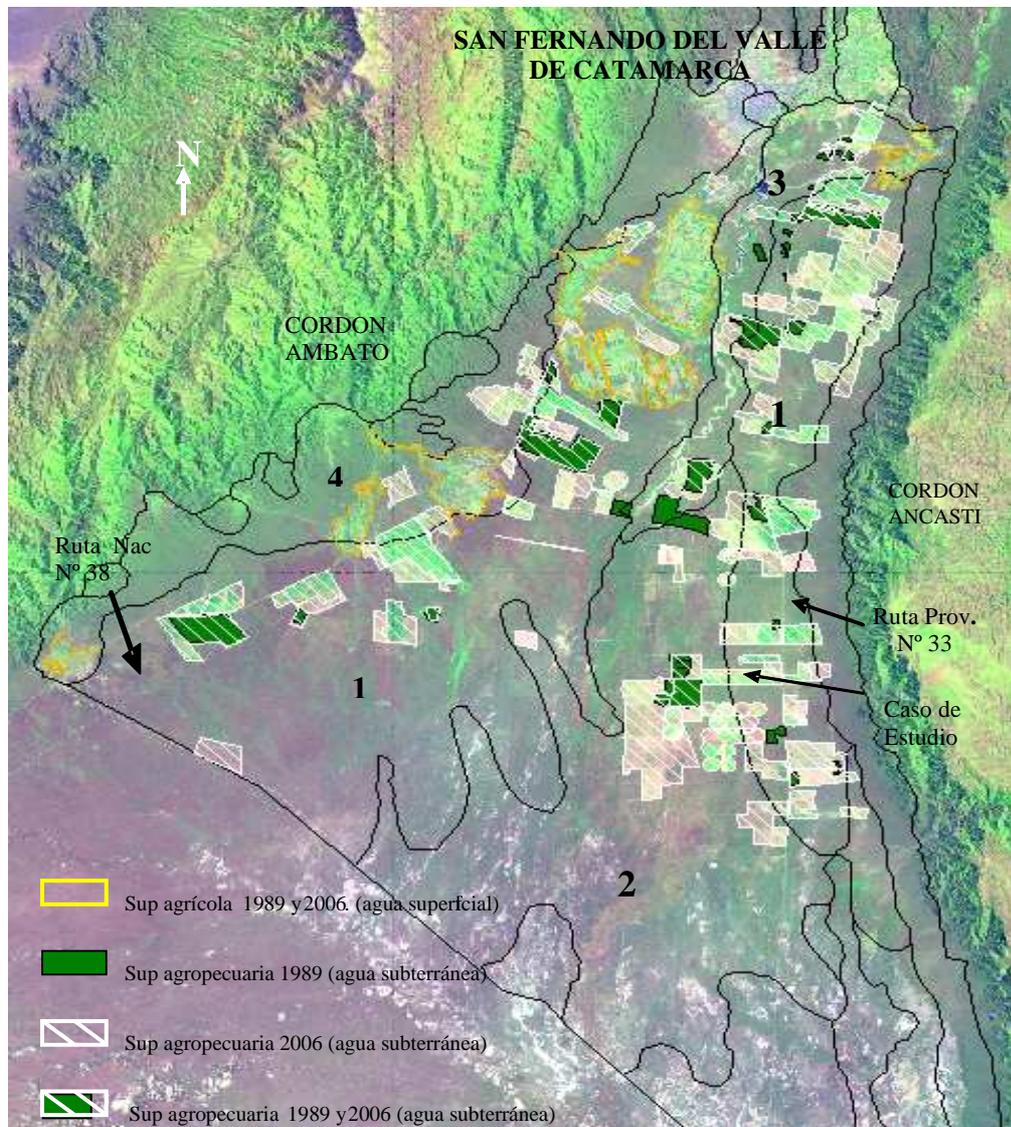
Se muestra en la Fig. 2.6, los usos del suelo con destino agropecuario del Valle Central de Catamarca en los dos momentos analizados, y la ubicación del caso de estudio.

En dicha figura, se observa una escasa ocupación del suelo con fines agropecuarios a nivel general de región en 1989, prevaleciendo las actividades que utilizaban agua de origen superficial para el riego (superficie delimitada en amarillo, Fig. 2.6).

Para esa mismo año, los establecimientos dedicados a la producción agrícola bajo riego con agua subterránea ubicados a lo largo de la Ruta Nac. N° 38 y sobre la Ruta Prov. N° 33, dedicaron sus actividades a la producción de algodón y vid para mesa; sobre la asociación de suelos Colonia del Valle. La actividad ganadera, de menores proporciones, se localizó en las asociaciones Río del Valle y Laguna Verde (áreas 2 y 3, Fig. 2.6).

La mayoría de esta superficie continúa en producción al 2006 reconvertida a la actividad olivícola en mayor medida, o a otros cultivos anuales en menor medida (superficie verde con rayas blancas, Fig. 2.6); mientras que en el resto de la superficie se dejó de

producir (superficie verde, Fig. 2.6). (ANEXO 2, Fig. 49. Patrón de uso de suelo agropecuario del Valle Central. Imagen 1989)



Referencias: 1: asociación de suelos Colonia del Valle; 2: asociación de suelos Laguna Verde; 3: asociación de suelos Río del Vale; 4: Pedemonte Ambato.

Fig. 2.6. Distribución espacial de la superficie de uso agropecuario 1989-2006. Valle Central de Catamarca

Hacia mediados del período comprendido entre el año 1990 y 2000, comenzaron los desmontes y la implantación de montes frutales en la región del Valle Central de

Catamarca, olivo en su gran mayoría, y en menor medida producciones anuales y ganadería; todas ellas bajo riego presurizado con agua de origen subterránea (superficie delimitada y rayada con blanco, Fig. 2.6). (ANEXO 2, Fig. 50, Patrón de uso de suelo agropecuario del Valle Central. Imagen 2006)

Estas explotaciones se desarrollaron principalmente en la asociación de suelos Colonia del Valle parte este, seguida de la parte oeste; a la que le siguieron Laguna Verde, Pedemonte de Ambato y Río del Valle.

La modificación de superficie según su uso y distribución en las asociaciones de suelo involucradas en la producción (Fig. 2.6), se muestran en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Patrón de uso agropecuario del suelo en el Valle Central de Catamarca 1989 y 2006, según asociación de suelos.

Asociación de Suelos	Superficie Total (ha)	Uso del suelo 1989 (ha)			Uso del suelo 2006 (ha)		
		Agr. riego sup.	Agr. riego sub.	Desm./Ganad.	Agr. riego sup.	Agr. riego sub.	Desm ²⁶ ./Ganad.
Col. del Valle	109.676	7.041	2.747	907	7.471	18.460	4.213
Río del Valle	14.281	579	180	823	579	1.889	267
Laguna Verde	63.813	----	----	996	----	3.584	3.353
Pedemonte	23.879	4.534	----	171	2.975	2.326	1.433
Sub-total		12.154	2.927	2.897	11.025	26.259	9.266
TOTAL	211.650		17.978			46.550	

Referencias: Col. del Valle: Colonia del Valle; Agr. riego sup.: agricultura bajo riego con agua de origen superficial; Agr. riego sub.: agricultura bajo riego con agua de origen subterránea; Desm./Ganad.: desmonte/ganadería.

Sobre el total de superficie del Valle Central, 362.640 ha, las asociaciones de suelo implicadas en la actividad agropecuaria ocupan un área de aproximadamente 211.650 ha

²⁶ Se ubican aquí además de las categorías mencionadas, la superficie que no pudo identificarse o constatarse como de producción agrícola, por lo que pueden estar incluidas plantaciones de muy escasa edad que se visualizan como pasturas o desmontes.

(Tabla 2.2, p.82; Fig.2.6, p.81). El 52% de dicha superficie, 109.676 ha, corresponde a la asociación de suelos Colonia del Valle.

Los resultados indican un incremento importante de la actividad productiva en las asociaciones de suelo implicadas en la producción, la que evolucionó de 18.000 ha a 46.550 ha en el período 1898-2006.

La categoría ‘agricultura bajo riego con agua subterránea’ seguida de la categoría ‘desmonte/ganadería’, resultaron las de mayor crecimiento y ocupación en todas las asociaciones de suelo involucradas en este desarrollo.

La categoría ‘uso agropecuario con agua superficial’, es la única que disminuyó la superficie en una pequeña proporción.

La asociación Colonia del Valle es la receptora de la mayor parte de la superficie de las categorías ‘agricultura bajo riego con agua de origen subterráneo’ y ‘desmonte/ganadería’. Al 2006, fecha de la imagen, esta asociación reúne entre las categorías de uso observadas 30.144 ha en producción. Esto significó un incremento del 59% al 65% de ocupación en el período 1989-2006.

La asociación Laguna Verde es la segunda receptora con 5.940 ha, y presenta una variación de un 6% a un 15 %, para igual período.

En la Tabla 2.3, se muestra la variación en el patrón de uso de suelos del Valle Central.

Tabla 2.3. Variación en el patrón de uso agropecuario del suelo en el Valle Central de Catamarca, 1989-2006

	Año	Agr. riego sup. (ha)	Agr. riego sub. (ha)	Desm./ Ganad. (ha)	Total Agropecuario (ha)
Indicadores de Estado	1989	12.154,13	2.926,78	2.897,32	17.978,23
	2006	11.025,13	26.259,08	9.266,00	46.550,21
Indicadores de Impacto	Variación (ha)	-1.129,00	23.332,30	6.368,68	28.571,98
	Variación (%)	-9,29%	797,20%	219,81%	158,93%

Referencias: Agr. riego sup.: agricultura bajo riego con agua de origen superficial; Agr. riego sub.: agricultura bajo riego con agua de origen subterránea; Desmote/Ganad.: desmote/ganadería

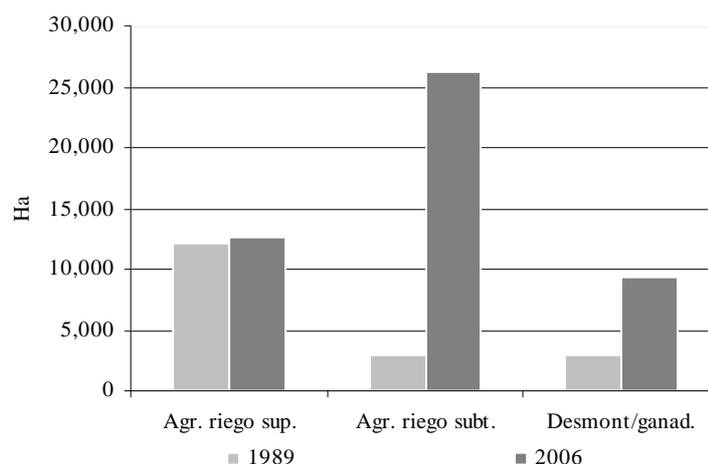
El análisis inter-temporal de imágenes, indica que la presión ejercida sobre el medioambiente a partir del desmote total de aproximadamente 29.700 ha (variación de superficie de las categorías agricultura bajo riego con agua subterránea y desmote/ganadería) en el período 1989-2006, produjo un incremento neto de superficie de uso agropecuario del 159% (28.572 ha, Tabla 2.3) modificando el patrón de uso agropecuario de suelo de la región.

El 82% de ese incremento, 23.332 ha, está destinado a la categoría de uso ‘agricultura bajo riego con agua subterránea’, donde predomina la producción olivícola en un 85% (aproximadamente 20.000 ha). Dicha categoría de uso creció en ese período un 797%. (Tabla 2.3)

El 18% restante, 6.370 ha, corresponde a la categoría de uso ‘desmote/ganadería’ cuyo crecimiento fue del 220%.

La categoría ‘agricultura con uso de agua superficial’, involucró un 9%.

Esta información se esquematiza en la Fig. 2.7.



Referencias: Agr. riego sup.: agricultura bajo riego con agua de origen superficial; Agr. riego sub.: agricultura bajo riego con agua de origen subterránea; Desmonte/ganad.: desmonte/ganadería

Fig. 2.7. Variación en el patrón de uso de suelos en el Valle Central de Catamarca, 1989-2006

El porcentaje de ocupación de suelos para uso agropecuario en la región, considerando estas cuatro asociaciones como las más aptas para dicho desarrollo, evolucionó de un 8% a un 23% para el período analizado.

En función de los resultados los niveles de ocupación de suelos son relativamente bajos y en asociación a ello, la proporción de bosque nativo existente en la región al año 2006, es del 77%. Sin embargo, la condición de uso agrícola general del Valle donde los cultivos revisten el carácter de ‘intensivos’, implican una elevada demanda de otro recurso natural, el agua subterránea, la que está asociada a una mayor necesidad de insumos entre los que se cuenta la energía para la extracción de la misma.

En consecuencia no se observa como limitante para el desarrollo futuro a la cantidad de suelo disponible, tampoco se observan riesgos en cuanto a la pérdida de biodiversidad cuya presencia es elevada; sin embargo se infiere que al igual que en la mayoría de las zonas

áridas y semiáridas, dicho desarrollo estará condicionado por la cantidad y calidad del agua subterránea y de la energía disponible para su extracción.

INDICADORES DE NIVEL DE EXPLOTACIÓN AGROPECUARIA

Se presentará en primer término información sobre la tecnología de producción de utilizada en el establecimiento donde se realiza el estudio, de manera que puedan vincularse luego, con la respuesta del suelo cuyos resultados de análisis se exponen posteriormente.

Tecnología de producción utilizada por el caso de estudio

Se muestra en la Tabla 2.4, las edades de parcelas bajo cultivo y las dotaciones de los fertilizantes utilizados y agua de riego aplicada.

Tabla 2.4. Manejo técnico utilizado por la empresa del caso de estudio

	Edad de las parcelas (años)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Superficie (ha)	25	137	40		42	100	87		248
Fertilización									
P (kg/ha)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K (kg/ha)				69	69	69	69	85	85
N (kg/ha)	0	0	0	21	26	31	37	42	77
Riego									
Lámina mm/ha	341	341	511	681	852	1.003	1.003	1.003	1.003

Referencias: K: fertilizantes potásicos; N: fertilizantes nitrogenados; kg/ha año: kilos de producto por hectárea y por año; mm/ha: milímetros de agua aplicados por hectárea y por año de cultivo.

Como una práctica común, en el momento de la plantación se efectúan aportes de materia orgánica en la base de la maceta de plantación y un refuerzo con nitrógeno, potasio

y fósforo. La fuente de potasio utilizada es el sulfato de potasio (SO_4K_2), mientras que la de nitrógeno es la urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$). Las dosis aplicadas responden a la necesidad teórica del cultivo que se calcula por planta y año de vida de la misma, y que resultan en los valores expresados en kg/ha detallados en la Tabla 2.4.

Las necesidades de riego son estimadas en función del contenido hídrico del suelo en relación al estado fenológico de la planta y su edad, por lo que el volumen de la lámina aplicada aumenta según la edad de la plantación y fluctúa de acuerdo a la época del año. La misma es mínima a nula en los meses de invierno y va aumentando a partir del mes de agosto para llegar a su valor máximo en el mes de noviembre. Este nivel se mantiene hasta el mes de febrero, a partir del cual comienza a decrecer nuevamente.

Las necesidades de agua del cultivo se determinan a través de sondas que miden el contenido de agua del suelo en milímetros (mm), hasta una profundidad de 1,6 metros. El contenido mínimo de humedad a partir del cual se efectúan los aportes complementarios de agua es de 100 milímetros para suelos de texturas franco-arenosas, y de 300 milímetros para los suelos de texturas franco-limosas. Los contenidos máximos a partir de los cuales se suspenden los aportes, corresponden a los de capacidad de campo, 350 milímetros para texturas franco-arenosas y 500 milímetros para texturas franco-limosas.

Calidad del agua de riego del caso de estudio

Las características que revisten las aguas subterráneas utilizadas para riego pueden observarse en las Tablas 2.5 y 2.6, en las que se presentan los resultados de los análisis de laboratorio y en base a ellos, su clasificación. Como puede observarse el agua de las tres perforaciones no reviste riesgos de ‘salinización’ del suelo como consecuencia de su uso.

El contenido de sodio respecto del resto de los cationes y el de carbonato, indican aguas de características bicarbonatadas sódicas. Estas aguas entonces presentan riesgos de

producir ‘sodicidad’ en el suelo: los criterios Relación de Adsorción de Sodio corregida (RAS°), conductividad eléctrica (Ce) y Proporción de Sodio Soluble del agua (PSS) las califican como de riesgos moderados, y los criterios Carbonato de Sodio Residual (CSR) e Índice de Kelly (IK) como de severos o malos; en el caso de la perforación 3 que irriga las parcelas de 2, 3 y 5 años resulta con calificación moderada, bajo el criterio CSR. (Tabla 2.6).

Se observa que los valores de Relación de Adsorción de Sodio (RAS), Relación de Adsorción de Sodio corregida (RAS°), Proporción de Sodio Soluble del agua (PSS) de las perforaciones 2 y 3 son cercanos entre si y menores a los de la perforación 4, resultando a la inversa para el criterio Índice de Kelly (IK) (Tabla 2.5). Los valores encontrados indican características similares y mejor calidad para el agua de las perforaciones 2 y 3 respecto del agua de la perforación 4; no obstante la igualdad de grado de restricción obtenida, con excepción del CSR.

Los criterios de calificación para riesgos de toxicidad, en general coinciden e indican que su grado de restricción es moderado. La excepción la constituye el criterio Relación de Adsorción de Sodio (RAS) que indica que la perforación 2 no presenta riesgos de producir toxicidad en el cultivo en contraposición al criterio bicarbonato (Tabla 2.6).

Tabla 2.5. Características del agua de riego del caso de estudio

	Puntos de muestreo		
	E1		
	P2	P3	P4
C. E.(dS/m)	0,38	0,39	0,44
pH	7,70	7,58	7,64
Ca (meq/l)	1,30	1,40	1,25
Mg (meq/l)	0,48	0,48	0,40
Na (meq/l)	2,00	2,17	2,70
K (meq/l)	0,15	0,18	0,18
CO ₃ (meq/l)	0,00	0,00	0,00
CO ₃ H(meq/l)	4,72	3,28	7,60
SO ₄ (meq/l)	0,72	0,67	0,88
Cl (meq/l)	0,48	0,42	0,42
RAS	2,12	2,24	2,97
RAS °	2,47	2,43	3,82
PSS	50,89	51,30	59,60
CSR	2,94	1,40	5,95
IK	34,39	34,57	28,74
Parcelas que riegan	9 años	2,3 y 5 años	6 años

Referencias: RAS: Relación de Adsorción de Sodio; RAS°: RAS corregido; PSS: Porcentaje de Sodio Soluble; CSR: Carbonato de Sodio Residual; IK: Índice de Kelly

Tabla 2.6. Calificación del agua de riego del caso de estudio

	Grado de restricción de uso		
	P 2	P3	P4
Salinidad			
Ce	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Sodicidad			
RAS° - Ce	Moderado	Moderado	Moderado
PSS	Moderado	Moderado	Moderado
RAS	Ninguno	Ninguno	Ninguno
CSR	Severo	Moderado	Severo
IK	Mala	Mala	Mala
Toxicidad (riego presurizado)			
Na y RAS	Ninguno	Moderado	Moderado
Bicarbonatos	Moderado	Moderado	Moderado

Referencias: RAS°: Relación de Adsorción de Sodio corregida; Ce: conductividad eléctrica; RAS: Relación de Adsorción de Sodio; PSS: Porcentaje de Sodio Soluble; Carbonato de Sodio Residual; Índice de Kelly; Na: sodio.

Características físico-químicas de los suelos sin cultivar

Las condiciones físico- químicas del perfil original de los suelos que conforman la Asociación Colonia del Valle pueden verse en la Tabla 2.7, y las de los suelos muestreados para la realización de este trabajo en la Tabla 2.8 y 2.9. (ANEXO 3, Tabla 1)

Tabla 2.7. Características físico-químicas de los suelos con monte natural, año 1983. Valores de perfil modal

Perfil	Prof (cm)	Clase ²⁷ Textural	pH	Ce- (dS m ⁻¹)	Carb. Org. (%)	Mat.Org. (%)	Clasificación
1	0-35	Arenosa	8,3	0,7	0,17	0,30	Torrifluventes
	35-50	ArcArFr	7,9	2,31	2,35	4,13	
	50-100	ArcArFr	8,4	0,8	0,25	0,44	

Fuente: Cartografía de suelos de la provincia de Catamarca- Valle Central. Cat. Edafología-UNCa, 1983.
Referencias: ArcArFr: arcillo arenoso franco.

Tabla 2.8. Características físico-químicas de los suelos sin cultivo, año 2007. Valores promedios

Años de cultivo	Prof (cm)	pH	Ce- (dS.m-1)	CO ₃ ⁼ (%)	Ca+Mg	Na sol. (meq/l)	K sol.	Clasificación
0	0-40	7,90	0,68	1,55	11,15	0,80	1,35	Torrifluventes
	40-80	8,07	2,03	2,26	30,13	3,20	1,86	
	80-120	8,03	3,09	1,77	54,47	8,10	2,03	

Referencias: año de cultivo 0: Testigo, monte natural contiguo al emprendimiento productivo. Ce: conductividad eléctrica; CO₃⁼: carbonato; Ca+Mg: calcio mas magnesio soluble; Na sol.: sodio soluble; K sol.: potasio soluble.

²⁷ En el documento original la clase textural de la profundidad de 0-35 se encuentra indicada como Arenosa Laminar producto de la observación de la formación de capas laminares que se superponen.

Tabla 2.9. Condiciones de fertilidad de los suelos sin cultivo, año 2007. Valores promedios

Años de cultivo	Prof (cm)	Carb.org. (%)	MO (%)	N (%)	P (ppm)	K int. Na int. Ca int. Mg int. (meq/100gr)			
0	0-40	0,48	0,88	0,08	12,53	1,44	0,00	10,87	9,30
	40-80	0,52	1,03	0,08	9,83	1,79	0,17	15,73	7,97
	80-120	0,31	0,55	0,06	10,03	1,11	0,94	14,37	10,20

Referencias: año de cultivo 0: Monte natural contiguo al emprendimiento productivo. Carb. Org.: carbono orgánico; MO: materia orgánica; N: nitrógeno; P: fósforo; K int.: potasio intercambiable; Na int.: sodio intercambiable; Ca int.: calcio intercambiable; Mg int: magnesio intercambiable.

Los resultados que se disponen de las zonas sin cultivo para el año 1983 (Tabla 2.7, 1983), muestran valores de pH y conductividad eléctrica que indican suelos medianamente alcalinos, no salinos. El contenido de materia orgánica es bajo para la primera y tercera profundidad, aunque se observa un enriquecimiento en la segunda profundidad. Pertenecen a la clase textural Franco limosos (FrLi)- Franco arenosos (FrAr).

Los suelos sin cultivar de la misma región al año 2007 (Tablas 2.8 y 2.9) muestran valores de pH que indican suelos medianamente alcalinos, valores de conductividad eléctrica que lo califican como no salinos. Resultan pobres en su contenido de materia orgánica y macro nutrientes nitrógeno y fósforo, muestran contenidos de carbonatos de medio a altos, niveles elevados a normales de potasio, calcio y magnesio intercambiables, e idénticos niveles para potasio y calcio más magnesio solubles. El suelo pertenece a la clase textural Franco-Limoso (FrLi) para las dos primeras profundidades y Franco-Arenoso (FrAr) para la última.

Las diferencias encontradas entre los valores de las variables en los dos momentos de tiempo, seguramente se deben a numerosos factores entre los que se encuentra el tiempo transcurrido entre los muestreos, el sitio de muestreo que no es el mismo, la asociación de padrones que conforma el suelo, entre otras causas.

A los fines de este trabajo, donde lo que se pretenden reflejar son los impactos originados por la actividad antrópica, se considerará a las diferencias encontradas como no relevantes ya que las características generales de medianamente alcalinos y no salinos indicados por la variable pH y conductividad eléctrica, se mantuvieron a lo largo del tiempo.

Características físico químicas de los suelos en producción: caso de estudio

El análisis de evolución temporal de cada variable, desde la condición original mostrada en las Tablas 2.8 y 2.9 (p.90 y 91), hasta la condición actual producto de las prácticas de producción, se muestran a continuación. Los resultados de las muestras de suelo de la parcela de 6 años de cultivo produjeron distorsiones en las series de tiempo construidas, producto de la calidad diferente del agua de riego (Tabla 2.5, p.89), por ello no se incluyen en el análisis que se presenta a continuación, y serán analizadas más adelante. (ANEXO 3, Tabla 1)

- **Potencial Hidrógeno (pH):** Todos los valores encontrados en las parcelas cultivadas y en las tres profundidades resultan superiores a los encontrados para el testigo, observando una tendencia creciente. Se produce un cambio en la clasificación original del suelo de Moderado a Fuertemente Alcalino (Fig. 2.8). Se advierte una tendencia creciente a medida que transcurre el tiempo de cultivo, para el primer y segundo profundidad, mientras que parece estabilizarse a partir del 5° año de cultivo en el más profundo.

El análisis estadístico sugiere diferencias significativas a partir del 5° año de cultivo para las tres profundidades estudiadas (Tabla 2.10, Fig. 2.8). El GNV (Grado Neto de Variación) indica que la primera profundidad es la más afectada. En las tres profundidades se verifican impactos. (ANEXO 3, Tabla 1 Características físico-químicas de los suelos-Caso de estudio, Tabla 3. Intervalos de confianza, variable pH)

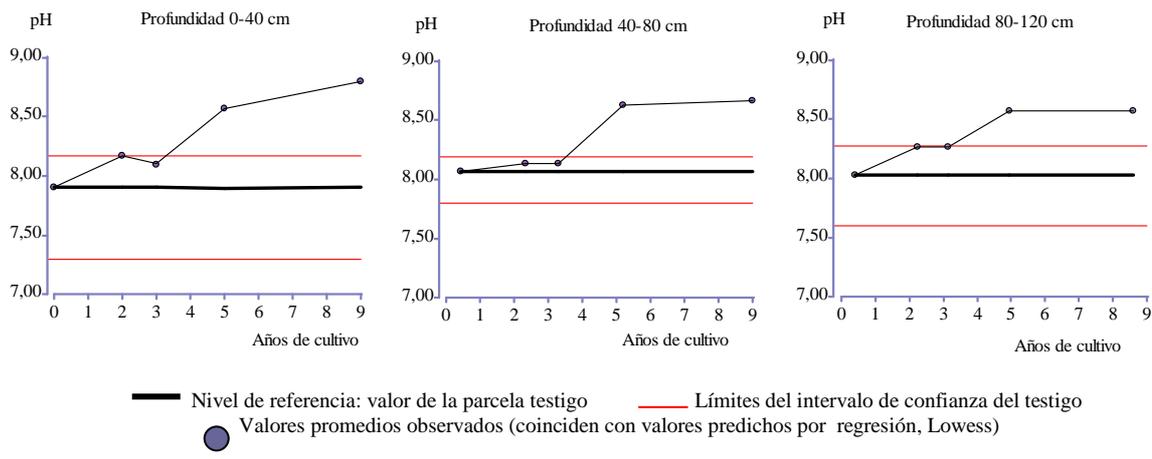


Fig. 2.8. Evolución del potencial Hidrógeno promedio

Tabla 2.10. Valores promedios de potencial Hidrógeno

Edad de Plantación (años)	Profundidad (cm)		
	0-40	40-80	80-120
0	7,90	8,07	8,03
2	8,17	8,13	8,27
3	8,10	8,13	8,27
5	8,57	8,63	8,57
9	8,80	8,67	8,57
LI (95%)	7,30	7,80	7,60
LS (95%)	8,17	8,19	8,28
GNV	0,90	0,60	0,54

Referencias: valores en negrita implican diferencias estadísticas respecto del testigo. LI y LS: límite inferior y superior del intervalo de confianza generado para el testigo. GNV: Grado Neto de Variación de la variable, en negrita implica impacto.

Conductividad eléctrica (Ce): No se observan mayores cambios para esta variable en la primera profundidad, mientras que se verifica un descenso marcado entre la parcela testigo y las parcelas en producción en la segunda y tercera profundidad muestreada. Las diferencias resultan significativas respecto del testigo para el 2º y 3º año de cultivo en la segunda profundidad. Las diferencias son significativas para 2, 3, 5 y 9 años de cultivos en la profundidad de 80-120 cm. (Fig. 2.9, Tabla 2.15)

Estos resultados pueden explicarse por la aplicación del riego, el agua de riego estaría provocando el lavado de sales en el bulbo (Vermeiren y Jobling, 1986; Osorio y Céspedes, 2000), las que se acumulan en el límite de las zonas humedecidas del bulbo de riego; mientras que hacia el interior del bulbo, la humedad del suelo es siempre elevada y la concentración de sales es menor.

La conductividad eléctrica aumenta con la profundidad en el testigo (niveles de referencia), producto de la deposición de sales en profundidad producido probablemente por la precipitación pluvial natural; mientras que para las parcelas implantadas el efecto se invierte de manera leve. La baja conductividad observada en la tercera profundidad respecto de la parcela testigo debe ser atribuida al paquete tecnológico de manejo del cultivo y de ellos principalmente a la aplicación del agua de riego, ya que es ésta la principal diferencia con el testigo (ANEXO 3, Tabla 1. Características físico-químicas de los suelos – Caso de estudio, Tabla 4. Intervalos de confianza, variable conductividad eléctrica)

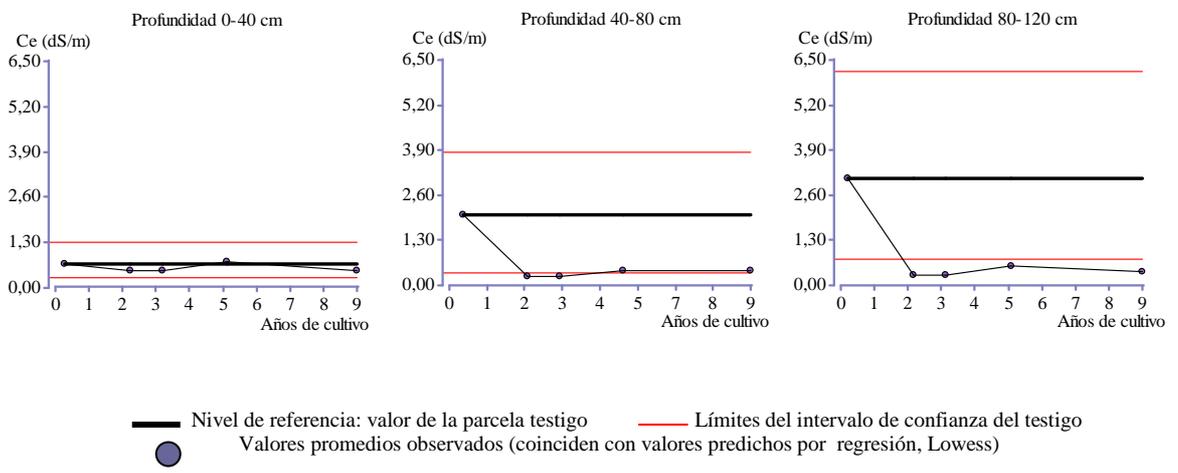


Fig. 2.9. Evolución de la conductividad eléctrica promedio

Tabla 2.11. Valores promedios de conductividad eléctrica (decisiemens por metro)

Edad de Plantación (años)	Profundidad (cm)		
	0-40	40-80	80-120
0	0,67	2,00	3,00
2	0,48	0,27	0,28
3	0,49	0,27	0,30
5	0,75	0,42	0,55
9	0,49	0,43	0,41
LI (95%)	0,28	0,35	0,76
LS (95%)	1,30	3,85	6,18
GNV	-0,18	-1,57	-2,59

Referencias: valores en negrita implican diferencias estadísticas respecto del testigo. LI y LS: límite inferior y superior del intervalo de confianza generado para el testigo. GNV: Grado Neto de Variación de la variable, en negrita implica impacto

- Carbonatos (CO₃): Los contenidos de carbonatos no muestran una tendencia clara en todo el perfil del suelo, los valores encontrados en las tres profundidades y para los diferentes años de cultivo resultan similares (GNV, Tabla 2.12). Se observa acumulación en los puntos intermedios de la serie en la primera y tercera profundidad, que resultan significativas respecto del testigo. (Fig. 2.10)

Los niveles similares del contenido de carbonatos entre el testigo y la parcela de 9 años en ambas profundidades (0-40 cm y 80-120 cm) hacen suponer que las variaciones observadas en los años intermedios de la serie, estarían relacionadas a la variabilidad entre parcelas por la escala de muestreo adoptada, más que a un efecto en particular. Se aclara que si bien estos suelos poseen de medios a elevados contenidos de carbonatos de calcio, no son suelos calcáreos²⁸.

No se verifican modificaciones en la clasificación del suelo al término del período de los nueve años de cultivo, que continúa siendo de contenido medio.

²⁸ El material parental de los suelos del Valle deriva de procesos geomórficos fluviales y aluviales (Da Silva *et al.*, 1983), por lo que provienen de la meteorización de las formaciones rocosas que rodean al mismo, Sierras de Ancasti y Ambato, y del posterior transporte de los sedimentos hacia el interior de aquel.

Los tenores de carbonatos muestran un leve ascenso con la profundidad, en las parcelas cultivadas. (ANEXO 3, Tabla 1 Características físico-químicas de los suelos – Caso de estudio; Tabla 5. Intervalos de confianza, variable carbonatos)

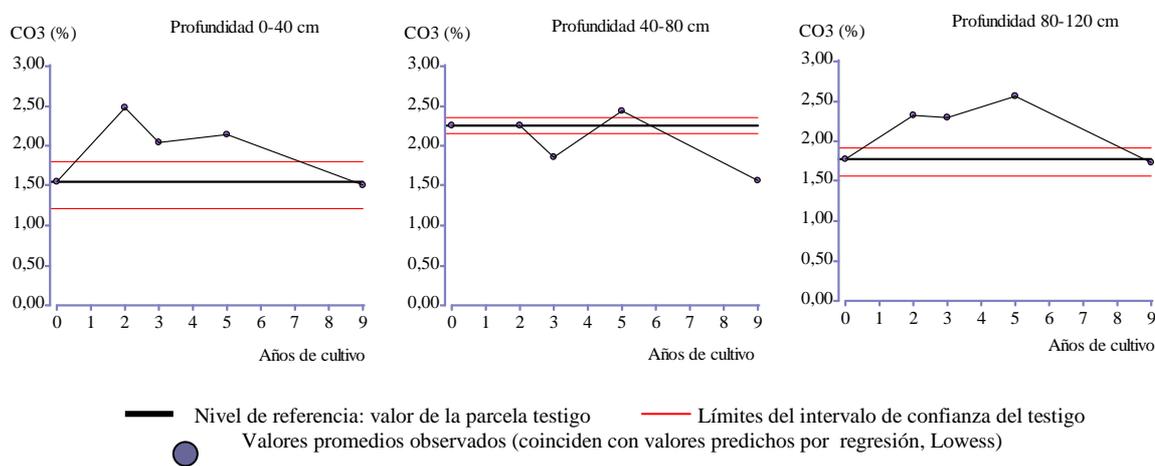


Fig. 2.10. Evolución del contenido promedio de carbonatos

Tabla 2.12. Contenido promedio de carbonatos (porcentaje)

Edad de Plantación (años)	Profundidad (cm)		
	0-40	40-80	80-120
0	1,55	2,26	1,77
2	2,48	2,25	2,33
3	2,04	1,86	2,30
5	2,14	2,44	2,56
9	1,50	1,57	1,73
LI (95%)	1,21	2,15	1,57
LS (95%)	1,80	2,35	1,92
GNV	-0,06	-0,69	-0,04

Referencias: valores en negrita implican diferencias estadísticas respecto del testigo. LI y LS: límite inferior y superior del intervalo de confianza generado para el testigo. GNV: Grado Neto de Variación de la variable, en negrita implica impacto

- Potasio soluble (K sol.): La tendencia decreciente del contenido de potasio soluble en la serie de tiempo analizada en las parcelas bajo cultivo, se observa en todas las profundidades muestreadas. La misma no se visualiza de manera clara en la primera

profundidad probablemente debido a la influencia de la fertilización con potasio que se efectúa a partir del 5º año de cultivo. Sin embargo se manifiesta con mayor precisión en la 2º y 3º profundidad, donde el descenso es más marcado (Fig. 2.11).

Los contenidos menores de las parcelas cultivadas resultan significativos respecto del testigo para el 2º, 3º y 9º año de cultivo en la primera profundidad. Los son para toda la serie de tiempo en la segunda profundidad y solo para el 9º año de cultivo en la última profundidad. A raíz de ello se ve modificada la clasificación original del suelo respecto del contenido de K soluble, de ‘alto’ a ‘bajo’ (Tabla 2.13).

El GNV muestra que la disminución del contenido de potasio respecto del testigo es más marcada en la profundidad de 80-120 cm (Tabla 2.13). Independientemente de ello en las tres profundidades se verifican impactos (GNV, Tabla 10; ANEXO 3, Tabla 1. Características físico-químicas de los suelos – Caso de estudio, Tabla 6. Intervalos de confianza, variable potasio soluble).

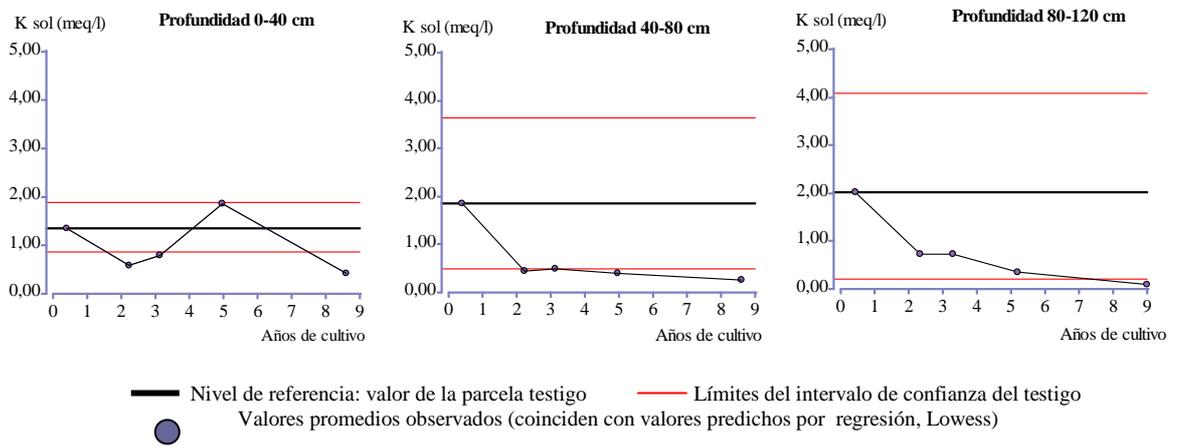


Fig. 2.11. Evolución del contenido promedio de potasio soluble

Tabla 2.13. Contenido promedio de potasio soluble (miliequivalentes por litro)

Edad de Plantación (años)	Profundidad (cm)		
	0-40	40-80	80-120
0	1,34	1,86	2,03
2	0,58	0,45	0,71
3	0,77	0,50	0,73
5	1,86	0,39	0,35
9	0,42	0,25	0,10
LI (95%)	0,87	0,49	0,21
LS (95%)	1,88	3,63	4,09
GNV	-0,92	-1,61	-1,93

Referencias: valores en negrita implican diferencias estadísticas respecto del testigo. LI y LS: Límite inferior y superior del intervalo de confianza generado para el testigo. GNV: Grado Neto de Variación de la variable, en negrita implica impacto

- Sodio soluble (Na sol.): Los resultados muestran un proceso de enriquecimiento gradual con sodio soluble, que avanza a medida que transcurre el tiempo de cultivo y disminuye desde la primera profundidad a la tercera. En la primera, toda la serie temporal presenta valores superiores y estadísticamente significativos respecto del testigo. En la segunda profundidad los valores superan al testigo a partir del 5° año de cultivo, resultando significativa la diferencia encontrada en el 9° año. En la tercera profundidad los valores se mantienen por debajo de los observados para el testigo, resultando todos ellos con diferencias significativas respecto del mismo, pero por su menor contenido. (Fig. 2.12, Tabla 2.14). El patrón encontrado es similar al encontrado por Osorio y Céspedes (2000), para riego por goteo con un solo lateral en el cultivo de la vid.

Por lo antes expuesto, el GNV disminuye con la profundidad, siendo el de la primera, el de mayor relevancia. Para las tres profundidades se observa la ocurrencia de impactos en las dos primeras negativos (acumulación de sodio) y positivo en la tercera profundidad (menor contenido de sodio). (ANEXO 3, Tabla 1. Características físico-químicas de los suelos- Caso de estudio, Tabla 7. Intervalos de confianza, variable sodio soluble.)

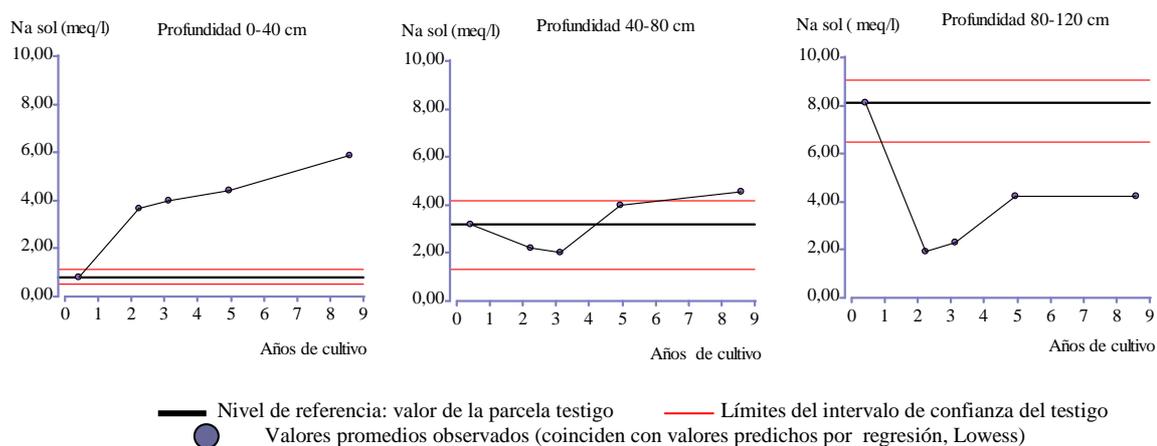


Fig. 2.12. Evolución del contenido promedio de sodio soluble

Tabla 2.14. Contenido promedio de sodio soluble (miliequivalentes por litro)

Edad de Plantación (años)	Profundidad (cm)		
	0-40	40-80	80-120
0	0,80	3,20	8,10
2	3,66	2,23	1,93
3	4,00	2,00	2,30
5	4,40	3,96	4,23
9	5,86	4,56	4,23
LI (95%)	0,5	1,3	6,5
LS (95%)	1,14	4,19	9,05
GNV	5,06	1,36	-3,87

Referencias: valores en negrita implican diferencias estadísticas respecto del testigo. LI y LS: límite inferior y superior del intervalo de confianza generado para el testigo. GNV: Grado Neto de Variación de la variable, en negrita implica impacto

- Calcio más Magnesio soluble (Ca+Mag sol.): Para todas las profundidades muestreadas a lo largo de la serie de tiempo considerada, los contenidos de calcio más magnesio soluble son menores a los encontrados en el suelo sin cultivar. Se observa un comportamiento similar al encontrado para la conductividad eléctrica, donde producto del lavado que produce el riego, los valores descienden al incorporar las parcelas al cultivo para luego

oscilar en torno al límite inferior del intervalo de confianza del testigo. (Fig. 2.13)

Se observa un incremento de calcio más magnesio soluble con la profundidad en el testigo, proceso que se invierte en las parcelas bajo cultivo. Todas las profundidades presentan diferencias significativas para prácticamente toda la serie analizada, respecto del testigo. Los valores de GNV aumentan con la profundidad, indicando mayor intensidad de pérdida de los cationes para la de 80-120 cm. Se observa la ocurrencia de impactos para las tres profundidades analizadas. (Tabla 2.15; ANEXO 3, Tabla 2 Características físico-químicas de los suelos muestreados-Caso de estudio, Tabla 8. Intervalos de confianza, variable calcio más magnesio soluble)

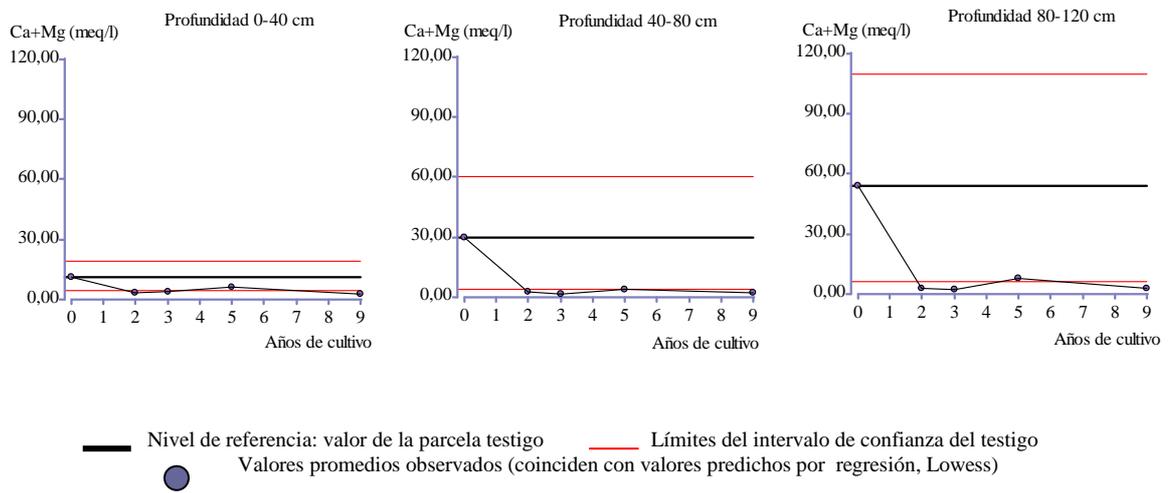


Fig. 2.13. Evolución del contenido promedio de calcio más magnesio soluble

Tabla 2.15. Contenido promedio de calcio más magnesio soluble (miliequivalentes por litro)

Edad de Plantación (años)	Profundidad (cm)		
	0-40	40-80	80-120
0	11,13	30,13	54,20
2	3,20	2,70	2,70
3	3,73	1,76	2,30
5	6,23	3,73	8,00
9	2,86	2,40	2,86
LI (95%)	4,3	3,7	6,4
LS (95%)	19,93	59,98	110,02
GNV	-8,27	-27,73	-51,34

Referencias: valores en negrita implican diferencias estadísticas respecto del testigo. LI y LS: Límite inferior y superior del intervalo de confianza generado para el testigo. GNV: Grado Neto de Variación de la variable, en negrita implica impacto

- **Materia Orgánica (MO):** Se observa un descenso paulatino a medida que transcurren los años de producción y a medida que aumenta la profundidad. Solo resultan significativas las diferencias encontradas para toda la serie de tiempo en la profundidad de 40-80 cm y por ende es la única que reviste impacto (Fig. 2.14, Tabla 2.16). No se producen cambios en la clasificación del suelo, que continúa en contenido ‘pobre’.

Resalta la parcela de 2 años por sus mayores contenidos de materia orgánica respecto del resto de las parcelas cultivadas para la primera profundidad, lo que estaría directamente relacionado con la fertilización de base en el momento de la plantación (se recuerda que no hay en este estudio información de parcelas recién implantadas); de allí que dicho contenido resulta diferente estadísticamente al testigo. (ANEXO 3, Tabla 2. Condiciones de fertilidad de los suelos- Caso de estudio, Tabla 9. Intervalos de confianza, variable materia orgánica)

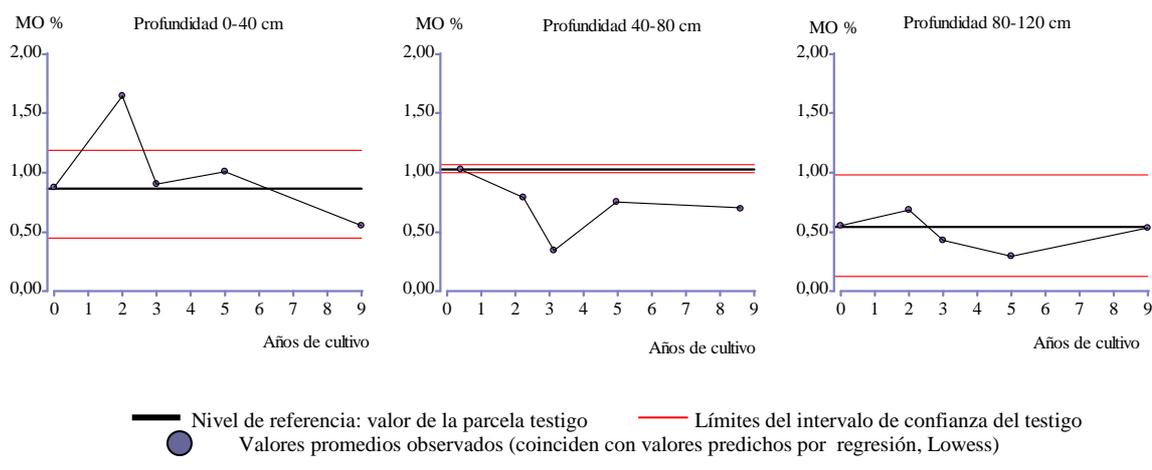


Fig. 2.14. Evolución del contenido promedio de materia orgánica

Tabla 2.16. Contenido promedio de materia orgánica (porcentaje)

Edad de Plantación (años)	Profundidad (cm)		
	0-40	40-80	80-120
0	0,87	1,03	0,54
2	1,99	0,79	0,69
3	0,90	0,34	0,42
5	1,01	0,74	0,29
9	0,54	0,70	0,53
LI (95%)	0,45	1	0,12
LS (95%)	1,19	1,07	0,98
GNV	-0,33	-0,33	-0,01

Referencias: valores en negrita implican diferencias estadísticas respecto del testigo. LI y LS: límite inferior y superior del intervalo de confianza generado para el testigo. GNV: Grado Neto de Variación de la variable, en negrita implica impacto

- Nitrógeno (N): Los resultados muestran una tendencia levemente decreciente del contenido de nitrógeno a medida que transcurre el tiempo de cultivo, y a medida que se incrementa la profundidad; aún a pesar de la fertilización nitrogenada aplicada. El efecto de la misma sumado al aporte de materia orgánica al momento de la plantación, explicarían los mayores niveles de nitrógeno encontrados en la parcela de 2 años de cultivo y en la primera profundidad. Los contenidos menores solo resultan significativos a partir del 5° año de cultivo para la primera profundidad analizada. (Fig. 2.15, Tabla 2.17). No se produjeron cambios en la clasificación del suelo, que continúa con contenido ‘pobre’

(ANEXO 3, Tabla 2. Condiciones de fertilidad de los suelos- Caso de estudio, Tabla 10. Intervalos de confianza, variable nitrógeno)

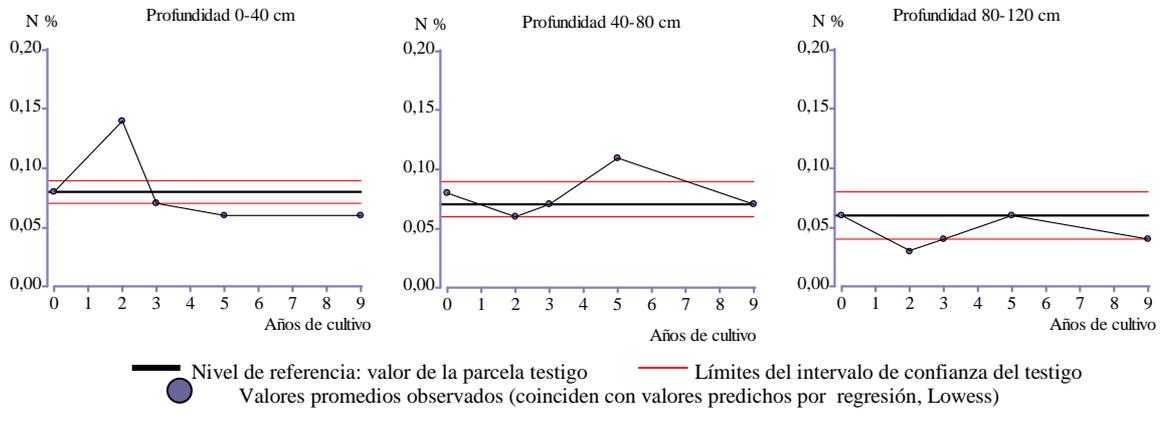


Fig. 2.15: Evolución del contenido promedio de nitrógeno

Tabla 2.17. Contenido promedio de nitrógeno (porcentaje)

Edad de Plantación (años)	Profundidad (cm)		
	0-40	40-80	80-120
0	0,08	0,07	0,06
2	0,14	0,06	0,02
3	0,07	0,06	0,04
5	0,06	0,11	0,06
9	0,05	0,07	0,04
LI (95%)	0,07	0,06	0,04
LS (95%)	0,09	0,09	0,08
GNV	-0,03	0,00	-0,02

Referencias: valores en negrita implican diferencias estadísticas respecto del testigo. LI y LS: límite inferior y superior del intervalo de confianza generado para el testigo. GNV: Grado Neto de Variación de la variable, en negrita implica impacto

- Fósforo (P): El contenido de fósforo a lo largo del período de tiempo estudiado, presenta una leve tendencia negativa en la serie a medida que transcurre el tiempo de cultivo, para las tres profundidades analizadas. Se observan contenidos mayores de fósforo respecto del testigo que resultan significativos en la parcela de 2 años para la primera profundidad, los que se encuentran asociados a los aportes de fertilizantes al momento de la plantación. En la segunda profundidad la parcela de 9 años presenta menores contenidos de

fósforo que resultan significativos respecto del testigo. (Fig.2.16). No se produjeron cambios en la clasificación del suelo, que continúa siendo de contenido ‘normal’ a ‘bajo’.

El GNV de la segunda profundidad es el menor de todos y resulta suficiente para que se ubique fuera del intervalo de confianza generado, motivo por el cual se verifica la ocurrencia de impacto para dicha profundidad. (Tabla 2.18; ANEXO 3, Tabla 2. Condiciones de fertilidad de los suelos- Caso de estudio, Tabla 11. Intervalos de confianza, variable fósforo)

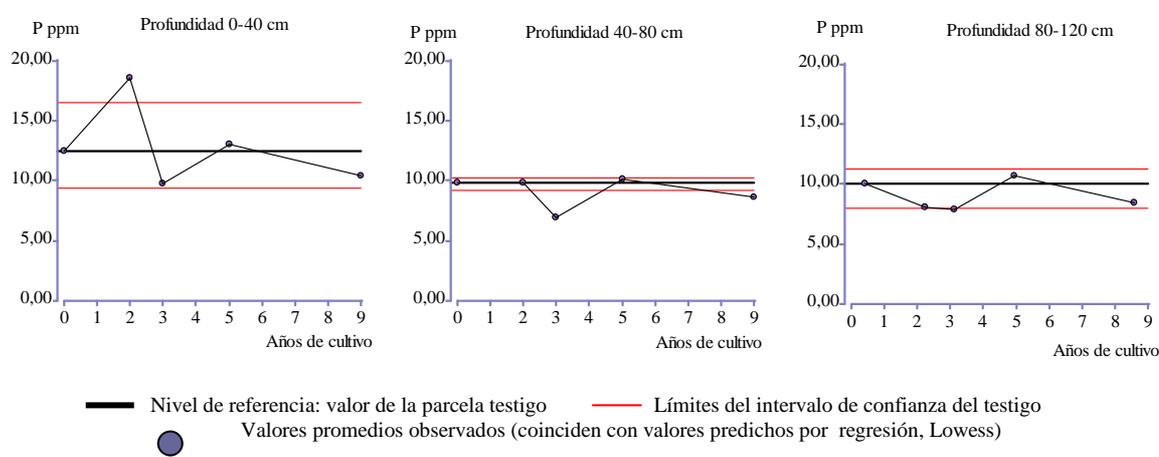


Fig. 2.16. Evolución del contenido promedio de fósforo

Tabla 2.18. Contenido promedio de fósforo (partes por millón)

Edad de Plantación (años)	Profundidad (cm)		
	0-40	40-80	80-120
0	12,53	9,83	10,03
2	18,60	9,90	8,06
3	9,76	6,93	7,93
5	13,03	10,10	10,70
9	10,40	8,63	8,43
LI (95%)	9,40	9,20	8,00
LS (95%)	16,24	16,22	11,26
GNV	-2,13	-1,20	-1,60

Referencias: valores en negrita implican diferencias estadísticas respecto del testigo. LI y LS: límite inferior y superior del intervalo de confianza generado para el testigo. GNV: Grado Neto de Variación de la variable, en negrita implica impacto

- Potasio intercambiable (K int.): La tendencia observada es levemente decreciente para todas las profundidades. Se producen incrementos en los puntos intermedios de la serie de tiempo estudiada que resultan significativos en las tres profundidades. Los incrementos observados, durante los primeros años de cultivo probablemente se encuentran asociados a los aportes producidos por la fertilización de base, que se efectúan en el momento de la plantación, mientras que los mayores tenores para el 5° año en la profundidad 0-40 cm, se atribuyen al aporte de fertilizantes aplicados como consecuencia del paquete tecnológico de producción utilizado. No obstante ello y al término de la serie, año 9° de cultivo, los contenidos se encuentran dentro o por debajo del límite inferior del intervalo de confianza en las tres profundidades. Esto estaría señalando que las cantidades aportadas por los fertilizantes no parecen resultar suficientes para mantener los niveles de este catión a partir de los 40 cm, y sobre todo en la profundidad de 40-80 cm, donde los contenidos menores resultan en diferencias significativas con el testigo. (Fig. 2.17, Tabla 2.19; ANEXO 3, Tabla 2. Condiciones de fertilidad de los suelos- Caso de estudio, Tabla 12. Intervalos de confianza, variable potasio intercambiable)

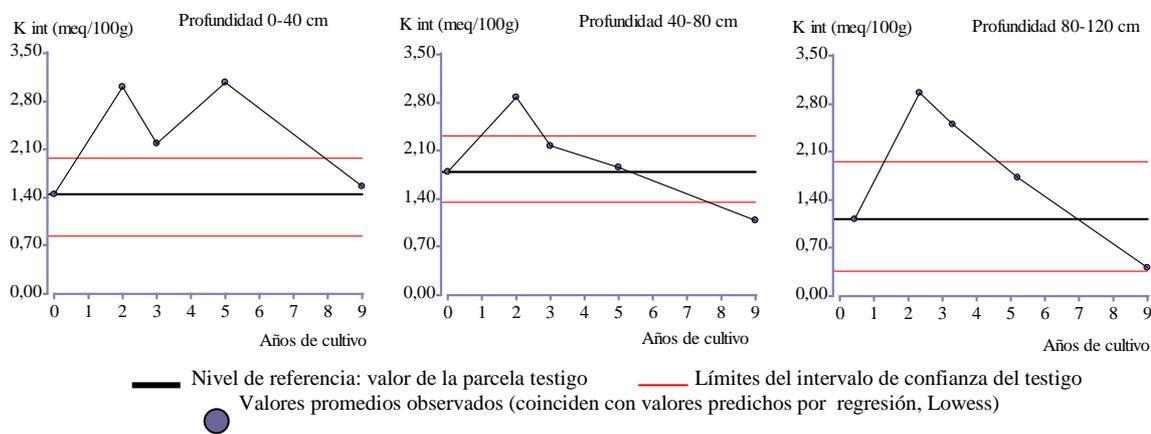


Fig. 2.17. Evolución del contenido promedio de potasio intercambiable

Tabla 2.19. Contenido promedio de potasio intercambiable (miliequivalentes por 100 gramos)

Edad de Plantación (años)	Profundidad (cm)		
	0-40	40-80	80-120
0	1,44	1,79	1,11
2	3,00	2,87	2,95
3	2,18	2,17	2,49
5	3,06	1,85	1,73
9	1,56	1,08	0,41
LI (95%)	0,84	1,34	0,36
LS (95%)	1,98	2,32	1,96
GNV	0,12	-0,71	-0,70

Referencias: valores en negrita implican diferencias estadísticas respecto del testigo. LI y LS: límite inferior y superior del intervalo de confianza generado para el testigo. GNV: Grado Neto de Variación de la variable, en negrita implica impacto

- Sodio intercambiable (Sodio intercambiable): A diferencia del potasio intercambiable, se observa un incremento gradual y claro a medida que transcurre el tiempo de incorporación de las parcelas al cultivo, lo que puede atribuirse a las características del agua de riego. El efecto del incremento en el contenido de sodio en el complejo intercambiable, se manifiesta fuertemente en la primera y segunda profundidad, donde los valores de todas las parcelas cultivadas son mayores al testigo y resultan con diferencias significativas respecto de este. En la tercera profundidad, todos los valores se encuentran por debajo de los valores del testigo; sin embargo, se observa una tendencia creciente en el tiempo. (Fig. 2.18, Tabla 2.20)

El GNV muestra que la ganancia de sodio es mayor en la primera profundidad analizada y va disminuyendo a medida que esta aumenta, producto del riego que acumula mayor concentración en superficie. Lo contrario ocurre con el testigo que se explica por el efecto lavado provocado por las precipitaciones. La ocurrencia de impactos se verifica en las dos primeras profundidades y para todos los puntos de la serie de tiempo estudiado. (ANEXO 3, Tabla 2. Condiciones de fertilidad de los suelos- Caso de estudio, Tabla 13. Intervalos de confianza, variable sodio intercambiable)

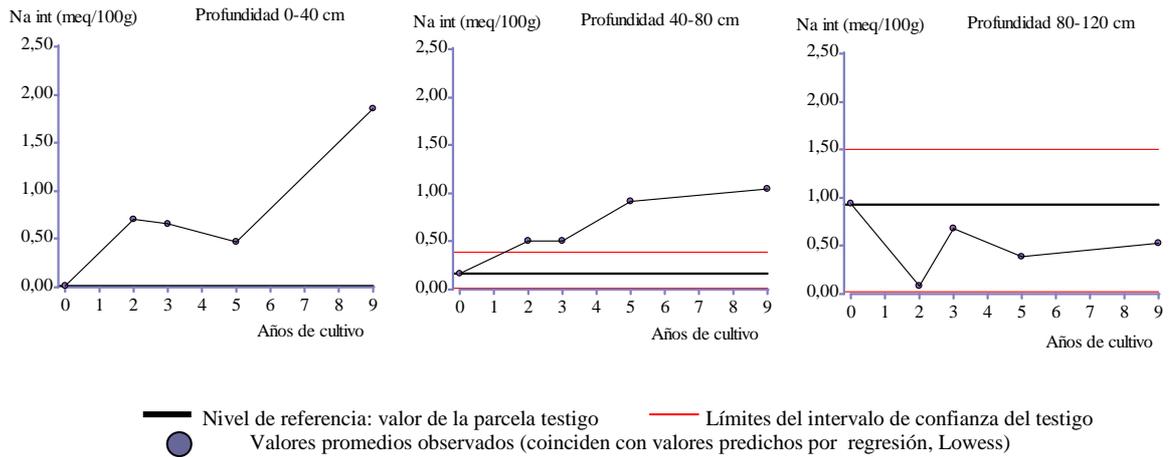


Fig. 2.18. Evolución del contenido promedio de sodio intercambiable

Tabla 2.20. Contenido promedio de sodio intercambiable (miliequivalentes por 100 gramos)

Edad de Plantación (años)	Profundidad (cm)		
	0-40	40-80	80-120
0	0,01	0,17	0,93
2	0,69	0,50	0,07
3	0,66	0,50	0,67
5	0,47	0,90	0,39
9	1,85	1,05	0,52
LI (95%)	0,01	0,01	0,02
LS (95%)	0,01	0,39	1,5
GNV	1,84	0,88	-0,41

Referencias: valores en negrita implican diferencias estadísticas respecto del testigo. LI y LS: límite inferior y superior del intervalo de confianza generado para el testigo. GNV: Grado Neto de Variación de la variable, en negrita implica impacto

- Calcio intercambiable (Ca int.): La evolución del calcio intercambiable presenta un patrón similar al del potasio intercambiable. Se incrementa cuando se incorpora el suelo al cultivo, para luego involucionar hasta un valor similar o levemente inferior al del testigo al cabo de los 9 años de cultivo; con lo cual la tendencia es levemente negativa (Fig. 2.19). El contenido de calcio intercambiable aumenta a medida que crece la profundidad en el testigo, comportamiento similar se observa en las parcelas bajo cultivo.

El GNV indica que la profundidad de 40-80 cm, es la que presenta un mayor grado de pérdida de este catión al cabo de 9 años, sin embargo no se produjeron impactos en ninguna de las profundidades analizadas. (Tabla 2.21; ANEXO 3, Tabla 2. Condiciones de fertilidad de los suelos- Caso de estudio, Tabla 14. Intervalos de confianza, variable calcio intercambiable)

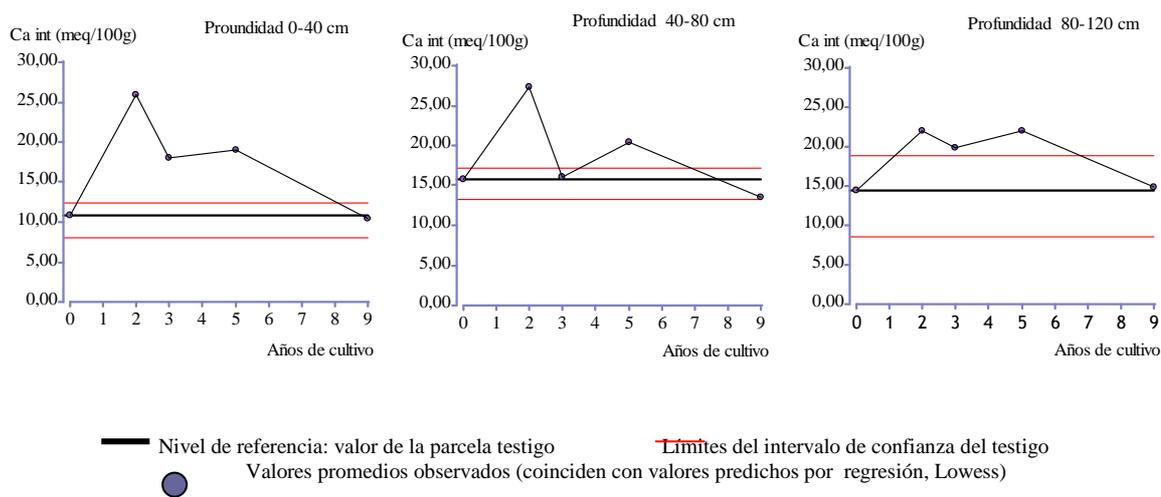


Fig. 2.19. Evolución del contenido promedio de calcio intercambiable

Tabla 2.21. Contenido promedio de calcio intercambiable (miliequivalentes por 100 gramos)

Edad de Plantación (años)	Profundidad (cm)		
	0-40	40-80	80-120
0	10,87	15,73	14,37
2	25,93	27,27	21,97
3	18,07	16,00	19,80
5	19,07	20,40	21,93
9	10,40	13,53	14,87
LI (95%)	8,00	13,30	8,60
LS (95%)	12,39	17,15	18,79
GNV	-0,47	-2,20	0,50

Referencias: valores en negrita implican diferencias estadísticas respecto del testigo. LI y LS: límite inferior y superior del intervalo de confianza generado para el testigo. GNV: Grado Neto de Variación de la variable, en negrita implica impacto

- **Magnesio intercambiable (Mg int.):** La tendencia es descendente para los niveles de este catión intercambiable entre el testigo y las parcelas en cultivo, a medida que transcurre el tiempo y para las tres profundidades en estudio. En general para todas ellas y todos los años de la serie, los valores observados son inferiores en las parcelas cultivadas respecto del testigo; manifestándose una tendencia clara de cómo se produce el efecto, en la primera profundidad (Fig. 2.20). La clasificación original del suelo se modifica, descendiendo de contenido ‘muy alto’ a ‘alto’.

El grado máximo de pérdida del magnesio en el complejo intercambiable para el período estudiado e indicado por el GNV, se observa en la primera y tercera profundidad resultando impactada solo esta última. Esto tiene su explicación en la menor amplitud del intervalo de confianza para dicha profundidad. (Tabla 2.22; ANEXO 3, Tabla 2. Condiciones de fertilidad de los suelos-Caso de estudio, Tabla 15. Intervalos de confianza, variable magnesio intercambiable)

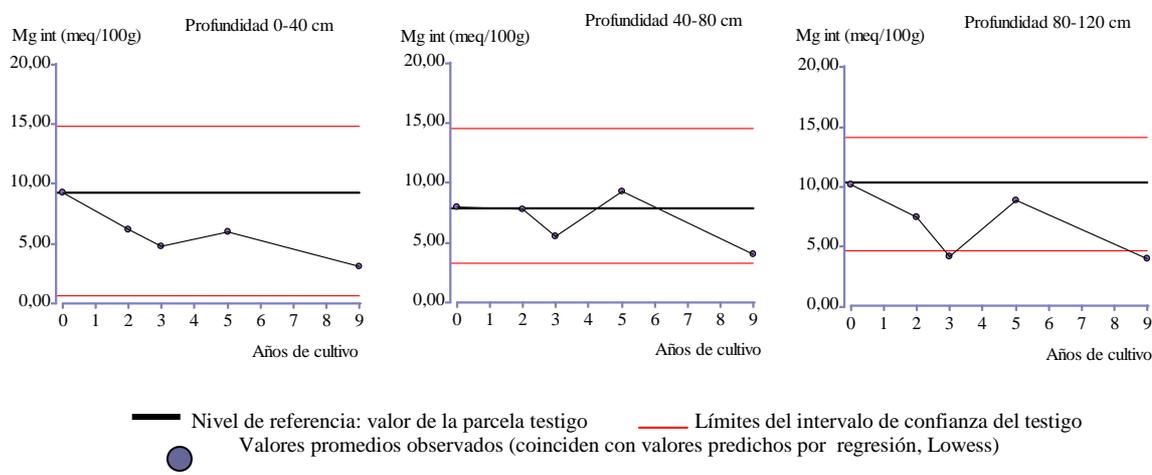


Fig. 2.20. Evolución del contenido promedio de magnesio intercambiable

Tabla 2.22. Contenido promedio de magnesio intercambiable (miliequivalentes por 100 gramos)

Edad de Plantación (años)	Profundidad (cm)		
	0-40	40-80	80-120
0	9,30	7,97	10,20
2	6,20	7,77	7,50
3	4,80	5,53	4,20
5	5,97	9,30	8,87
9	3,10	4,00	4,00
LI (95%)	0,70	3,30	4,70
LS (95%)	14,08	14,57	14,07
GNV	-6,20	-3,97	-6,20

Referencias: valores en negrita implican diferencias estadísticas respecto del testigo. LI y LS: Límite inferior y superior del intervalo de confianza generado para el testigo. GNV: Grado Neto de Variación de la variable, en negrita implica impacto

- Relación de Adsorción de Sodio²⁹(RAS): La tendencia para este indicador es creciente desde que se incorporan las parcelas al cultivo y a medida que transcurre el tiempo (Fig. 2.21). Este indicador se incrementa a medida que aumenta la profundidad para el testigo, proceso que se invierte en las parcelas cultivadas. El RAS supera en toda la serie al testigo en la primera y segunda profundidad, y sus valores resultan en diferencias significativas respecto del mismo, a partir del inicio de la actividad. La tercera profundidad se encuentra en un proceso de transición, donde a partir del 5º años de cultivo se comienzan a superar los valores de referencia; no obstante ello no se verifican diferencias con el testigo. (Tabla 2.23)

El comportamiento del RAS, se asocia al incremento de sodio soluble y a la disminución del calcio más magnesio soluble encontrado a raíz de las características del agua de riego, y previsible de encontrar en función de los incrementos de pH observados.

El GNV refleja la tendencia positiva del indicador en el tiempo, y la mayor intensidad del efecto en la primera profundidad. Esta y la segunda verifican impactos. (ANEXO 3,

²⁹ RAS= $(Na / \sqrt{(Ca+Mg / 2)})$. Indica la relación de adsorción de Na respecto al Ca+ Mg en la solución del suelo.

Tabla 2. Condiciones de fertilidad de los suelos- Caso de estudio, Tabla 16. Intervalos de Confianza, indicador RAS)

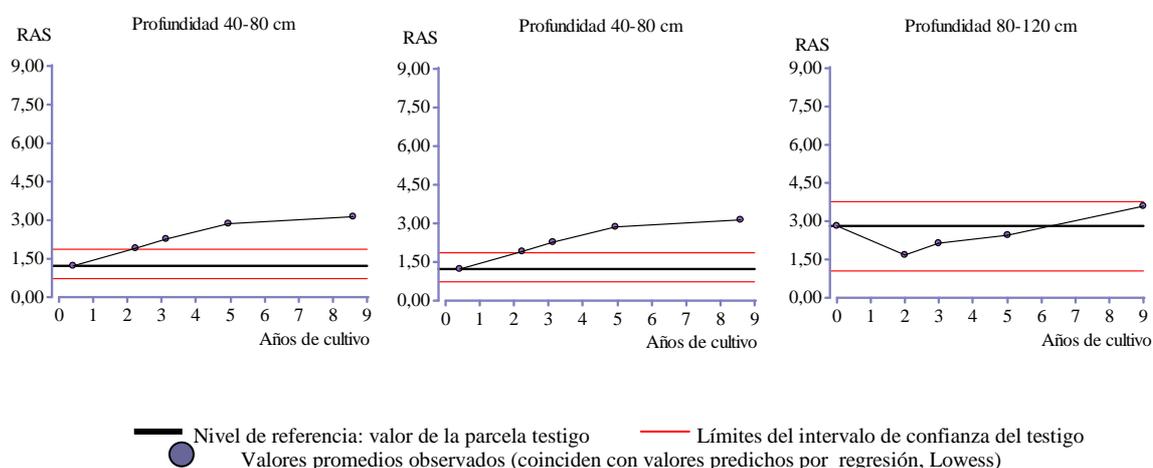


Fig. 2.21: Evolución de la Relación de Adsorción de Sodio promedio

Tabla 2.23: Relación de Adsorción de Sodio. Valores promedios.

Edad de Plantación (años)	Profundidad (cm)		
	0-40	40-80	80-120
0	0,37	1,23	2,83
2	2,90	1,90	1,67
3	3,07	2,27	2,13
5	3,07	2,87	2,47
9	5,00	3,13	3,57
LI (95%)	0,30	0,71	1,05
LS 95%)	0,46	1,87	3,79
GNV	4,63	1,90	0,73

Referencias: valores en negrita implican diferencias estadísticas respecto del testigo. LI y LS: límite inferior y superior del intervalo de confianza generado para el testigo. GNV: Grado Neto de Variación de la variable, en negrita implica impacto

- Porcentaje de Sodio Intercambiable³⁰ (PSI): Se comporta de manera similar al RAS. Se incrementa en forma lenta y gradual hasta el 5º año de cultivo, a partir del cual el

³⁰PSI= (Sodio intercambiable/ (Ca int. + Mg int. + K int. + Sodio intercambiable)*100. Indica la relación porcentual del Na respecto a la sumatoria de bases en el complejo de intercambio.

proceso se acelera. Todos los valores de la serie bajo cultivo superan a los valores del testigo para la primera y segunda profundidad, resultando significativas las diferencias con respecto al mismo. Si bien los valores observados en la tercera profundidad no alcanzan los niveles de referencia del testigo, se puede apreciar la tendencia creciente a lo largo de la serie (Fig. 2.22).

Al igual que para el indicador RAS, la cantidad y calidad del agua de riego utilizada para irrigar las parcelas surge como la responsable de la modificación de las proporciones de los cationes del complejo de intercambio. En particular el incremento de sodio intercambiable en relación al descenso del potasio y magnesio intercambiables observados, ya que el calcio intercambiable al cabo de 9 años de cultivo mantiene prácticamente los mismos niveles encontrados en del testigo.

Los valores de GNV, indican que el proceso de sodificación decrece con la profundidad, verificándose la ocurrencia de impactos para las dos primeras. (Tabla 2.24; ANEXO 3, Tabla 2.Condiciones de fertilidad de los suelos-Caso de estudio, Tabla 17. Intervalos de confianza, indicador PSI)

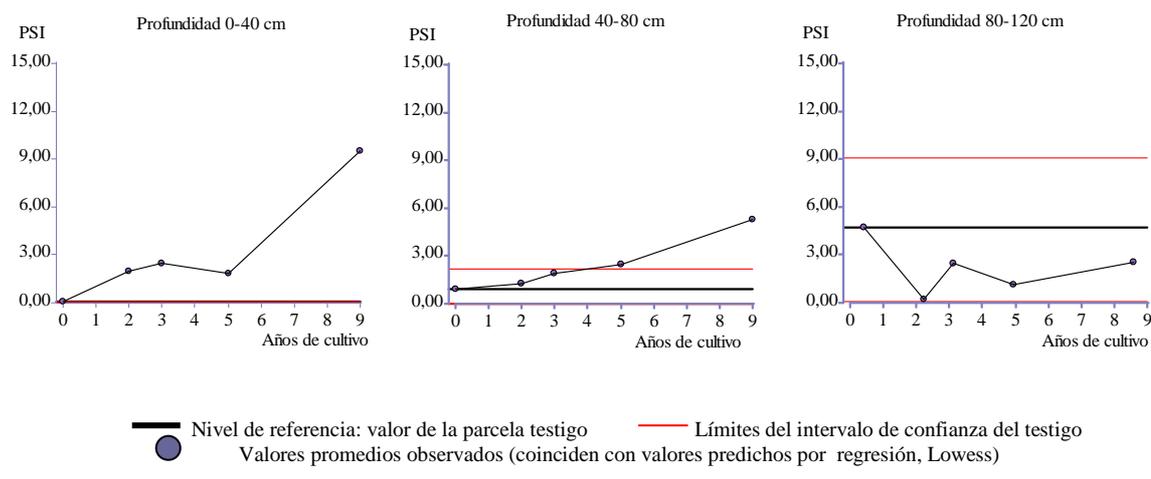


Fig. 2.22. Evolución del Porcentaje de Sodio Intercambiable promedio

Tabla 2.24. Porcentaje de Sodio Intercambiable. Valores promedios

Edad de Plantación (años)	Profundidad (cm)		
	0-40	40-80	80-120
0	0,04	0,92	4,72
2	1,95	1,28	0,24
3	2,48	1,92	2,49
5	1,81	2,45	1,15
9	9,54	5,30	2,56
LI (95%)	0,00	0,00	0,07
LS (95%)	0,06	2,20	9,07
GNV	9,50	4,38	-2,17

Referencias: valores en negrita implican diferencias estadísticas respecto del testigo. LI y LS: límite inferior y superior del intervalo de confianza generado para el testigo. GNV: Grado Neto de Variación de la variable, en negrita implica impacto.

Las tendencias que adquieren las variables e indicadores del suelo bajo cultivo en función del tiempo transcurrido desde la implantación muestran, en algunos casos, distorsiones en los puntos intermedios de la serie. Estas han podido ser explicadas en función de algunas de las prácticas de manejo para algunas de las variables e indicadores utilizados. Sin embargo para otras, dichas distorsiones no están relacionadas con el efecto de sodificación encontrado y pueden ser atribuidas a las diferencias de suelo entre ellas dada la escala de muestreo adoptada. Al respecto se reitera que se efectuó un muestreo simultáneo en parcelas de diferente edad, por lo que la escala de análisis es amplia y explica la variabilidad observada. A esto se agrega el tipo de suelo, Entisoles que al ser jóvenes y de escaso desarrollo presentan elevada variabilidad espacial en sus características y cualidades (Da Silva *et al.*, 1983)

No obstante ello y teniendo en cuenta la coherencia de las series para las variables pH, cationes solubles, sodio y magnesio intercambiables y los indicadores RAS y PSI, se destaca que la magnitud del efecto de sodificación encontrado supera de manera amplia a las diferencias de suelo entre parcelas producida por la escala de análisis; mostrando la robustez del método de muestreo aplicado.

EL CASO DE ESTUDIO EN EL CONTEXTO REGIONAL

Tecnología utilizada por las empresas del sector para la producción de olivos

La información recabada a través de las encuestas, sobre la tecnología de manejo de producción utilizada por el caso de estudio, los sitios de verificación y demás empresas integrantes de la muestra se presentan en la Tabla 2.25. La misma abarca aproximadamente el 25% de la superficie implantada con olivo en el Valle Central de Catamarca. (ANEXO 3, Tablas 19, 20, 21 y 22)

Tabla 2.25. Manejo técnico utilizado por el caso de estudio y las empresas de la muestra

Superficie (ha)	Edad de las Parcelas (años)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Total E1: 679	25	137	40		42	100	87		248
Total E2: 500						240			260
Total E3: 230			45		65	60			60
Total Muestra: 5023	425	387	135	62	156	698	747	438	1.476
Fertilización (kg/ha año)									
K E1				69	69	69	69	85	85
K E2						30			50
K E3			54		89	107			107
Promedio muestra	17	43	72	107	132	118	81	104	93
Riego (mm/ha año)									
Lámina E1	341	341	511	681	852	1.003	1.003	1.003	1.003
Lámina E2						950			1.200
Lámina E3			430		800		1.018		1.018
Promedio muestra	420	378	588	601	694	1.069	971	974	1.047

Referencias: E1: caso de estudio; E2: sitio de verificación 1; E3: sitio de verificación 2; Muestra: valores promedio del total de encuestas; K: potasio; N: nitrógeno.

La verificación de similitud de tecnología utilizada entre las empresas integrantes de la muestra, se efectuó a partir de un análisis de conglomerados. En dicho análisis el criterio de

similitud de tecnología, viene dado por el agrupamiento de los casos de la muestra en un mismo conglomerado formado a menos del 50% de la distancia euclídea (eje x de la Fig. 2.23).

En la Figura 2.23 se observa que se forman tres conglomerados³¹. El primero agrupa al 77% de los casos, e incluye al caso de estudio y los sitios de verificación; por lo que se asume que el 77% de las empresas del sector utilizan una combinación de cantidades de insumos similar. Los dos conglomerados restantes agrupan el 23 % de los casos. Por otro lado la posición en la que se ubican los grupos formados dentro de la figura a lo largo del eje 'y', indica que las empresas del primer conglomerado utilizan una combinación de insumos menor por unidad de superficie, en relación a los otros dos.

Lo encontrado sugiere, para el criterio de distancia adoptado, que las tendencias observadas para el caso de estudio, no se deben a diferencias sustantivas en la tecnología utilizada para producir.

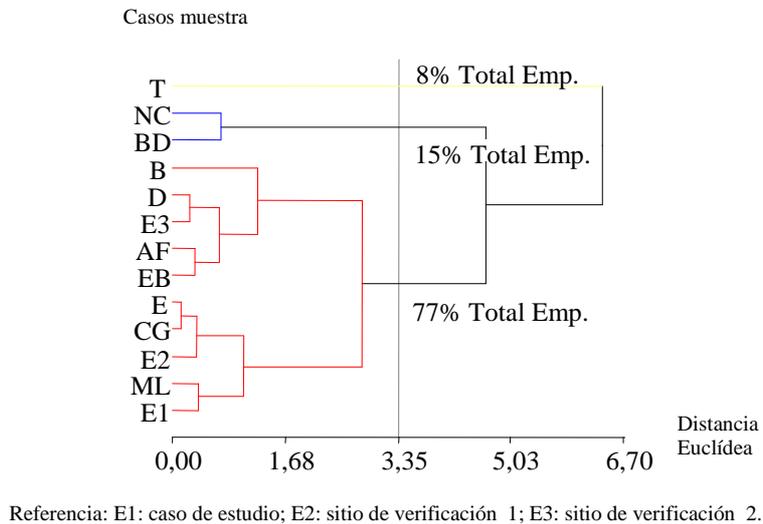


Fig. 2.23: Agrupamiento de empresas por prácticas de riego y fertilización

³¹ El agrupamiento de empresas se efectúa en función de las cantidades de insumos utilizados para producir, debido a que el tipo de los mismos es común para todas ellas. No implican tipologías diferentes de productores, ya que las explotaciones con las que se trabaja pertenecen a un mismo tipo, 'explotaciones empresariales', según Caeiro (2009).

A los efectos de aportar información adicional que contribuya a explicar la formación de los conglomerados y la posición del caso de estudio en el primero de ellos, se presentan los valores promedios de las variables de la tecnología de manejo consideradas. (Tablas 2.26, 2.27 y 2.28)

Las cantidades más bajas de insumos utilizadas por el caso de estudio respecto de la media de su propio conglomerado y de los otros dos conglomerados, estaría asociada al menor aporte de nitrógeno efectuado hasta el 6° año de cultivo, el nulo aporte de potasio efectuado hasta el 4° año de cultivo y los menores volúmenes de riego observados hasta el 4° año de cultivo.

Las dotaciones mayores de agua de riego y de aporte de fertilizantes nitrogenados respecto del valor medio del conglomerado 1 y menores respecto del conglomerado 3, es lo que ha originado la inclusión de las empresas en el conglomerado 2.

La empresa que quedó conformando el conglomerado 3, es la que utiliza mayores cantidades de agua de riego y fertilizantes.

Tabla 2.26. Aportes promedios de nitrógeno expresados en kilos por hectárea, utilizados por el caso de estudio y las empresas que forman los conglomerados

Empresa encuestada	Edad de las parcelas (años)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E1	18	37	55	73	91	110	128	128	128	128
Media Conglomerado 1			72	107	132	112	81	87	90	103
Media Conglomerado 2	16	50								
Media Conglomerado 3						140		187	210	233

Referencias: E1: caso de estudio; conglomerado 1: 1° conglomerado desde abajo formado antes del 50% de distancia, Fig. 2.23; conglomerado 2: 2° conglomerado desde abajo formado antes del 50% de distancia, Fig. 2.23; conglomerado 3: último conglomerado desde abajo formado antes del 50% de la distancia, Fig. 2.23.

Tabla 2.27. Aportes promedios de potasio expresados en kilos por hectárea, utilizados por el caso de estudio y las empresas que forman los conglomerados

Empresa encuestada	Edad de las parcelas (años)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E1	0	0	0	0	69	69	69	69	85	85
Media Conglomerado 1	0	0	54	75	86	58	45	47	56	55
Media Conglomerado 2										
Media Conglomerado 3						100				100

Referencias: E1: caso de estudio; conglomerado 1: 1° conglomerado desde abajo formado antes del 50% de distancia, Fig. 2.23; conglomerado 2: 2° conglomerado desde abajo formado antes del 50% de distancia, Fig. 2.23; conglomerado 3: último conglomerado desde abajo formado antes del 50% de la distancia, Fig. 2.23.

Tabla 2.28. Lámina promedio de riego expresada en milímetros utilizada por el caso de estudio y las empresas que forman los conglomerados

Empresa encuestada	Edad de las parcelas (años)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E1	341	341	511	681	852	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003
Media Conglomerado 1	473		588	601	694	874	965	974	1.054	1.083
Media Conglomerado 2	459	459								
Media Conglomerado 3						1.657		1.657	1.657	1.657

Referencias: E1: caso de estudio; conglomerado 1: 1° conglomerado desde abajo formado antes del 50% de distancia, Fig. 2.23; conglomerado 2: 2° conglomerado desde abajo formado antes del 50% de distancia, Fig. 2.23; conglomerado 3: último conglomerado desde abajo formado antes del 50% de la distancia, Fig. 2.23.

Respuesta de los suelos en los sitios de verificación

A fin de poder establecer tendencias a nivel regional de los resultados obtenidos en este caso de estudio, se procedió a extraer y analizar muestras en dos sitios de verificación ubicados fuera de la zona del caso de estudio. Para la selección de los sitios de verificación se tuvo en cuenta que los mismos pertenecieran al mismo conglomerado de similitud de tecnología del caso de estudio, de manera que dichos lugares de muestreo se conviertan en sitios de verificación de las tendencias encontradas en dicho caso.

Los resultados de los análisis efectuados sobre las muestras de suelo extraídas de los sitios de verificación se presentan a continuación. Se muestran solo los resultados al inicio

y al final de la serie temporal para la variable pH y Ce (Fig. 2.24), e indicadores RAS y PSI que fueron los que resultaron pertinentes considerar en función del problema de sodicidad observado en el caso de estudio (Fig. 2.25). Los valores de los mismos encontrados al inicio y al final de la serie temporal establecen las condiciones de estado del recurso, mientras que el Grado Neto de Variación (GNV) indica el impacto; según lo planteado en la Fig. 1.3 del Capítulo 1. (ANEXO 3, Tabla 18. Análisis de suelo de los sitios de verificación, 2007)

Caso de estudio

Promedio Caso y sitios de verificación

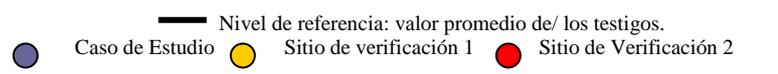


Fig. 2.24. Tendencia promedio para el potencial Hidrógeno y la conductividad eléctrica

En la Fig. 2.24 se presentan en forma comparativa los resultados de los análisis realizados sobre pH y conductividad eléctrica (Ce) tanto en el caso de estudio como en los sitios de verificación. Se puede observar que el comportamiento de las variables en los sitios de verificación es similar al del caso de estudio. La línea de tendencia del pH del suelo a medida que se incrementa el tiempo de cultivo presenta menor pendiente en el caso de estudio respecto a la de los sitios de verificación, pero ambos observan tendencia creciente en el tiempo. La línea de tendencia de la variable conductividad eléctrica (Ce) no observa diferencias de pendiente entre ambas situaciones, lo que confirmaría el comportamiento observado tanto en el caso de estudio como en los sitios de verificación es similar.

Caso de estudio

Promedio Caso de estudio y sitios de verificación

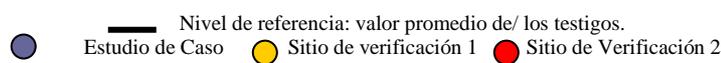

 Nivel de referencia: valor promedio de/ los testigos.
 Estudio de Caso Sitio de verificación 1 Sitio de Verificación 2

Fig. 2.25. Tendencias promedio para la Relación de Adsorción de Sodio y el Porcentaje de Sodio Intercambiable

Se observa en la Fig. 2.25, que las líneas de tendencia para la situación promedio (caso y sitios de verificación), confirman la tendencia observada en el caso de estudio para los indicadores RAS y PSI. Las pendientes de las líneas muestran que el caso de estudio es el que presenta la menor variación entre los puntos extremos de la serie estudiada (0 a 9 años de cultivo), respecto de la obtenida como tendencia promedio con los valores del caso de estudio y los sitios de verificación.

Los GNV obtenidos para el caso y la condición promedio con sitios de verificación se muestran en la Tabla 2.29. Ellos constituyen los indicadores de impacto, mientras que los valores mínimos y máximos promedio constituyen los indicadores de estado.

Tabla 2.29. Valores promedios de pH, conductividad eléctrica, Relación de Adsorción de Sodio y Porcentaje de Sodio Intercambiable. Caso de estudio y sitios de verificación

Años de cultivo	Sito de muestreo	pH	$\frac{Ce^-}{dS\ m^{-1}}$	RAS	PSI
0	E1	8	1,93	1,48	1,88
	E2	7,87	0,91	1	4,26
	E3	7,53	2,59	2,8	7,93
Valor promedio de suelos sin cultivar		7,8	1,81	1,76	4,69
9	E1	8,68	0,45	3,9	6,32
	E2	8,93	0,99	8,37	25,58
	E3	9,23	0,42	7,37	36,47
Valor promedio a los 9 años de cultivo		8,95	0,62	6,75	20
GNV del caso de estudio		0,68	-1,49	2,42	4,44
GNV Promedio (caso y sitios de verificación)		1,15	-1,19	4,99	15,31
Diferencia entre GNV caso y promedio (%)		70%	-20%	106%	245%

Referencias: E1: caso de estudio; E2: sitio de verificación 1; E3: sitio de verificación 2.

Los resultados muestran que el GNV del indicador PSI para la condición promedio, caso y sitios de verificación, es 245% mayor respecto de la observada para el caso de estudio. Esto implica que el problema alcanza a otros sitios de la región del Valle Central, aún con mayor intensidad a la encontrada en el caso de estudio; sugiriendo que el problema de sodificación es de relevancia regional.

La variación del pH, RAS y PSI entre la condición original y la alcanzada por el recurso al cabo de 9 años de cultivo, para valores promedios del caso de estudio y sitios de verificación es de 15% para pH, 283% para RAS y 326% para PSI.

La pendiente de los gráficos aportan información adicional sobre la diferente sensibilidad con que las variables e indicadores pH, RAS y PSI dan cuenta del problema; siendo el PSI el más sensible.

Características del agua utilizada para irrigación

- Aguas de riego de los sitios de verificación

Las tendencias observadas en las variables mencionadas, tanto en el caso de estudio como en los sitios de verificación, se atribuyen principalmente a la calidad del agua de riego utilizada; motivo por el cual se presenta una caracterización de las mismas a los efectos de corroborar lo afirmado.

Los valores del agua de riego del caso de estudio que fueron previamente presentados, se repiten en esta sección, a los fines de facilitar el análisis comparativo entre estas y las de los sitios de verificación. (Tablas 2.30 y 2.31)

Los resultados indican que la calidad del agua utilizada por el caso de estudio y el sitio de verificación E2 no presenta riesgos de producir salinidad, frente a riesgos moderados observados para el sitio de verificación E3 (Tablas 2.30 y 2.31). Sin embargo, no se observaron incrementos en la conductividad eléctrica para este último sitio de verificación a pesar de su calificación. Esto explicaría el similar GNV de la tendencia obtenida para esta variable entre el caso de estudio y el promedio entre este y los sitios de verificación (Tabla 2.29, Fig. 2.24).

Tabla 2.30. Características del agua de riego utilizada por el caso de estudio y los sitios de verificación

	Puntos de muestreo						
	E1			E2		E3	
	P 2	P3	P4	P2	P1	P1	P2
C. E.(dS/m)	0,38	0,39	0,44	0,56	0,55	1,29	1,44
pH	7,70	7,58	7,64	8,05	7,77	8,15	7,68
Ca (meq/l)	1,30	1,40	1,25	1,70	1,50	1,85	2,10
Mg (meq/l)	0,48	0,48	0,40	0,36	0,28	0,92	1,00
Na (meq/l)	2,00	2,17	2,70	3,48	3,78	11,65	12,43
K (meq/l)	0,15	0,18	0,18	0,15	0,09	0,23	0,26
CO3 (meq/l)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO3H(meq/l)	4,72	3,28	7,60	2,85	2,62	4,57	5,16
SO4 (meq/l)	0,72	0,67	0,88	1,66	1,72	6,42	7,86
Cl (meq/l)	0,48	0,42	0,42	0,59	0,76	2,20	2,74
RAS	2,12	2,24	2,97	3,43	4,01	9,90	9,98
RAS °	2,47	2,43	3,82	3,73	4,15	11,48	11,93
PSS	50,89	51,30	59,60	61,09	66,96	79,51	78,73
CSR	2,94	1,40	5,95	0,79	0,84	1,80	2,06
IK	34,39	34,57	28,74	30,68	26,97	12,83	13,51
Parcelas que riegan	9 años	2,3, 5 años	6 años	6 años	9 años	6 años	9 años

Referencias: E1: caso de estudio; E2: sitio de verificación 1; E3: sitio de verificación 2; P2, P3, etc: perforaciones; RAS: Relación de Adsorción de Sodio del agua de riego; RAS°: RAS corregido del agua de riego; PSS: Porcentaje de Sodio Soluble; CSR: Carbonato de Sodio Residual; IK: Índice de Kelly

Tabla 2.31. Calificación del agua utilizada por el caso de estudio y los sitios de verificación

	Grado de Restricción de uso						
	E1			E2		E3	
	P 2	P3	P4	P2	P1	P2	P1
Salinidad							
Ce (Ayers y Westcot, 1987)	N	N	N	N	N	M	M
Sodicidad							
RAS° y Ce (Ayers y Westcot, 1987)	M	M	M	M	M	M	M
PSS (Univ. Texas)	M	M	M	M	M	S	S
RAS (Univ.Texas, Ministerio de Agricultura de Israel)	N	N	N	N	N	S	M
CSR	S	M	S	N	N	M	M
IK	Ma.	Ma.	Ma.	Ma.	Ma.	Ma.	Ma.
Toxicidad (Riego presurizado)							
Na, RAS (Ayers y Westcot , 1987)	N	M	M	M	M	M	M
Bicarbonatos	M	M	M	M	M	M	M

Referencias: E1: caso de estudio; E2: sitio de verificación 1; E3: sitio de verificación 2; P2, P3, etc: perforaciones; N: ninguno; M: moderado; S: severo; Ma.: mala; negrita: indica coincidencia del criterio de calificación con los resultados encontrados en el suelo.

Los riesgos de producir ‘sodificación’ dados por la combinación de los indicadores RAS°- Ce, indican que todas las perforaciones de la región analizadas y utilizadas para riego poseen agua con grado de restricción moderado. En base a los efectos en el suelo la calificación obtenida para el agua de las perforaciones P2 y P3 del caso de estudio, es adecuada. Estas aguas utilizadas en el plazo de 9 años de cultivo produce un aumento del PSI que no alcanza el valor establecido como de referencia para alcanzar la calificación de suelo sódico ($PSI > 15$). Es decir que transcurrido 9 años de cultivo con esta tecnología de manejo, si bien ha incrementado el valor del PSI y la tendencia es en aumento, aún no ha modificado la calificación del suelo a ‘suelo sódico’. Diferente es el caso de los resultados en el suelo de los sitios de verificación E2 y E3, los que no coinciden con el riesgo moderado obtenido en base al criterio de calificación utilizado.

La calificación dada por el indicador PSS (Porcentaje de Sodio Soluble) es la que más coincidencias observa con el criterio RAS°-Ce. El PSS junto al Índice de Kelly son los únicos indicadores de los utilizados, que califican bien el agua del sitio de Verificación E3 como severa. El suelo en el sitio de verificación E3 sobrepasa en 150% al valor de referencia establecido como límite al cabo de 9 años de cultivo (Valores promedios PSI, sitio E3, Tabla 2.29, p.122). La calificación del agua de las perforaciones de P2 y P3 del caso de estudio coinciden y dan cuenta de los resultados de las variables estudiadas en el suelo y la clasificación del criterio de RAS°-Ce; sin embargo el agua de la perforaciones P4 del caso de estudio y las perforaciones P1 y P2 del sitio de verificación E2 resultan de reacción severa en el suelo y no moderada como lo indica este criterio. Para este último sitio y al cabo de 9 años de cultivo, el PSI sobrepasó el límite de referencia en un 70% (Valores promedios PSI, Sitio E2, Tabla 2.29, p.122).

El indicador RAS, califica como de ningún riesgo de sodicidad a la mayoría de las aguas analizadas con excepción del sitio de verificación E3; en contraposición a los resultados que surgen de este trabajo y que indican la ocurrencia de impactos para todas ellas.

El indicador CSR (Carbonato de Sodio Residual) resulta para todos los casos de signo positivo lo que implica un riesgo potencial de sodificación para todas ellas. Sin embargo y de acuerdo a los criterios de clasificación de riesgo indicados en Tabla 2.1, se observa que las mismas no resultan coincidentes con los resultados observados a campo en este trabajo. Este criterio indica como de ningún riesgo al agua del sitio E2 cuando los efectos observados en el suelo sugieren un riesgo severo; califican como de riesgo moderado al agua de las perforaciones del sitio de verificación E3 cuando los efectos encontrados sugieren un riesgo severo, y finalmente califican como de riesgo severo al agua de la perforación P2 del caso de estudio cuando los resultados del suelo sugieren riesgos moderados.

Por su parte, el Índice de Kelly califica bien el agua de la P4 del caso y el agua de todas las perforaciones de los sitios de verificación. Sin embargo no se encuentran coincidencias con el agua de la P2 y P3 del caso que resultan con reacción moderada en el suelo.

La falta de coincidencia de la información obtenida a partir de los distintos indicadores, y la baja representatividad de los mismos en las distintas regiones donde la producción es bajo riego, no es exclusiva de este trabajo y ha sido reseñada por varios autores (Alconada y Minghinelli, 1998; Marano, 2004; Vazquez *et al.*, 2006). Al respecto Vázquez *et al.* (2006), observan que a pesar de la unificación de criterios para calificar el agua de riego a partir de la salinidad, sodicidad y toxicidad, los autores utilizan distintas escalas y relaciones entre parámetros. Las diferencias que se obtienen seguramente están asociadas a la naturaleza particular de los sistemas productivos y a las condiciones edafo-climáticas a partir de las cuales se originaron estos criterios; y justifican que en muchos casos, aquellos desarrollados en ambientes particulares no puedan ser extrapolados a otros, sin adaptaciones.

Por último, el peligro de toxicidad con sodio para riegos presurizados, indica que solo la perforación que irriga la parcela de 9 años de cultivo no presenta riesgos, siendo el resto de riesgo moderado al igual que el contenido de bicarbonatos.

- Aguas de riego de la región del Valle Central de Catamarca

Se analizaron las características físico-químicas de aguas subterráneas de la base hidroquímica de aguas, cedida por la Secretaría del Agua y el Ambiente de la provincia de Catamarca (ANEXO 3, Tabla 23), donde se incluyeron las muestras del caso de estudio y las de los sitios de verificación.

La muestra totalizó 32 perforaciones y representa el 26% del total de las realizadas por los emprendimientos olivícolas del Valle Central; 18 de las cuales se localizan a lo largo de la Ruta Prov. N° 33 y 14 sobre la Ruta Nac. N° 38 (Fig. 2.5, p.79). Las muestras fueron calificadas utilizando solamente los criterios de Ayers y Westcot (1987) y PSS de modo de situarlas bajo un contexto conocido.

Los resultados encontrados en el apartado anterior permiten asumir para el indicador PSS, un corrimiento del límite inferior de la categoría severa del 80% al 60%, considerando que el agua que presente un PSS igual o mayor al 60% presentará riesgos severos de sodificación. (Tabla 2.32)

Tabla 2.32. Calificación del agua subterránea utilizada para riego en la región del Valle Central de Catamarca

		Grado de restricción de Uso		
		Ninguna	Moderada	Severa
Salinidad	Ce (dS/m)	56%	44%	0%
		E1- E2	E3	
Sodicidad				
Infiltración	RAS°- Ce	6%	94%	
	PSS	6%	34%	60%
			E1	E2-E3
Toxicidad Na	RAS (riego presurizado)	19%	81%	

Referencias: E1: aguas del caso de estudio; E2: aguas de sitio de verificación 1; E3: aguas del sitio de verificación 2.

Los valores de la Tabla 2.32 muestran que el agua del 56% de las perforaciones analizadas de la muestra de la región del Valle Central de Catamarca, no presentan riesgos de producir salinidad de acuerdo al criterio de calificación utilizado, siendo las restantes de riesgo moderado. Se encuentran dentro del primer grupo el agua de las perforaciones del caso de estudio y del sitio de verificación E2, y en el segundo el agua de perforaciones del sitio de verificación E3.

Respecto de los riesgos de producir sodicidad, solo el 6 % del agua se encuentra dentro de la calificación de 'ninguno' o 'bajo' riesgo para ambos indicadores utilizados; perteneciendo el 94 % restante a la categoría de 'moderado' para el criterio RAS^o-Ce.

Por su parte el criterio PSS con los ajustes introducidos, especifica la gran amplitud del 94% de Ayers y Westcot (1987), calificando a los valores del 34% de las muestras como de riesgo 'moderado' y a los valores del 60% restante como de riesgo 'severo'.

Nuevamente se observan inconsistencias en el agrupamiento, ya que las muestras que integran el 6% para la calificación de 'ningún' riesgo según PSS, no son las mismas que las incluidas para idéntica categoría en el criterio RAS^o-Ce.

Al margen de las diferencias encontradas, ambos criterios permiten inferir que las características del 94% de las aguas subterráneas utilizadas para el desarrollo agropecuario del Valle Central, conllevan riesgos de 'moderados a severos' de producir impactos por sodificación de los suelos; lo que concuerda con los resultados encontrados en los sitios de verificación. Esto sugiere que las tendencias observadas, en mayor o menor grado dependiendo de las características particulares del agua y de las condiciones particulares de los suelos, son de alcance regional.

Los resultados observados de la reacción del suelo en relación a la calidad del agua de riego son concordantes, considerando que la composición salina del agua y las

características del suelo son factores determinantes en la sodicidad de los mismos, ya que aguas con altos contenidos de bicarbonatos de sodio, calcio y magnesio presentan elevado riesgo de generar sodicidad (Eaton, 1950; Pla y Dappo, 1977; Rhoades, 1992; Méndez, 2002).

Los resultados encontrados en el presente trabajo concuerdan con lo expresado por Jiménez Mendoza *et al.* (2008) para las Islas Canarias, respecto de que el uso de aguas de baja calidad asociados a sistemas de riego localizados de alta frecuencia, tienden a una progresiva salinización y sodificación de los suelos de cultivo.

El bajo nivel de precipitaciones de la región y la ausencia de láminas de lavado del perfil en el plan de manejo (tecnología aplicada), se identifican como factores adicionales además de los citados en el párrafo precedente, que contribuyeron a la intensificación del proceso de sodificación en el tiempo observado en este trabajo. Antecedentes para zonas con elevadas precipitaciones que utilizan riego complementario, como la Pampa Húmeda Argentina, indican que las mismas generan un proceso de lixiviación que es suficiente para neutralizar o mitigar el efecto del riego con aguas de mala o dudosa calidad (Vázquez *et al.*, 2006; Génova *et al.*, 2008; Paz *et al.*, 2008; Marano *et al.*, 2008).

Otro factor que probablemente influyó en la reacción del suelo encontrada frente a aguas de regular a mala calidad, es el bajo contenido de materia orgánica y en consecuencia una pobre capacidad buffer del suelo que le impide amortiguar dichos efectos. En este sentido Costa y Aparicio (2000, 2002) y Paz *et al.* (2008) encuentran un grado diferente de susceptibilidad del suelo al efecto dispersivo del sodio, en relación al contenido de materia orgánica del suelo. Establecen a partir del efecto dispersivo del agua medido a través de la conductividad hidráulica del suelo, K_s , que el contenido de materia orgánica es la propiedad determinante de dichas diferencias.

MODELOS DE PREDICCIÓN

Ruda *et al.* (2005), señalan que con el valor de RAS del agua de riego se puede predecir el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) del suelo en equilibrio con dicha agua, e inferir las posibles modificaciones físicas que ese suelo sufriría utilizando la ecuación propuesta por Richards. Según la misma el PSI estaría dado por:

$$PSI = 100(-0,0126 + 0,014475RAS) / [1 + (-0,0126 + 0,014475RAS)] \quad (2.12)$$

Referencia: PSI: Porcentaje de Sodio Intercambiable; RAS: Relación de Adsorción de Sodio del agua de riego

Sin embargo y tal como lo expresan estos autores, la ecuación fue diseñada para suelos de California en los EEUU y no contempla el efecto del calcio. Utiliza el RAS y no el RAS^o en base a la relación bicarbonato/calcio y la conductividad eléctrica (Suárez, 1981), proponiendo otras ecuaciones adaptadas a la zona del Centro de la provincia de Santa Fé, para suelos Aplustoles, comunes en esa región.

En base a esto y a que los modelos propuestos no son aplicables a estas condiciones por las razones mencionadas, y por el hecho de que las tendencias observadas en este estudio presentan un efecto acumulativo del riego en el tiempo, que no fue posible encontrar en la bibliografía consultada, se generaron distintos modelos con los datos obtenidos a campo utilizando regresión lineal multivariada.

Se emplearon como variables al tiempo de cultivo, y al RAS^o (RAS corregido), PSS (Porcentaje de Sodio Soluble) y al PS³² (Proporción de Sodio) propuesta en este estudio como variable de calidad del agua de riego.

³² Proporción de Sodio del agua de riego. PS= Na / (Ca+Mg+K)

Para la construcción de los modelos, se trabajó con los valores de aguas que irrigan las parcelas del caso de estudio y las de los sitios de verificación, asociadas a los resultados encontrados en el suelo, con un N = 43 (número de muestras igual a 43).

Los modelos encontrados para las condiciones del Valle Central de Catamarca y para las características de suelo, agua y tecnología de producción descriptas, se muestran en las siguientes ecuaciones.

$$PSI = -11,19 + 3,97RAS^{\circ} + 1,29Tcul \quad (2.13)$$

(E.E) (2,12) (0,36) (0,32)

Donde: PSI: Porcentaje de Sodio Intercambiable; RAS^o: RAS corregida por la relación CO₃H/Ca; Tcul: tiempo de cultivo (años);
EE: Error estandar

El modelo (Ec. 2.13) denominado aquí ‘Modelo 1’ de predicción del PSI utiliza como variables predictoras³³ al RAS^o y al tiempo de cultivo.

El análisis de regresión lineal reportó los siguientes resultados para el modelo: i) valores de -11,19, 3,97 y 1,29 como valores de los coeficientes³⁴ para la ecuación, RAS^o y tiempo de cultivo respectivamente; ii) un valor del coeficiente de determinación R² Aj³⁵ de 0,84, que indica que el modelo puede explicar en esa proporción la variación del PSI del suelo a partir de RAS^o y el tiempo de cultivo, y una proporción de 0,16 de la variación del PSI que el modelo no puede explicar a partir de esas variables predictoras; iii) un *p-valor*³⁶ <0,0001

³³ Las variables predictoras/regresoras son variables seleccionadas por el investigador que representan a las poblaciones a partir de las cuales fueron obtenidas las respuestas. (Manuel Infostat, 2008)

³⁴ Los coeficientes de la ecuación, del modelo y de cada regresora, explican la relación entre estas y la variable dependiente y se obtienen por el método de mínimos cuadrados. A partir de estos coeficientes se construye la ecuación de predicción que permite conocer el valor predicho de Y para cualquier valor de la/s variable/s regresora/s dentro del dominio de los valores experimentados. (Manual Infostat, 2008)

³⁵ A través del Análisis de la Varianza se puede conocer cuánto de la variación de los datos es explicada por la regresión y cuánto debe considerarse como no explicada o residual. Una medida de la capacidad predictiva del modelo es el coeficiente de determinación R² que relaciona la variación explicada por el modelo con la variación total de la variable dependiente. (Manual Infostat, 2008)

³⁶ *p-valor*: es el valor de significación *p* para la prueba de hipótesis basada en *T* (Manuel Infostat, 2008); *p-valor*es < 0.05 indican que la variable regresora y la dependiente tienen una relación lineal; caso contrario la relación entre ellas no es

para RAS° y un *p*-valor 0,0001 para el tiempo de cultivo, que indican que las variables predictoras presentan una relación lineal con el PSI; iv) un valor de CpMallows³⁷ de 155,59 para el RAS°, que indica que esta es la variable de mayor importancia para la predicción del PSI, respecto del tiempo de cultivo cuyo CpMallows es de 14,25, y v) un valor de ECM³⁸ = 40,66 que informa sobre el error de predicción del modelo elevado al cuadrado, y significa que los valores predichos pueden tener un error de predicción de ± 6.38. (ANEXO 3, Tabla 25. Parámetros estadísticos del modelo 1)

$$PSI = -77,1 + 1,49PSS + 0,65Tcul \quad (2.14)$$

(E.E) (5,18) (0,30) (0,10)

Donde: PSI: Porcentaje de Sodio Intercambiable; PSS: Porcentaje de Sodio Soluble del agua de riego; Tcul: tiempo de cultivo (años); EE: Error estándar

El modelo (Ec. 2.14) denominado ‘Modelo 2’ presenta un R² Aj= 0,87, por lo que explica mejor la variación del PSI del suelo que el RAS°. Los p-valores del PSS y tiempo de cultivo de <0,0001 y 0,0373 respectivamente, indican que estos tienen una relación lineal con el indicador de suelo, PSI. El CpMallows de 229,13 del PSS y de 6,55 para el tiempo de cultivo, indican que el PSS es de mayor importancia para el ajuste del modelo predictivo. El ECM= 22,31, indica un error de predicción para los valores predichos de ± 4,73. (ANEXO 3, Tabla 26. Parámetros estadísticos del modelo 2)

$$PSI = -15,75 + 13,61PS + 1,18Tcul \quad (2.15)$$

(E.E) (1,77) (0,29) (0,83)

Donde: PSI: Porcentaje de Sodio Intercambiable; PS: Proporción de Sodio del agua de riego (meq/l); Tcul: tiempo de cultivo (años); EE: Error estándar

lineal y no podrá utilizarse esa variable regresora para predecir la dependiente mediante regresión lineal. (Manuel Infostat, 2008)

³⁷ CpMallows: El coeficiente de Mallows se calcula para cada regresora o variable predictora e indica la contribución de la misma al ajuste del modelo propuesto. (Manuel Infostat, 2008). Cuanto mayor es el coeficiente mayor es la contribución al ajuste del modelo.

³⁸ ECM: Es el cuadrado medio de error de predicción e indica el error de predicción del modelo elevado al cuadrado. (Manuel Infostat, 2008)

El modelo (Ec. 2.15) denominado ‘Modelo 3’, observa un $R^2_{Aj} = 0,90$ por lo que ofrece una explicación mayor de la variabilidad del PSI en el tiempo, respecto de los modelos 1 y 2. Los valores de $p\text{-valor} < 0,0001$ y $0,0002$ para la PS y el tiempo de cultivo respectivamente, indican que los mismos presentan una relación lineal significativa con el PSI del suelo. El CpMallows de la PS de 265,71 informa esta variable del agua de riego aporta mayor ajuste al modelo, sin restar con esto importancia al tiempo de cultivo que está asociado al volumen de agua aplicado, y que es incremental a medida que transcurre el tiempo. El ECM que observa este modelo de 26,2, indica un error de predicción para los valores predichos de $\pm 5,11$ (ANEXO 3, Tabla 27. Parámetros estadísticos del modelo 3).

El R^2 ajustado de los modelos, muestra que la sensibilidad de los indicadores utilizados para generar los mismos varía de mayor a menor según la siguiente secuencia: $PS > PSS > RAS^\circ$. No obstante ello, se presentan a continuación los valores predichos para todos los modelos generados. Se incluye también el modelo propuesto por Richards (1985, citado de Ruda *et al.*, 2005) (Ec. 2.12, pág.130), solo a los efectos de resaltar las diferencias con los modelos presentados ya que como se indicó con anterioridad, no considera la variable tiempo.

Tabla 2.33. Valores promedios observados y predichos de Porcentaje de Sodio Intercambiable

Sitio de Muestreo	Años de cultivo	Parámetros agua de riego				PSI medio observ.	PSI pred. (Ec. 2.12)	Error ³⁹ abs.	PSI pred. (Ec. 2.13)	Error abs.	PSI pred. (Ec. 2.14)	Error abs.	PSI pred. (Ec. 2.15)	Error abs.
		RAS	RAS °	PSS	PS									
E1	2	2,24	2,47	51,30	1,06	1,16	1,94	0,79	1,95	0,80	0,64	-0,52	1,04	-0,12
	3	2,24	2,47	51,30	1,06	2,30	1,94	-0,35	3,27	0,98	1,29	-1,01	2,22	-0,08
	5	2,24	2,47	51,30	1,04	1,80	1,94	0,14	5,91	4,11	2,59	0,78	4,30	2,50
	6	2,97	3,82	59,60	1,45	11,66	2,95	-8,71	14,41	2,76	15,61	3,95	11,06	-0,59
	9	2,12	2,43	50,89	1,02	6,32	1,78	-4,54	10,95	4,63	4,58	-1,22	8,75	2,95
E2	6	3,43	3,73	61,09	1,57	15,21	3,57	-11,64	13,94	-1,27	17,82	2,61	12,70	-2,51
	9	4,01	4,15	66,96	2,03	25,58	4,35	-21,23	20,14	-5,44	28,51	2,93	22,50	-3,08
E3	6	9,90	11,48	79,51	3,88	44,76	11,56	-33,20	55,25	10,49	45,28	0,52	44,14	-0,62
	9	9,98	11,92	78,73	3,77	36,47	11,65	-24,82	61,55	25,08	46,05	9,58	46,18	9,71
Error absoluto promedio de la serie								-11,51	4,68	1,96	0,91			

Referencias: RAS: Relación de Adsorción de Sodio; RAS °: RAS corregido (Suarez, 1981); PSS: Porcentaje de Sodio Soluble; PS: Proporción de sodio del agua de riego; Error abs.: error absoluto

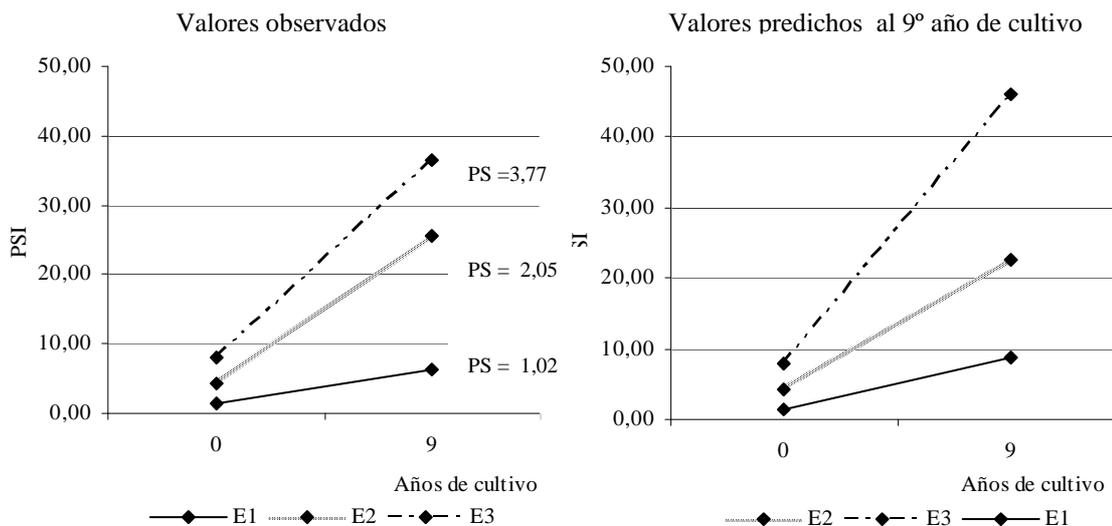
³⁹ Error absoluto = valor predicho-valor observado

El análisis de los errores de predicción encontrados entre los valores observados en este estudio y los predichos por el modelo basado en la PS y mostrados en la Tabla 2.33, indican que: i) solo para el último año del sitio de verificación E3, el mismo resulta mayor al establecido en el modelo, probablemente por algún factor de suelo ya que el PSI observado es anormalmente bajo para los valores de RAS, PSS y PS del agua de riego y, ii) el modelo propuesto por Richards (Ec. 2.12, p.130) no es aplicable cuando los efectos de las prácticas de riego son acumulativos en el tiempo.

A partir de la relación encontrada entre la PS del agua y el PSI del suelo, se presentan las curvas de tendencia observadas y predichas para los diferentes sitios de muestreo, construidas con los valores de PSI de la parcela testigo y los correspondientes a las parcelas en cultivo de 6 y 9 años del caso de estudio y de los sitios de verificación (Fig. 2.26 y 2.27).

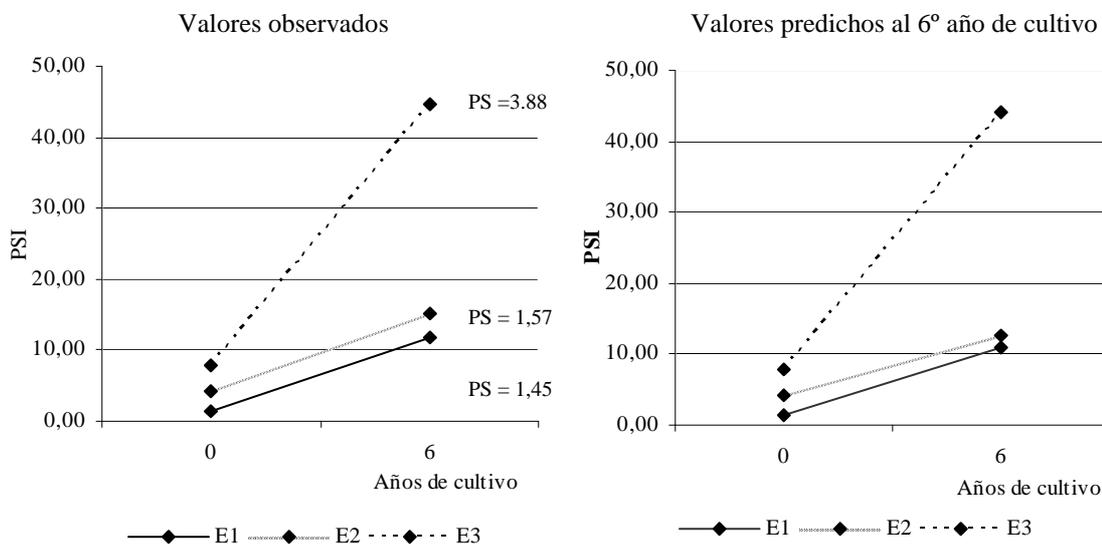
En dichas figuras, pueden observarse claramente dos aspectos: (i) las pendientes de las líneas de tendencia obtenidas para un mismo tiempo de cultivo resultan muy diferente ante aguas de riego de características distintas, no obstante de que se parte de valores de referencia del suelo sin cultivar cercanos pero no iguales, y (ii) la menor pendiente de la línea de tendencia obtenida para las parcelas de 6 y 9 años es la del caso de estudio.

Nótese que la línea de tendencia para las parcelas de 6 años de los sitios E1 y E2 (Fig. 2.27), presentan prácticamente la misma pendiente debido a que el agua de riego presenta valores de PS muy cercanos.



Referencias: E1: caso de estudio; E2: sitio de verificación 1; E3: sitio de verificación 2; PS: Proporción de Sodio del agua de riego

Fig. 2.26. Comparación de valores observados y predichos del Porcentaje de Sodio Intercambiable en función de la Proporción de Sodio del agua de riego, al noveno año de cultivo



Referencias: E1: caso de estudio; E2: sitio de verificación 1; E3: sitio de verificación 2; PS: Proporción de Sodio del agua de riego

Fig. 2.27. Comparación de valores observados y predichos del Porcentaje de Sodio Intercambiable en función de la Proporción de Sodio del agua de riego, al sexto año de cultivo

Se presentan en la Tabla 2.34 los valores PS encontrados en las muestras de agua del Valle Central y su relación con el PSS y el RAS°, dado que se modelizan los efectos del agua de riego sobre el suelo a partir de un nuevo indicador de calidad de agua.

Tabla 2.34. Valores de Proporción de Sodio, Porcentaje de Sodio Intercambiable y Relación de Adsorción de Sodio corregida de aguas del Valle Central de Catamarca

Punto de Muestreo	PS	PSS	RAS°
AGI P1	0,38	27,32	1,62
E1 P5	0,63	38,69	1,83
NE	0,73	42,20	2,11
AH P2	0,76	43,27	1,10
Y P1	0,78	43,74	1,99
CG P2	1,02	50,72	4,39
E1 P2 (9 años)	1,02	50,89	2,47
E1 P3 (2,3,5 años)	1,06	51,30	2,43
LP P1	1,12	52,76	4,74
SJF	1,17	53,99	3,58
LB P1	1,30	56,44	2,30
E1 P1	1,36	57,56	2,68
B P3	1,40	58,26	4,78
E1 P4 (6 años)	1,45	59,60	3,82
E2 P2 (6 años)	1,57	61,09	3,73
IM P1	1,76	63,72	3,45
AdF P1	1,90	65,49	4,58
NC P1	1,95	66,05	4,80
CA c	2,01	66,82	5,86
E2 P1 (9 años)	2,03	66,96	4,15
DC P1	2,32	69,87	3,80
D P3	2,39	70,49	6,85
LL P2	2,41	70,67	7,90
AP	2,51	71,51	4,86
FO P1	2,69	72,91	6,00
E3 P1(9 años)	3,70	78,73	11,93
FO P3	3,71	78,75	5,95
E 3 P2 (6 años)	3,88	79,51	11,48
LP	4,20	80,76	7,05
E1 P6	4,41	81,51	7,71
E· P3	5,44	84,46	14,86
CA e	6,48	86,62	16,45

Referencias: E1P1, P2, P3, P4, P5, P 6: perforaciones del caso de estudio; E2 P1, P2: perforaciones del sitio de verificación 1; E3 P1, P2: perforaciones del sitio de verificación 2, asociadas a las parcelas que irrigan.

El ordenamiento de los valores de la Proporción de Sodio (PS) de menor a mayor permite inferir las amplitudes probables de impacto que pueden llegar a producirse en dicha región, dada la ubicación de los valores de PS de las perforaciones analizadas en el contexto general de las muestras de calidad de agua de la región. (Tabla 2.34)

Dicha inferencia es posible ya que se demostró en este trabajo, que a medida que aumenta el PS del agua de riego se incrementa en diferente grado el PSI del suelo (Ec. 2.15 p. 132; Tabla 2.33, p.133; Fig. 2.27, p. 137).

Las muestras de agua que irrigan las parcelas del Caso de Estudio con la que se construyeron las series de tiempo, se ubican dentro de los primeros lugares de la Tabla 2.34, y los GNV son los de menores magnitudes de la región. De manera inversa, las muestras de agua del Sitio de Verificación E3 cuyos valores de PS se encuentran entre los mayores de la muestra de agua, generan los GNV de mayor magnitud de la región.

Puede observarse también en la Tabla 2.37, la similitud de valores de PS del agua de riego de las parcelas con las que se construyeron las series de tiempo del caso de estudio, y la diferencia de estas respecto del PS del agua de riego de la parcela de 6 años. Esta diferencia resultó suficiente para que se verificaran valores de pH, RAS y PSI más elevados que produjeron distorsiones en las series de tiempo, motivo por el cual fueron desestimadas para su construcción. (ANEXO 3, Tabla 1. Análisis de suelo- Caso de estudio)

El proceso de sodificación se encuentra fuertemente relacionado a la proporción de Na respecto del resto de los cationes del agua de riego, y a las cantidades incrementales de agua aportadas a medida que transcurre el tiempo de cultivo. Esto es concordante con lo citado por Báez (1999) y expresado por Richards (1954), Anderson *et al.* (1972), Rhoades (1992), Ayers y Wescot (1987), que expresan que la intensidad del proceso de sodificación

depende de la concentración de sales del agua y de la cantidad de agua agregada cada año.

No se ha encontrado en este trabajo una relación directa entre los volúmenes de riego utilizado y el aumento de la sodicidad del suelo. Sin embargo la variable 'tiempo de cultivo' del modelo permite cuantificar el efecto 'acumulativo' del sodio en el tiempo bajo las prácticas de manejo y diseño del sistema riego considerado, y lleva implícito el volumen incremental de agua y los consecuentes aportes de sodio.

CONCLUSIONES

El resultado del trabajo realizado en la adquisición de información, análisis de laboratorio, sistematización de la información, construcción de modelos de predicción y la selección de indicadores que dieran cuenta del impacto, por la aplicación de paquetes tecnológicos de producción para el cultivo de olivos en el Valle Central de Catamarca, permiten arribar a las conclusiones que a continuación se detallan.

INDICADORES DE NIVEL REGIONAL

El indicador de presión seleccionado para este nivel 'superficie desmontada' resultó de una magnitud de 29.700 ha en el período 1989-2006.

El indicador de impacto 'variación en el patrón de uso del suelo' con fines agropecuarios mostró una magnitud de 28.571,98 ha, lo que equivale a un incremento neto de superficie agropecuaria del 158,93 %, respecto del año 1989.

Respecto de las modificaciones producidas en dicho patrón de uso, se encontraron los

siguientes resultados:

- incrementos de 23.332 ha en la categoría de uso ‘agricultura bajo riego con agua subterránea’, el 85% de esa superficie (aproximadamente 20.000 ha) es destinada a la producción olivícola. Dicha categoría de uso creció en el período 1989-2006, un 797%.
- incrementos de 6.370 ha, en la categoría de uso ‘desmonte/ganadería’ cuyo crecimiento fue del 220% en el período de tiempo 1989-2006.
- involución de 1.129 ha en la categoría ‘agricultura bajo riego con agua superficial’, que decreció para ese período un 9% en el período de tiempo 1989-2006.

En relación al patrón de ocupación por tipo de suelos en el Valle Central y sobre 46.000 ha de uso agropecuario existentes al año 2006, surge que:

- el 65% de la misma (30.144 ha), se concentra en la asociación de suelos Colonia del Valle, que fue la mayor receptora de la superficie para usos agropecuarios.
- el 15% (5.940 ha) se localizó en la asociación Laguna Verde, que es la segunda receptora de la superficie para usos agropecuarios.
- el 20% restante quedó distribuido en las asociaciones Río del Valle y Pedemonte de Ancasti y Ambato.

El patrón de uso del suelo encontrado nos permite concluir que:

- la cantidad de suelo disponible no será limitante para el desarrollo futuro, puesto que el nivel de ocupación encontrado al 2006 fue del 23 % de la superficie total de las asociaciones de suelo aptas para dicho uso. Esto indica sobre la proporción de bosque nativo en la región, que resulta para dicha fecha, del 77%.

- al igual que en la mayoría de las zonas áridas y semiáridas, dicho desarrollo estará condicionado por la cantidad y calidad del agua subterránea. En asociación a ello se presentan como condicionantes también, el monto del canon de uso de la misma, la disponibilidad de energía para su extracción y el costo asociado a ella.

INDICADORES DE NIVEL EXPLOTACIÓN AGROPECUARIA

El trabajo realizado y los datos obtenidos en las explotaciones agropecuarias nos permiten arribar a las siguientes conclusiones:

Los resultados obtenidos en el caso de estudio, reflejan una tendencia gradual de sodificación del suelo.

Al año 2008, fecha de los análisis, se verifica un avance del mismo hasta los 80 cm de profundidad, lo que implica un 40% de la profundidad explorada por las raíces del cultivo. La tercera profundidad (80 a 120 cm) no ha alcanzado los valores de sodicidad observados en las dos primeras (0-40 cm y 40-80 cm), sin embargo observa una tendencia creciente de sodificación.

En el ‘caso de estudio’ y al cabo de 9 años de cultivo, se encontraron los siguientes resultados:

- impacto negativo por incremento del pH en toda la profundidad muestreada, de magnitudes 0,90, 0,60 y 0,54 para la primera (0-40 cm), segunda (40-80 cm) y tercera (80-120 cm) profundidad respectivamente.
- impacto negativo por descenso marcado de la conductividad eléctrica (Ce) en la tercera profundidad, del orden de -2 dS/m;
- impacto negativo por incremento de la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) en las dos primeras profundidades, de magnitudes 4,63 y 1,9 respectivamente.
- impacto negativo por incremento del Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) en las dos primeras profundidades, del orden de 9,5 y 4,38 respectivamente.
- impacto negativo por descenso de la materia orgánica (MO) en la segunda profundidad del orden de -0,33%, resultando de impacto nulo para el resto de las profundidades estudiadas.
- impacto nulo para la variable contenido de fósforo.
- impacto negativo de la variable contenido de nitrógeno en la primera profundidad, del orden de -0,03%. Impacto nulo para el resto de las profundidades en estudio.

En los indicadores que permitan el monitoreo del recurso, se encontró que:

- la variable pH y los indicadores RAS y PSI resultaron sensibles a los cambios de estado del suelo por efectos de sodificación.

- los mismos presentan diferente grado de sensibilidad para dichos efectos según la secuencia, $PSI > RAS \gg pH$. En consecuencia, el PSI se constituye en el indicador más adecuado para el monitoreo del suelo.

En las tendencias y magnitudes de impacto observados en el caso de estudio y en otros sitios de producción del Valle Central de Catamarca, se encontró que:

- los sitios de verificación, muestran las mismas tendencias encontradas en el caso de estudio, y revelan que el proceso de sodificación es aún más intenso en otras explotaciones agropecuarias diferentes al caso de estudio.

- la diferencia de intensidad observada entre los sitios de verificación y el caso de estudio al cabo de 9 años de cultivo fue de + 70% (0,47) para la variable pH, + 106% (2,57) para el indicador RAS y + 245 % (10,87) para el indicador PSI.

- la intensidad promedio del impacto (caso de estudio y sitios de verificación) a los 9 años de cultivo respecto del promedio de las parcelas sin cultivo fue de + 15% (1,15) para la variable pH, + 283 % (4,99) para el indicador RAS y + 326 % (15,31) para el indicador PSI.

El modelo matemático que describe el efecto de sodificación en el suelo, permite concluir que:

- la intensidad del proceso de sodificación evaluada a través del PSI, es función de la proporción de sodio del agua de riego (PS) y del tiempo de cultivo (Tcul).
- la 'PS' del agua de riego es la variable de mayor relevancia en la reacción del suelo.
- la segunda variable del modelo, 'tiempo de cultivo', permite relacionar el factor tiempo al proceso de sodificación, reflejando el efecto acumulativo del sodio debido al riego.
- la inclusión del enfoque series de tiempo en el presente estudio, fue determinante para detectar dicho efecto.

Considerando las causas del impacto, se concluye que:

- la calidad del agua de riego es el factor de la tecnología de producción con mayor implicancia en el impacto encontrado sobre el recurso suelo.

Alcances geográficos y magnitud del problema. El presente trabajo permite concluir que:

- la vinculación encontrada en el modelo matemático entre la reacción del suelo y la calidad del agua de riego, analizada en el espectro de calidades de agua de irrigación del Valle Central de Catamarca, evidencian la relevancia regional del problema.
- la calidad del agua de riego del caso de estudio y la de los sitios de verificación en relación a la clasificación de aguas del Valle Central y al GNV de las variables e

indicadores de impacto, permiten concluir que el agua del sitio de verificación denominado E3 sería la de mayor magnitud del impacto sobre el recurso suelo en la región, mientras que los GNV de las variables e indicadores del caso de estudio los de menor magnitud.

- los valores de GNV de pH, Ce, RAS y PSI obtenidos del promedio del caso de estudio y los sitios de verificación, constituyen una medida aproximada del impacto medio a nivel regional.

El trabajo realizado con los indicadores y criterios de clasificación de calidad de aguas para riego para el Valle Central de Catamarca, permite concluir que:

- los indicadores de calidad de agua para este trabajo, presentaron sensibilidades diferentes para predecir tendencia de sodificación del suelo según la siguiente secuencia: PS > PSS > RAS°.

- de los criterios de peligrosidad utilizados para la calificación de agua de riego de origen subterránea, el PSS (Porcentaje de Sodio Soluble) resultó ser el más adecuado; se sugiere un corrimiento del límite inferior de 70 a 60% para el grado de restricción severa para esta región, en base a los resultados obtenidos a campo en el presente trabajo.

Finalmente se puede decir que el recurso suelo en el área en estudio presenta elevada fragilidad; aún cuando toda actividad agropecuaria productiva implica impactos sobre el recurso suelo, lo observado debe considerarse como serio dado el escaso período de tiempo transcurrido en términos ambientales y en términos productivos; puesto que el sistema productivo implantado está iniciando la etapa de plena producción

CONCLUSIONES SOBRE DE LA METODOLOGÍA UTILIZADA

La misma permitió reflejar la tendencia que adquiere en el tiempo el recurso suelo producto de la tecnología de producción utilizada

La magnitud del efecto de sodificación encontrado superó ampliamente a las diferencias de suelo encontradas entre parcelas dada la escala de análisis adoptada, confirmando lo adecuado del método de muestreo diseñado en este trabajo.

La metodología diseñada en este trabajo permitió demostrar que el estudio de la condición de suelo utilizando análisis de laboratorio de rutina con la inclusión de la variable tiempo de cultivo y efectuado a una escala amplia, permite detectar tendencias e inferir alcances geográficos, que no es posible obtener desde el enfoque tradicional de evaluación o diagnóstico de condición de suelo.

CONSIDERACIONES SOBRE LAS HIPÓTESIS PLANTEADAS PARA ESTE CAPÍTULO

La implantación de olivos, como cultivo principal en el Valle Central de Catamarca, incrementó la superficie de uso agropecuario bajo riego con agua subterránea modificando el patrón de uso del suelo agropecuario de dicha región; comprobándose la primera hipótesis planteada para este capítulo.

El efecto de sodificación del suelo encontrado, producto de la calidad del agua de riego utilizada en el manejo técnico de la producción de olivos, produce la degradación de las propiedades físico-químicas del suelo; con lo que se comprueba la segunda hipótesis planteada.

BIBLIOGRAFÍA

- Abraham M.A. 2007. Riego en Argentina. Segunda aproximación. Publicado en Internet, disponible en http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/nuevositio/publicaciones/riego_2.pdf. Activo abril 2008.
- Albrego F., Andriulo A., Ferreira C., Galetto M.L., Galina J., Iurtia C.B., Mon R., Rimatorii F. y Nasal C. 1998. Efecto de 11 años de riego complementario sobre algunas propiedades del suelo. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina. Tomo II, Propiedades físicas, 249-250 pp.
- Alconada M. y Minghinelli F. 1998. Calidad del agua de riego según diferentes criterios: su influencia sobre la salinización- alcalinización de suelos con cultivos protegidos en el Gran La Plata. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina, pp. 229-230.
- Anderson J. U. F., Bailey O. y Dregne H. A. 1972. Short-term effects on irrigation with high sodium waters. *Soil Science* 113 (5):358-362.
- Ayers R. y Westcot D. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Estudio F.A.O (ed.). Serie Riego y Drenaje N° 29. Roma, Italia. 174 pp.
- Baez A. 1999. Efecto de la calidad del agua de riego sobre las propiedades del suelo. Monografía de Especialización. Universidad Nacional de Mar del Plata. Mar del Plata, Argentina, 53 pp.
- Chapman V.J. 1975. The salinity problem in general, its importance and distribution with special reference to natural halophytes. En: Plants in saline Environments. Poljakoff-Mayber A., Gal J. (ed.). Springer Verlag (ed.), New York, USA, pp 7-21.
- Cantú M. P., Becker A. R., Bedano J. C. y Schiavo H. 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia del Suelo* 25 (2):173-178.
- Caeiro R.E. 2009. Análisis de las Transformaciones del Sector Agropecuario de la Provincia de Catamarca (Argentina) a raíz de la implementación de la Ley 22.702 de Desarrollo Económico: Efectos Territoriales e Institucionales en el Sistema Olivar. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes Departamento de Economía, Sociología y Política Agrarias, Universidad de Córdoba, España. pp. 305.
- Cholaky C., Cisneros J., Uberto M., Vignolo C. y Giagetto O. 2005. Degradación-recuperación de la condición hidrofísica de Haplustoles/udoles del sur cordobés manejados con siembra directa. Seminario Internacional de Indicadores de Calidad de Suelo. Marcos Juárez. Córdoba. En CD-room ISBN 1-25689563-458-8.
- Costa J.L. y Godz P. 1999. Aplicación de yeso a un Natracuol del sudeste de la pampa deprimida. *Ciencia del Suelo* 17 (2):21-27.
- Costa J. L. y Aparicio V. 2000. Efecto del sodio en la degradación de suelos del sudeste de la Provincia de Bs. As. Argentina. XI Conferencia de la Organización Internacional para la Conservación del Suelo. ISCO. Buenos Aires.

- Costa J. L. y Aparicio V. 2002. Determinación del deterioro de suelos con bajo PSI mediante propiedades físicas y químicas. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Puerto Madryn, Chubut, Argentina. CD-room.
- Crescimanno G., Iovino M. y Provenzano G. 1995. Influence of salinity and sodicity on structural and hydraulic characteristics. *Soil Science Society of America Journal* 59: 1701-1708.
- Da Silva H., Ogas R., Gómez Bello R. y Pernasetti O. 1983. Cartografía de reconocimiento de suelos de la Provincia de Catamarca. Cátedra de Edafología, Fac. Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Catamarca, Catamarca, Argentina, 56 pp.
- De la Peña I. 1996. Clasificación y control de la calidad de las aguas para riego. Distrito de Riego N° 41. Río Yaqui, Sonora, México, 35 pp.
- Disperati A., Oliveira Filho P., Dlugosz F. y Bobrowsky R. 2004. Aplicación de un criterio estadístico para la determinación de la mejor composición colorida en el análisis visual de una imagen LANSAT 7 ETM. *Revista de Ciencias Exactas y Naturales* vol.6, N° 1: 67-74.
- Eaton F. 1950. Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil Science* 69:123-133.
- FAO. 2001. Indicadores de calidad de tierra y uso para agricultura sostenible y desarrollo rural. Boletín N° 5 de Tierra y Aguas. Publicado en Internet, disponible en <http://www.fao.org/docrep/004/w4745s/w4745s00.htm>. Activo diciembre de 2007.
- Flowers T.J. y Yeo A.R. 1988. Ion relations of salt tolerance. En: Solute transport in plant cell and tissues. Baker D.A. y Hall J.L. (ed.). Longman, New York, pp. 392-416
- Fassbender H. y Bornemisza, E 1987. Química de suelos con énfasis en los suelos de América Latina. IICA, Costa Rica, 420 pp.
- García J.R., Bleckwedel C., Giménez D., Cáceres M. y Pietroboni A., 1993. La degradación de los suelos agrícolas del Este Tucumano. XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Salamanca, España. Vol. III, pp.1280 –1285.
- García J., Corbella R. D., Sanzano G.A., Plasencia A.M. y Manlla A. 2008. Indicadores de calidad de suelo para la producción de granos en la Provincia de Tucumán. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina, CD, Comisión temática Manejo y Conservación de Suelos y Aguas, Riego y Drenaje 4-02.
- Génova L., Soza E., Andreau R., Etcheverry M. y Chale W. 2008. Resistencia y resiliencia de molisoles pampeanos regados complementariamente y su relación con la capacidad de intercambio catiónico. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina, pp. 405.
- Gregorich E.G, Carter M.R., Doran J.W., Pankhurst C.E. y Dwyer L.M. 1997. Biological attributes of soil quality. En: Soil quality for crop production and ecosystem Health. Gregorich E.G., Carter M.R (eds). Elsevier, Amsterdam, Holanda, pp. 81-113.
- Jiménez Mendoza C., Rodríguez Rodríguez A. y Vargas Chávez G. E. 2008. Influencia de los sistemas de riego en la salinidad y sodicidad de los suelos agrícolas en las Islas Canarias. Universidad de La Laguna, Tenerife, Islas Canarias, España. Publicado por Internet, disponible en <http://nates.psu.ac.th/Link/SoilCongress/bdd/symp29/2408-t.pdf>. Activo diciembre 2008.

- Hamza M.A. y Anderson W.K. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and posible solutions. *Soil Tillage Res.* 82:121- 145.
- Hillel D. 1998. Environmental Soil Physics. Academia Press, p. 771.
- Idrisi. 2007. Idrisi versión Andes 2007. Idrisi Production. Clark Labs. Clark University, USA.
- InfoStat. 2008. InfoStat versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Marano R. 2004. Propuesta de un nuevo indicador de peligrosidad de aguas bicarbonatadas sódicas en suelos bajo riego suplementario. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, Entre Ríos, Argentina, pp. 320.
- Marano R. P., Pilatti M. A. y Molfino J. 2008. Reversibilidad de la sodificación provocada por riego con aguas bicarbonatadas sódicas en el centro santafesino. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina, CD-room, Comisión Temática Manejo y Conservación de Suelos y Aguas, Riego y Drenaje 4-55.
- Méndez J.K. 2002. Perfil salino-sódico de un molisol regado con aguas subterráneas y residuales no depuradas en la cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. *Edafología* vol. 9 (1): 39-48.
- Morillo J. y Adámoni J. 1974. Las Grandes Unidades de Vegetación y Ambiente del Chaco Argentino. Primera Parte: Objetivos y Metodología. Serie Fitogeográfica N° 13. INTA, Buenos Aires, Argentina, 79 pp.
- Morlans C. y Guichón B. 1993. Reconocimiento ecológico de la Provincia de Catamarca I: Valle de Catamarca. Vegetación y Fisiografía. *Revista de Ciencia y Técnica* N° 1: 15-49.
- Morón A. 2001. El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. En: Aportes de la Ciencia y la Tecnología al manejo productivo y sustentable de los suelos del Cono Sur. PROCISUR, Díaz Rosello R., Rava C. (ed), pp. 387-405.
- Musso T. B., Cantú M. P. y Becker A. R. 2004. Efecto de distintos sistemas de labranza y de la fertilización sobre el contenido de carbono orgánico, N total y el pH de un Hapludol Típico del sur de Córdoba. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina, CD-room.
- Musso T. B., Cantú M. P. y Becker A.R. 2006. Indicadores químicos de calidad de suelos. Un set mínimo para Hapludoles de la cuenca del A° La Colacha. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta, Argentina, CD-room.
- Karlen D.L, Mausbach M.J. y Doran J. 1997. Soil quality concept definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America* 61: 4-10.
- Karen R. 2000. Salinity. En: Handbook or Soil Science. Summer, M.E (ed.), Boca Ratón, Florida, USA, pp. 1-26.
- Oblitas J.J. 1968. Estudio Hidrológico del Valle Central de Catamarca. Subsecretaría de Minería de la provincia de Catamarca, 230 pp.

- Osorio A. y Céspedes R. 2000. Effect of micro-irrigation methods on the salinity of the soil profile in a grape vineyard. I. Electrical conductivity of sodium, chloride and boron at several points of the profile. *Agricultura Técnica* vol. 60 (2): 178-194.
- Palacios V.O. y Aceves N.E. 1970. Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México, 295 pp.
- Paz I., Aparicio V. y Costa J.L. 2008. Efecto de la calidad del agua de riego sobre algunas propiedades físicas y químicas de los suelos del sudeste bonaerense. Publicado en Internet, disponible en www.argenpapa.com.ar. Activo julio de 2008.
- Pla I. y Dappo F. 1977. Field-testing of a new system for qualifying irrigation water. En: Proc. Int. Conf. on managing saline water for irrigation. Univ. Lubbock (Ed), Texas, USA, pp. 376-387
- Ramos T.B, Goncalvez M.C., Catanheira N.L., Martins J.C., Santos F.L., Prazeres A. y Fernández M.L. 2009. Efectos del sodio y del nitrógeno sobre la función de producción de maíces irrigados en el sud de Portugal. *Agricultural Water Management* 96: 585-594.
- Richards L.A. 1954. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual de Agricultura N° 60. USDA, USA, 160 pp.
- Rhoades J. 1992. The use of saline water for crop production. Irrigation and Drainage paper N° 48. FAO, Rome, Italy, 133 pp.
- Roblez Pérez C. 2002. Calidad del agua de riego. Distrito de riego N° 19 de Tehuantepec, Oaxaca, México. *TEMAS* septiembre-diciembre:30-45. Publicado en Internet, disponible en <http://www.utm.mx/~temas/temas-docs/nfnotas318.pdf>. Activo diciembre 2007.
- Rodríguez M. L., Becker A. R., Cantú M. P., Schiavo H. F., Parra B. J. y Bedano J.C. 2008. Evaluación del impacto del uso y manejo del suelo sobre las propiedades químicas en hapludoles típicos en la cuenca del arroyo la Colacha, Provincia de Córdoba, Argentina. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina. CD-room, Comisión Temática Manejo y Conservación de Suelos y Aguas, Riego y Drenaje 4-123.
- Ruda E., Mongiello A., Acosta A., Ocampo E. y Contini L. 2005. Calidad del Agua Subterránea con Fines de Riego Suplementario en Argiudoles del Centro de Santa Fe, Argentina. *Agricultura Técnica* 65(4):411-420.
- Sánchez M.C., Heredia O., Bartoloni N., González C. y Arrigo N. 2006. Secuencias de Cultivos y Labranzas: efecto sobre las fracciones de carbono del suelo. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta, Argentina. CD-room.
- Secretaría del Agua y el Ambiente. 2008. Gobierno de la provincia de Catamarca. Base hidro-química de agua subterránea del Valle Central de Catamarca.
- Shainberg, I. 1990. Soil response to saline and sodic conditions. En: Agricultural salinity assessment and management. Tanji K.(ed), American Society of Civil Engineers, New York, USA, pp. 91-112.
- Shainberg I. y Letely J. 1984. Response of soils to sodic and saline conditions. *Hilgardia* vol.52:1-57.

- Spedding T.A., Hamel C., Mehuys G.R. y Madramootoo C.A. 2004. Soil microbial dynamics in maize growing soil under different tillage and residue management systems. *Soil Biol. Biochem* 36: 499–512.
- Steinbach H. S. y Álvarez R. 2007. ¿Afecta el sistema de labranza las propiedades físicas del suelo de la región pampeana? I.P.N.I. (Internatinal Plant Nutrition Institute). *Informaciones Agronómicas* 33: 7-12.
- Suarez D. 1981. Relation between pHc and sodium adsorption ratio (SAR) and an alternate method of estimating SAR of soil or drainage waters. *Soil Science of American Journal* 45: 469-475.
- Vázquez M., Millán G. y Gelati P. 2006. Efecto del riego complementario sobre la salinidad y sodicidad de diferentes suelos del NO y Centro-E de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 106: 57-67.
- Vermeiren L. y Jobling G.A. 1986. Riego localizado. Serie Riego y Drenaje N° 36. FAO, Roma, Italia, 203 pp.
- Viglizzo E., Lértora F., Pordomingo A. J., Bernardos J., Roberto Z. E. y Del Valle H. 2001. Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the pampas of Argentina. *Agricultural Ecosystem Environment* 81:65–81.
- Viglizzo E., Pordomingo A. J., Castro M. y Lértora F. 2003. Environmental assessment of agriculture at a regional scale in the pampas of Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment* 87: 169-195.
- Wathern P. 1988. An introductory guide to EIA. En: Environmental impact assessment. Theory and practice. Wathern, P., (ed.), Unwin Hyman, London, UK, pp. 3-30.

VALORACIÓN ECONÓMICA DEL IMPACTO SOBRE EL SUELO: COSTOS DE MITIGACIÓN

INTRODUCCIÓN

Para la toma de decisiones en políticas ambientales sustentables en el largo plazo, la cuantificación y la evaluación económicas y ambientales son requisitos indispensables para una adecuada distribución de costos y beneficios intra e intergeneracionales. Las pérdidas o costos derivados del mal manejo de los recursos son aquellos sacrificios que la sociedad debe hacer al soportar los cambios negativos en el ambiente, y las ganancias o beneficios se materializan en los productos obtenidos por la utilización de los recursos (Tomasini y Longo, 2010).

Según Bennet et al. (2010) se reconocen cada vez más los beneficios públicos derivados de la administración de los recursos naturales. Estos beneficios públicos se discuten en términos de servicios de los ecosistemas, ya que son fenómenos ecológicos ‘utilizados (de manera activa o pasiva) para producir el bienestar humano’.

Como parte de los ecosistemas terrestres los suelos cumplen importantes servicios ecosistémicos, también denominados servicios ambientales⁴⁰ como los de aprovisionamiento (de alimentos, agua, fibra), de regulación (del clima, inundaciones, enfermedades), culturales (recreación, la estética), y de apoyo (formación del suelo, ciclo de nutrientes,

⁴⁰ Los servicios ambientales son las funciones ecosistémicas no tangibles, utilizadas por el hombre que le generan beneficios, como la regulación de gases, regulación hídrica, reciclado de nutrientes, tratamiento de residuos, etc. (CCAD-CBM, 2002).

otros ciclos biogeoquímicos, etc.) (PNUMA Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005).

Estos servicios tienen la característica de "bienes públicos o sociales" ya que no se puede excluir a nadie del beneficio de ellos, y su uso por una persona no disminuye la disponibilidad de ese servicio a otros usuarios. Sin embargo, las actividades económicas entre las que se encuentra la agricultura, pueden degradar la capacidad de los ecosistemas para proporcionar estos servicios a través del cambio en la composición y la estructura de un sistema y cómo funciona (FAO, 2007; PNUD, 2005).

En la toma de decisiones de producción, se considera el precio de venta de lo que se produce y los costos privados a incurrir para lograr dicha producción. Existen costos que aunque la empresa no los contabiliza representan un costo para la sociedad; estos son los costos externos de la actividad productiva. El costo externo más común o externalidad⁴¹ es el que se le impone a terceras personas ajenas al emprendimiento productivo, por la degradación ambiental (Castiblanco Rozo, 2003).

Autores como Fadda (2006) interpretan que la degradación del recurso suelo produce efectos 'en la finca' y efectos fuera de la finca, 'extra sitio' o externalidades. Reconoce como efectos 'en la finca' a las implicancias de la degradación sobre los productores o dueños de la tierra por la disminución en la productividad y a las implicancias sobre la sociedad por el compromiso de la sustentabilidad del recurso en el largo plazo. En este tipo de efectos el componente 'interés de la sociedad' en la degradación del recurso suelo se encuentra presente a nivel temporal, está caracterizado como 'interés intergeneracional', y es una de las razones de la intervención social o del gobierno ante el citado problema (Tomasini y Longo, 2010).

⁴¹ Una externalidad económica se produce cuando las actividades de producción o consumo de un agente, generan cambios en el bienestar de otros y dichos cambios no son debidamente compensados. (Castiblanco Rozo, 2003)

En un contexto donde la toma de decisiones de planificación y uso de los recursos priman argumentos de índole económico, el valor económico de dichos recursos naturales es el elemento clave para un manejo eficiente de los mismos y para el diseño de políticas ambientales para regular su uso, al suministrar información relacionada con los beneficios sociales de mejorar o mantener la calidad ambiental, a partir de cuantificar los costos de su conservación como compensaciones a incluir en los proyectos de desarrollo (Castiblanco Roso, 2003).

Lo antes mencionado convoca a un análisis de costos y beneficios a nivel de finca evaluados en términos privados, esto es en términos de los precios que el productor realmente paga por los insumos o recibe por lo producido. Por otra parte, desde el punto de vista social, debería realizarse el análisis de los beneficios regionales o nacionales y de los daños derivados de las diferentes actividades evaluados en términos sociales (Pagiola, 1998).

De esta manera, si los beneficios que genera una actividad económica basada en el uso de los recursos naturales superan los costos de explotación y los costos ambientales asociados a dicha producción, es viable dar un uso sustentable a los recursos y se puede financiar su conservación (Barsev y Espinoza, 2000).

La no inclusión de los mismos, produce la sobre-valoración de la producción por minimización de los costos de producción, lo que ocasiona que muchas actividades resulten rentables cuando en realidad desde el concepto de sustentabilidad pueden no llegar a serlo (CCAD-CBM, 2002). Ello conlleva a la tendencia de sobreexplotación, toda vez que existen relaciones de precio-costo o costo –beneficio que incentivan el uso de los recursos por sobre el rendimiento máximo sostenido del mismo o la capacidad del mismo de sostener sus funciones (Agüero, 1996).

La economía ambiental brinda herramientas para estimar el valor económico de los bienes y servicios ambientales, cuyos fundamentos fueron detallados en capítulo 1 del presente trabajo (p. 20 a p. 33). En dicho capítulo se expusieron diferentes métodos de valoración económica, de ellos el método de Costos Evitados y sus variantes es el más utilizado para valorar impactos⁴² en la actividad agropecuaria, sobre todo para los impactos producidos en el recurso suelo.

Son ejemplo de ello las valoraciones de impacto de proyectos de reforestación para conservación de suelos en Tailandia a partir de la cuantificación de pérdidas de suelo y pérdidas de nutrientes por cosecha que producen diferentes especies; utilizando el método de costos evitados (Hufschmidt *et al.*, 1983; Francisco, 1986, 1994; Niskanen y Saastamoinen, 1996); la valoración económica de la biodiversidad de la Yunga de Catamarca, a través de los servicios de captación de agua, regulación de la cuenca, control de erosión de suelo y los beneficios de disfrutar del paisaje. La valoración se efectuó utilizando el método de costos evitados o de reemplazo y el método de costos de viaje (Alderete Salas *et al.*, 1999); la valoración del servicio ambiental de ‘protección de la calidad del agua’ y el de ‘regulación hídrica’ para una cuenca hidrográfica, aplicando los métodos de costo de oportunidad, costos de protección y costos evitados, (Hernández Vela, 2001); la valoración de la conservación de suelos de San Dionisio (Nicaragua) a partir de los costos de reposición del recurso por el agregado de fertilizantes (Baltodano y Mendoza, 2001); la determinación del valor global del medio forestal de cada Territorio Histórico de Bizkaia (España) aplicando los métodos del costo del viaje, valoración contingente y costos evitados (Servicio de Inventario Forestal del Ministerio de Medio Ambiente Español, 2005); la valoración del servicio de secuestro de carbono producto de la vegetación, en dos sistemas pastoriles uno constituido por pastizal natural y otro convertido a un sistema silvopastoril, aplicando el método de costos evitados (Miranda *et al.*, 2008).

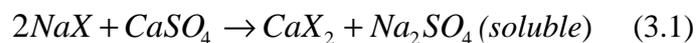
⁴² Impacto Ambiental: efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. Técnicamente, es la alteración de la línea de base, debido a la acción antrópica o a eventos naturales.

La conservación de los recursos suelo y agua son considerados prioritarios en las investigaciones agrícolas en regiones áridas y semiáridas de la Unión Europea. (Ramos *et al.*, 2009). En los casos de pobre calidad de agua, el nivel del contenido de sodio puede ser considerado como el tercer factor de importancia en la disminución de la producción de los cultivos. (Dinar *et al.*, 1991; Datta *et al.*, 1998; Beltrao *et al.*, 2002), siendo esta una de las limitaciones de la producción agrícola mundial en especial en áreas bajo riego localizadas en zonas áridas y semiáridas (Melo *et al.*, 2008).

El exceso de sodio afecta la estructura, aireación y permeabilidad del suelo, y esto interfiere en el crecimiento de la mayoría de los cultivos. (Porta *et al.*, 1994; Hillel, 1998; Keren, 2000; Ramos *et al.*, 2009).

Para la corrección de este tipo de deficiencias nutricionales se han propuesto diferentes compuestos mejoradores a los fines de disminuir el pH de los suelos alcalinos, tales como el azufre elemental (S⁰), azufre elemental micronizado pretratado (SEP), yeso (CaSO₄ 2H₂O), ácido sulfúrico (SO₄H₂), tiosulfato de amonio y de potasio (S₂O₃NH₄, S₂O₃K₂) y el polisulfuro de potasio, entre otros. La degradación de los compuestos en el suelo, sigue las siguientes reacciones químicas básicas dependiendo del contenido de calcio:

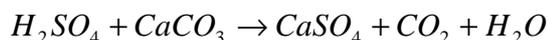
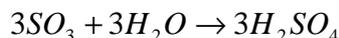
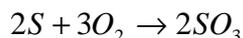
- Para suelos que no poseen calcio o es escaso (< 2.000mg/ kg de suelo): Ej: Yeso



Donde: X: matriz del suelo; NaX: sodio adsorbido a la matriz del suelo; CaSO₄: sulfato de calcio; CaX₂: calcio adsorbido a la matriz del suelo; Na₂SO₄: sulfato de sodio

- Para suelos que poseen calcio. Ej: azufre elemental

Bacterias



Donde: X: matriz del suelo; NaX: sodio adsorbido a la matriz del suelo; CaSO₄: sulfato de calcio; Na₂SO₄: sulfato de sodio; CO₃Ca: carbonato de calcio; CO₂: dióxido de carbono; SO₃: trióxido de azufre; H₂SO₄: ácido sulfúrico; H₂O: agua; S: azufre; O₂: oxígeno

Estudios a campo realizados sobre suelos con altos contenidos de carbonato de calcio (CO₃Ca) en México utilizados para la producción de limón, indican que los mejoradores de suelo más promisorios desde el punto de vista agronómico y económico para dicho cultivo fueron el azufre elemental (S⁰), el tiosulfato de potasio (KTS) y el tiosulfato de amonio (Pérez Zamora, 2002).

En el caso de la utilización de azufre elemental (S⁰) como enmienda para disminuir el pH del suelo, ensayos de laboratorio dan cuenta de su elevada efectividad (Sierra *et al.*, 2007; Tysko y Gutiérrez Boem, 2008), quienes afirman que tanto el tamaño de partícula de la enmienda como la textura, contenido de materia orgánica y contenido de carbonato de calcio tienen influencia en el descenso de pH y en el tiempo necesario para alcanzar el pH deseado (Sholeh *et al.*, 1997; Horowitz y Meurer, 2007; Sierra *et al.*, 2007).

Los ensayos de remediación de suelos del norte de Chile revelan que las características físico-químicas que más influyeron sobre la magnitud del efecto acidificante con azufre elemental (S⁰) fueron los contenidos de carbonato de calcio (CO₃Ca) y materia orgánica. Las reducciones significativas de pH se presentaron en los suelos con una menor capacidad reguladora como consecuencia del menor contenido de carbonato de calcio y materia orgánica (Sierra *et al.*, 2007), en concordancia con lo afirmado por otros autores que

demuestran que el carbonato de calcio (CO_3Ca) reacciona con el ácido sulfúrico (SO_4H_2) producido por la oxidación biológica del azufre elemental (S°) y lo neutraliza, permitiendo al suelo tener una capacidad reguladora o tampón (Linderman *et al.*, 1991; Cienfuentes y Linderman, 1993; Miyamoto, 1998).

En función de lo expuesto y considerando:

- Que la actividad agropecuaria analizada en este trabajo genera impactos negativos sobre el suelo, que fueron especificados y mensurados a lo largo del capítulo 2 del presente trabajo.
- Que los mencionados impactos pueden considerarse desde el punto de vista de la legislación ambiental como daño al ambiente en si mismo, ya que son efectos que se producen en la finca y que se manifiestan con el transcurso del tiempo (Cap.1, p.6).
- Que los efectos encontrados en el contexto del marco legal vigente en materia ambiental dan lugar al surgimiento de un problema económico para el propietario del emprendimiento por la obligatoriedad de subsanar o mitigar dicho impacto y por los efectos directos sobre los niveles de producción, y para la sociedad, debido a la disminución de la calidad del recurso suelo de la cual dependen los servicios ambientales y la productividad futura.
- Que en un contexto donde la toma de decisiones sobre la planificación y uso de los recursos se sustenta casi siempre en argumentos de orden económico sobre otros, la inexistencia de un valor monetario para dicha calidad ambiental hace difícil el reconocimiento o interpretación de que su disminución genere un costo económico. Esta falta de reconocimiento dificulta el diseño e implementación de medidas que incentiven su protección y gestión de manera de lograr un desarrollo sustentable.

En razón de estos considerandos, este capítulo estará dirigido a generar indicadores económicos que informen sobre el valor de los costos privados necesarios para atenuar los impactos identificados. Basado en ellos, se estimará el valor económico de los servicios ambientales que brinda el recurso suelo. Los resultados podrán ser posteriormente integrados a marcos de análisis más amplios de la problemática ambiental en la región y sus implicancias económicas, que escapan a este trabajo.

HIPÓTESIS DE TRABAJO⁴³

La degradación de las propiedades del suelo ocasionada por la tecnología de manejo productivo del cultivo de olivo, genera costos económicos de implicancia privada y social.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Valorar los costos económicos privados para mitigar el daño producido sobre el suelo y estimar el valor económico de los servicios ambientales afectados por dicho daño.

MATERIALES Y MÉTODOS

La funcionalidad del recurso suelo, de la cual derivan los servicios ambientales y su productividad futura, no poseen un mercado de intercambio y por ende un valor económico que permita una administración y gestión sustentable en el tiempo. A esos efectos se efectúa la valoración económica de los mismos a partir del Método de Costos Evitados o Inducidos, que responde a un análisis basado en los Costos.

⁴³ La hipótesis y el objetivo específico son los pertinentes a este capítulo.

El método considera a la calidad ambiental como un insumo o factor más de la producción, por lo que la función de producción de un bien X se expresa de siguiente manera:

$$X = X(V, K, q) \quad (3.3)$$

Donde: X: Bien producido; V: Factores fijos de la producción; K: factores variables de la producción; q: calidad ambiental

La expresión indica que la cantidad producida del bien X es función de factores fijos, variables y de la calidad ambiental. El deterioro de la calidad ambiental ocasionará un aumento de los costos de producción para mantener los niveles de producción del bien X. El incremento en los costos de carácter privado son beneficios que deja de percibir el productor y representan una medida estimada del valor de la calidad ambiental para la sociedad, bajo el supuesto de que la mencionada calidad vale al menos el costo de recomponerla.

Dado que en este caso, no se cuenta con información que ponga de manifiesto la relación existente entre la pérdida de la calidad ambiental del recurso suelo y los rendimientos del cultivo (función dosis-respuesta), manteniendo constante las otras variables que contribuyen al mismo (manejo del agua de riego, poda de fructificación, dotación de fertilizantes, etc); se realiza el presente análisis en base a la variante 'Costos de Mitigación' del citado método (Cap. 1, pág. 30), verificándose el cumplimiento de las siguientes consideraciones de aplicabilidad:

- Las encuestas realizadas al sector, revelan que un porcentaje minoritario⁴⁴ efectúa gastos defensivos mediante la aplicación de ácido sulfúrico de concentración 35% (SO₄H₂ 35%) en la línea de riego. Esto pone de manifiesto la percepción de un probable daño sobre

⁴⁴ Las encuestas indican a 2 empresas que llevan adelante estas prácticas. Representan el 10% de la superficie de la muestra (aproximadamente 500 ha).

las cantidades producidas y reconoce la necesidad de conservar las características del recurso suelo, condición para la aplicación de esta variante.

- El recurso suelo forma parte de la función de producción constituyendo un insumo más en el proceso productivo. Los resultados del estudio de la condición de estado efectuado en el capítulo precedente de este trabajo, revelan el grado en que se encuentran afectadas las propiedades físico-químicas del suelo, que influyen directamente en los servicios de almacenamiento de agua y provisión de nutrientes, los que a su vez influyen sobre los resultados productivos.

- La degradación del recurso suelo responde a una ‘función del daño’ establecida en el capítulo 2 del presente estudio (Ec. 2.15, pág.135), como consecuencia de la calidad del agua de riego utilizada; que puede mitigarse intensificando la utilización de bienes privados, enmiendas. Estas se comercializan en el mercado, por lo que poseen un precio.

La valoración de la funcionalidad del recurso suelo responsable de los servicios ambientales sería la mínima debido a: i) las limitaciones económicas de los agentes del sector productivo, debido a la alternancia de producción característica del olivo, que condiciona esta práctica a los años en los que se espera producción, y ii) que las consecuencias de estos cambios o daños ambientales son sólo percibidas por las personas afectadas directamente en el corto plazo, es decir los beneficiarios directos; no resultando posible estimar el valor del daño probable para el universo de personas que pueden encontrarse afectadas en el largo plazo.

El indicador utilizado en el presente estudio es el Valor Actual de Costos (VAC) que indica los costos a valor actual, destinados a mitigar los efectos causados a lo largo de un período de análisis de la situación u horizonte de análisis de 10 años⁴⁵. Este indicador

⁴⁵ Dado que el modelo de impacto utilizado para proyectar los efectos en el tiempo se produjo a partir de una serie de 9 años, no se considera prudente extender los resultados para un tiempo mayor al del estudio aquí realizado.

brindará una estimación monetaria del valor de la alteración de las funciones ambientales, de acuerdo al siguiente planteo:

- En la situación actual o sin mitigación para la gran mayoría de las empresas olivícolas de la región, el costo total de producción es igual a la suma de los costos directos e indirectos en los que se incurre para producir, según la Ec. 3.4.

$$VTCs/m = VCd + VCi \quad (3.4)$$

Donde: VTC s/m: Valor Total de Costos sin mitigación; VCd: valor de los costos de producción directos; VCi: Valor de los costos de producción indirectos

- A los efectos de recuperar la funcionalidad del recurso, se deberán realizar prácticas de mitigación incurriendo en mayores costos de producción. En consecuencia en la situación con mitigación, el costo total anual de producción queda expresado según la Ec. 3.5.

$$VTCc/m = VCd + VCi + VCa \quad (3.5)$$

Donde: VTC c/m: Valor total de Costos con mitigación; VCd: valor de los costos directos de producción ; VCi: Valor de los costos indirectos de producción; VCa: valor de los costos ambientales o de conservación del recurso.

- El incremento en el costo de producción por inclusión del costo ambiental reflejará la disminución del bienestar del productor, lo que será tomado como la valoración de la calidad ambiental. La misma viene dada por el diferencial de los costos de producción entre las dos situaciones planteadas, y se expresa como sigue:

$$\Delta CT = VCa \quad (3.6)$$

Donde: ΔCT : Diferencial del costo total de producción; VCa: Valor de los costos ambientales

La incorporación del diferencial de costos de producción en la ecuación de costos de la empresa, implicaría evitar que esos costos sean asumidos por la sociedad en su conjunto para recuperar la pérdida de bienestar producida por la pérdida de funcionalidad del recurso suelo y de los servicios ambientales, ocasionados por la utilización del mismo por parte del productor.

El valor actual de dichos costos ambientales que se producirán a lo largo de un cierto período de tiempo, se expresan a través del indicador Valor Actual de Costos (VAC), cuya expresión matemática se presenta a continuación.

$$VAC = \sum_{i=0}^n \frac{VCa}{(1+r)^i} \quad (3.7)$$

Donde: VAC: Valor Actual de Costos; VCa: Valor del Costo de ambiental o de remediación para el año i ; i : años considerados en el horizonte de análisis; r : Tasa de descuento; $(1+r)^i$: Factor de descuento

La condición de aplicabilidad de esta variante del Método de Costos Evitados requiere, como en este caso de la existencia de efectos físicos que sean evidentes y que tengan la posibilidad de mitigarse⁴⁶. En este caso dicha condición viene dada por la evolución del sodio intercambiable aportado por el agua de riego, en contraste con los valores de sodio intercambiable del suelo sin cultivar.

El valor los costos de mitigación a obtener en este capítulo requiere de la construcción de un modelo técnico de impacto de aproximación regional sobre el cual se calculará las necesidades de mitigación, utilizando los efectos físicos identificados y cuantificados en el capítulo 2 del presente estudio. Posteriormente y en base al mismo se efectuará la valoración económica.

⁴⁶ Mitigación: conjunto de medidas que se pueden tomar para contrarrestar o minimizar los impactos ambientales negativos que pudieran tener algunas intervenciones antrópicas.

MODELO DE IMPACTO DE APROXIMACIÓN REGIONAL

La variabilidad de los contenidos de sodio intercambiable encontrados en el suelo sin cultivar, y la variabilidad aún mayor de la respuesta del suelo ante diferentes calidades de agua de riego hacen impracticable el cálculo de las necesidades de enmienda para cada condición particular; por lo que se construyó un modelo que representa a una situación regional promedio.

El mismo indicará la condición promedio del recurso sin cultivar, los niveles máximos de afectación permitidos para el mismo bajo cultivo o meta ambiental⁴⁷, las calidades promedio de agua de irrigación, los porcentajes de superficie afectados por cada una de ellas; los que permitirán establecer las cantidades promedio de enmienda necesarias para mitigar los efectos en la región, a partir de las cuales se calcularán los costos.

Para lo cual se utilizaron los resultados de las encuestas al sector productivo, la información de las características del recurso sin y con cultivo de olivo, la característica promedio del agua de riego de la región y la función del daño producida por el agua de riego encontrada en el capítulo precedente de este trabajo (Ec. 2.15, pág. 135).

El modelo tiene en cuenta los siguientes supuestos: i) sobre el total de superficie implantada con olivo, aproximadamente 20.000 ha, el 34% (8.000 ha) es irrigada con aguas de riesgo moderado y el 60% (12.000 ha) es irrigada con aguas de riesgo severo. A esta última superficie se le descontará el 10% que comprende la superficie que realiza prácticas de mitigación según las encuestas realizadas al sector, por lo que se trabajará sobre 10.800 ha. La asignación de superficies en relación a la calidad de agua se sustenta en la uniformidad de caudales de las perforaciones que irrigan el cultivo del olivo, $275\text{m}^3/\text{h}$ ⁴⁸, y de los porcentajes obtenidos en la clasificación de aguas de riego del Valle

⁴⁷ Meta ambiental: Valor máximo permitido de un indicador o variable ambiental en un recurso. Utilizado en políticas de control ambiental para preservar la calidad de los mismos. (Manteiga, 2000)

⁴⁸ Dato de encuestas al sector.

Central, criterio PSS (Capítulo 2, Tabla 2.32, pág.129). El mismo se afirma en la inferencia del alcance regional del proceso de sodificación analizado en el capítulo 2, dada la relación encontrada entre la reacción del suelo y la calidad del agua de riego (Capítulo 2, Ec. 2.15, pág. 132); la confirmación del efecto de sodificación en los sitios de verificación y su mayor amplitud en ellos (Capítulo 2, Tabla 2.29, pág. 122); la amplia distribución geográfica de las muestra de agua utilizadas en este trabajo y la calificación obtenida de ellas (Capítulo 2, Fig. 2.5, pág. 81; Tabla 2.32, pág.127); ii) como valor de calidades de agua que irrigan el 34% y 60% de la superficie mencionada, se toma a los promedios de PS (Proporción de Sodio) del agua que integran el grupo de riesgo moderado (PSS 40%-60%, criterio modificado de calificación de riesgo del agua), y el grupo de riesgo severo (PSS > 60%, criterio modificado de calificación de riesgo del agua) ; iii) como valor de referencia regional de sodicidad del suelo sin cultivar se adopta el valor de sodio intercambiable promedio determinado en las muestras de las parcelas sin cultivo, el que indicará el valor del PSI para esta condición o Línea Base; iv) como nivel máximo de sodio intercambiable a admitir en el recurso suelo bajo producción se establecerá al valor máximo probable de encontrar en las parcelas sin cultivo, el que resultará en el valor de PSI máximo a admitir y a mantener en el tiempo, o Meta ambiental a cumplir para la condición bajo cultivo.

A continuación se expone la secuencia seguida y la metodología utilizada para los cálculos.

Proyección de índices físicos, situación sin mitigación

- Determinación del contenido de sodio intercambiable de los suelos sin cultivar del Valle Central de Catamarca (Línea Base, LB)

El contenido de sodio intercambiable de los suelos sin cultivar de la región, se calculó a partir de promediar los valores de dicho catión encontrados en las muestras de suelos de los testigos del caso de estudio y de los sitios de verificación.

- Determinación de las calidades de agua que irrigan el Valle Central

La determinación se efectuó promediando los valores de la Proporción de Sodio del agua de riego (PS) del grupo de aguas calificadas como de riesgo moderado y severo, utilizando para ello la información de la base de datos de agua.

- Determinación de los niveles de sodio intercambiable alcanzados al cabo de 9 años de cultivo

Para la obtención de los valores de PSI a alcanzar en el suelo al cabo de los 9 años de cultivo y para cada calidad promedio de agua de riego, se aplicaron los valores de PS determinados en el párrafo anterior, a la función de predicción de PSI denominada en este capítulo como Ec.3.10, surgida del capítulo 2 (Ec. 2.15, pág.132). Los niveles de sodio intercambiable para el 9º año de cultivo y para cada grupo de aguas, resultaron de dividir los valores de PSI obtenidos, por el promedio de la suma de bases intercambiables de las muestras de suelos sin cultivar del caso de estudio y los sitios de verificación (Ec. 3.9), según las siguientes ecuaciones:

$$PSI = \frac{Na_{int}}{(Na_{int} + K_{int} + Ca_{int} + Mg_{int})} \times 100 \quad (3.8)$$

Donde: PSI: Porcentaje de Sodio Intercambiable; Na int: Sodio intercambiable (meq); (Na_i+K_i+ Ca_i+ Mg_i): suma de bases intercambiables

Operando la Ecuación 3.8, se obtiene:

$$Na_{int\ j} = \frac{PSI \times (Na_{int} + K_{int} + Ca_{int} + Mg_{int})}{100} \quad (3.9)$$

Donde: $Na_{int\ j}$: sodio intercambiable para el año j de cultivo; Na_{int} : sodio intercambiable; K_{int} : potasio intercambiable; Ca_{int} : calcio intercambiable; Mg_{int} : magnesio intercambiable; j : año de cultivo (edad de plantación)

$$PSI = -15.75 + 13.61PS + 1.18Tcult \quad (3.10)$$

Donde: PSI: Porcentaje de Sodio Intercambiable; PS: Proporción de Sodio del agua de riego (meq/l); Tcul: tiempo de cultivo (años)

- Determinación de los niveles de sodio intercambiable alcanzados en los años intermedios de la serie

Se determinó en primer término, la tasa de incremento anual de sodio intercambiable debida a los aportes del agua de riego. Para ello se aplicaron los porcentajes de incrementos observados entre años en el caso de estudio, al valor resultante de la diferencia entre el contenido de sodio intercambiable logrado a los 9 años y el contenido promedio del suelo sin cultivar (Ec. 3.11). Los porcentajes de incremento del sodio intercambiable en el caso de estudio resultaron del 19 % para el 1° y 2° año de cultivo, del 2 % para el 3°, 4° y 5° año de cultivo y del 14 % a partir del año 6° de cultivo. Se asume que este último se mantendrá constante a lo largo del tiempo.

$$TINa_{int\ j} = (Na_{int\ 9} - Na_{int\ LB}) \times \% INa_{int\ j} \quad (3.11)$$

Donde: TINa intercambiable: tasa de incremento de sodio intercambiable para el año j de cultivo; j : años de cultivo; $Na_{int\ 9}$: contenido de sodio intercambiable al 9° año de cultivo; LB: contenido de sodio intercambiable del suelo sin cultivar; $\% INa_{int\ j}$: porcentaje de incremento de sodio intercambiable para el año j

Luego, el contenido de sodio intercambiable para el primer año de cultivo y los restantes para ambas calidades promedios de agua, se estimaron de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$Na_{int} 1 = TINA_{int} 1 + Na_{int} LB \quad (3.12)$$

Donde: Na int 1: sodio intercambiable para el 1° año de cultivo; TI año 1: tasa de incremento de sodio intercambiable para el 1° año de cultivo; Na int LB: contenido de sodio intercambiable del suelo sin cultivar;

$$Na_{int} j = Na_{int} (j-1) + TINA_{int} j \quad (3.13)$$

Donde: Na int j: sodio intercambiable para el año j de cultivo; año j: años de cultivo de 2 a 8; Na int (j-1): contenido de sodio intercambiable del año de cultivo anterior; TI Na int j: tasa de incremento de sodio intercambiable del año de cultivo j

- Proyección del contenido de sodio intercambiable en el tiempo

Se obtuvo restando a los valores obtenidos de las Ec. 3.12 y Ec. 3.13, los miliequivalentes de sodio intercambiable desplazados por el aporte de fertilizantes utilizados en el manejo técnico a partir del año 2007⁴⁹ (SolMix y tiosulfato de potasio, KTS) por lo que se considera su influencia solo para la proyección en el tiempo, según la Ec. 3.14. En consecuencia se asume que los contenidos de sodio intercambiable observados a campo y sobre los cuales se calcularon los contenidos iniciales del modelo, son producto solo del efecto del agua de riego.

$$Na_{int} ji = Na_{int} j(i-1) + TINA_{int} ji - Na_{int} j desp. fert. \quad (3.14)$$

Donde: Na int ji: sodio intercambiable del año j de cultivo en el año i de proyección; j: años de cultivo de la parcela; i: años del horizonte de análisis; Na int j año (i-1): miliequivalentes de sodio intercambiable de la parcela de j años de cultivo para el año anterior del horizonte de análisis; TINA int ji: tasa de incremento de sodio intercambiable de la parcela de j años de cultivo para el año del horizonte que se está evaluando; Na int ji desp. fert.: miliequivalentes de sodio intercambiable de la parcela de j años de cultivo desplazado por el aporte de fertilizantes para el año del horizonte que se está evaluando.

- Cálculo de la cantidad de sodio intercambiable desplazado por los fertilizantes

Se consideró: i) la profundidad de suelo a mitigar que fue estimada en 80 centímetros, sobre la base de que el cultivo frutal posee un sistema radicular que explora hasta los 2

⁴⁹ Las encuestas revelan un cambio en los insumos utilizados a partir de dicha fecha, producto de la modificación de los precios de los primeros.

metros de profundidad, y que el 75% del volumen de absorción de las raíces se produce hasta el 50% de la profundidad total explorada por las mismas; ii) el peso por hectárea del volumen de suelo explorado por las raíces hasta los 80 centímetros de profundidad a mitigar, utilizando para ello una densidad de referencia de $1,25^{50}$ g/cm³ y la densidad de plantación promedio emanada de las encuestas de 286 plantas por hectárea (Ec. 3.15); iii) la cantidad de azufre que posee cada fertilizante en base a su composición, para lo cual se promediaron las dosis de cada producto utilizadas por las empresas en cada año de cultivo, según información de las encuestas de relevamiento de tecnología del sector; iv) luego se convirtieron esas cantidades a miliequivalentes considerando que: 1 miliequivalente de azufre pesa 16 miligramos y puede desplazar a 1 miliequivalente de sodio del complejo de intercambio en 100 gramos de suelo; estas cantidades fueron remitidas al peso del volumen de suelo a corregir, obteniendo el peso equivalente de azufre capaz de desplazar 1 miliequivalente por hectárea en una profundidad de 80 centímetros, (Ec. 3.16); vi) las cantidades de azufre de las dosis de fertilizantes utilizadas fueron divididas por el peso equivalente de azufre, obteniéndose los miliequivalentes de fertilizante capaces de desplazar el mismo número de miliequivalentes de sodio intercambiable en los primeros 80 centímetros para una hectárea (Ec. 3.17); vii) por último dichos valores fueron afectados por un coeficiente de eficiencia de desplazamiento del 90%, ya que se asume que un 10 % se perderá por lixiviación provocada por el elevado milimetraje de agua de riego aplicado anualmente.

$$P_{vol.suelo}(kg / ha) = Vol.suelo_{exp/planta} \times N^{\circ} plantas / Ha \times \delta_{suelo} \quad (3.15)$$

Donde: P vol.suelo: peso del volumen de suelo; Vol. suelo exp./planta: volumen de suelo explorado por planta; N° plantas/ha: número de plantas por hectárea; δ : densidad del suelo

$$P_{Eq} S(kg / ha) = (16/1000000) \times P_{suelo} \times 10 \quad (3.16)$$

Donde: P Eq. S: peso equivalente de azufre; P suelo: peso del suelo

⁵⁰ Amorena J. 2009. (com. pers). Agua, Suelo y Clima. INTA- EEA Catamarca.

$$Fert.(meq) = \frac{PSdosisFert.}{P_{Eq.}S} * Coef.Efic.desplazamiento \quad (3.17)$$

Donde: Fert.: fertilizante capaz de desplazar 1 miliequivalente de sodio intercambiable; PS dosis Fert.: peso de azufre de la dosis de fertilizante; P_{Eq.}S: peso equivalente del azufre; Coef. Efic. desplazamiento: coeficiente de eficiencia de desplazamiento.

Proyección de índices físicos: Situación con mitigación

- Determinación del contenido máximo de sodio intercambiable del suelo bajo cultivo

La misma establece la cantidad máxima de sodio intercambiable por arriba de la cual se debería mitigar. Para ello se generó un intervalo de confianza⁵¹ para una probabilidad del 95%, con los valores de sodio intercambiable del suelo sin cultivo del caso de estudio y los sitios de verificación para las tres profundidades estudiadas. Se consideró, a los fines de este estudio, al valor mayor de los límites superiores de dichas profundidades como Nivel de Referencia (NR) o contenido máximo a aceptar en el recurso.

- Determinación de la cantidad de miliequivalentes de sodio intercambiable a desplazar

La misma no surge de la diferencia entre el nivel de referencia (NR) y la situación sin mitigación ya que este diferencial brinda un resultado acumulado, por lo que se consideró primero la ganancia anual neta de sodio intercambiable sobre el nivel de referencia (NR), dada por la siguiente ecuación:

⁵¹ Un intervalo de confianza de nivel α , es definido como un conjunto de valores del parámetro (intervalo) que con confianza $(1 - \alpha)$ 100% incluirían el valor del parámetro en la población, dado la variabilidad en la muestra y la forma de la distribución muestral del estimador. (Infostat, Manual del Usuario, 2008).

$$Gan.Na_{int} ji = NR - [Na_{int} ji - Na_{int} j(i-1)] \quad (3.18)$$

Donde: Gan.Naint ji: ganancia de sodio intercambiable para el año j de cultivo en el año i de proyección; j: edad de la parcela; i: años del horizonte de análisis; NR: nivel de referencia; Na int ji: contenido de sodio intercambiable de la parcela de j años de cultivo en el año i del horizonte de análisis; Na int j (i-1): contenido de sodio intercambiable de la parcela de j años de cultivo para el año anterior del horizonte de análisis para el que se está calculando.

Luego y teniendo en cuenta que para algunas parcelas no es posible reemplazar la totalidad del sodio intercambiable en un año, se operó cada año en particular de manera de cumplir con la condición establecida en la Ec.3.19. Se supuso un desplazamiento máximo de tres (3) miliequivalentes por año.

$$[Gan.Na_{int} ji + Na_{int} (i-1)] - Xji < 1 \quad (3.19)$$

Donde: Gan. Na int j año i: ganancia anual neta de sodio intercambiable sobre el nivel de referencia; Na int año (i-1): meq de sodio intercambiable que quedan sin reemplazar del año anterior; X ji: unidades necesarias para cumplir la condición <1, para la parcela de j años en el año i del horizonte de análisis.

Las unidades, X ji, necesarias para cumplir la condición de contenido <1 meq sobre el nivel de referencia (NR), constituyen la necesidad anual de remediación.

- Proyección de las cantidades de enmienda a utilizar

Se supone un esquema de tratamiento mediante la utilización de ácido sulfúrico de concentración 98 % (SO₄H₂ 98%), lo que se sustenta en: i) su utilización por una minoría del sector en una concentración menor; ii) que es una de las enmiendas más económicas en el mercado; iii) que está recomendado para suelos con elevado contenido de calcio con buenos resultados y de rápido efecto (Miramontes Flores *et al.*, 2008); y iv) por su facilidad de aplicación a través de la línea de riego.

Este tratamiento permitirá generar un ambiente edáfico más adecuado para el funcionamiento del sistema del suelo y fisiológico del cultivo, como se citó en estudios efectuados para otros frutales.

Se analizó la posibilidad de utilizar otros productos cuya eficiencia de desplazamiento es en apariencia superior como azufre elemental pretratado (SEP) y tiosulfato de potasio (KTS) (Pérez Zamora, 2002; Tysko y Gutiérrez Boem, 2008). Sin embargo, los mismos tienen un costo más elevado, lo que puede poner en peligro la aplicabilidad de esta práctica por riesgos a la sustentabilidad económica del sistema.

La cantidad de enmienda a utilizar para las parcelas de cada edad de plantación y en cada año del horizonte de análisis, se calculó de la siguiente manera:

$$Enm.ji(Ton/año) = Xji * (Toneq.Enm./Coef.Efic.) * (Coef.Sup. * Supj) \quad (3.20)$$

Donde: Enm. *ji*: cantidad de enmienda a aplicar en la parcela de *j* año de cultivo en el año *i* de proyección; *Xji*: unidades necesarias para cumplir la condición <1 (Ec. 3.11); Tn eq. Enm: toneladas de enmienda para desplazar 1 miliequivalente de sodio intercambiable; Coef. Efic.: coeficiente de eficiencia de desplazamiento de la enmienda; Coef. Sup: proporción de superficie olivícola del Valle que se irriga con cada calidad de agua; Sup. *j*: superficie olivícola del Valle implantada con parcelas de edad *j*.

El peso equivalente de la enmienda capaz de desplazar un (1) miliequivalente de sodio intercambiable en 80 cm de profundidad de suelo, se calculó considerando que el Peso Molecular de la enmienda dividido en 2, desplaza 1 miliequivalente de sodio intercambiable en 100 gramos de suelo. Este valor es remitido al peso del volumen de suelo a corregir y dividido por la proporción de pureza del producto, resulta en el peso equivalente de la enmienda.

Dicho valor fue afectado por un coeficiente de eficiencia de desplazamiento del 90%, ya que se asume que un 10 % se perderá por lixiviación provocada por el elevado milimetraje de agua aplicado anualmente.

Para el cálculo de la superficie olivícola implantada en el Valle Central de Catamarca implantada con parcelas de edad j , se afectó la superficie irrigada con cada calidad de agua por la composición de edades de las parcelas bajo cultivo observadas en la muestra de empresas encuestadas.

VALORACIÓN ECONÓMICA

La valoración económica del impacto sobre el suelo encontrado en el capítulo 2, se efectuó a partir del cálculo de los costos necesarios para mitigar los efectos de la sodificación. Estos representan el costo ambiental o valor económico del daño ambiental. Dicho costo está constituido por las necesidades de enmienda y los costos asociados de traslado, almacenamiento y aplicación.

Los costos de mitigación fueron calculados a precios privados debido a que los efectos negativos de las prácticas de producción son en la finca, por lo que repercuten en primer lugar sobre los intereses individuales del empresario. Tienen la finalidad de informar al dueño del emprendimiento productivo en que medida verá afectados sus ingresos si incorpora las actividades correctivas del daño ambiental.

Los costos privados se corregirán luego a valores sociales, de manera de informar al Estado sobre el valor que la sociedad le otorga a la funcionalidad del recurso y a los servicios ambientales que provee. Su pérdida indica la medida de las repercusiones del daño ambiental generado por la actividad productiva privada, sobre la riqueza (o bienestar) de la sociedad de la región donde se desarrolla dicha actividad.

Los enfoques privado y social son normalmente utilizados para la evaluación de proyectos de inversión⁵² según el carácter que revisten los mismos, de privado o público,

⁵² La evaluación económica de proyectos compara sus costos y beneficios económicos con el objeto de emitir un juicio sobre la conveniencia de ejecutar dichos proyectos en lugar de otros. (Fontaine, 1997). La evaluación privada persigue

adquiriendo relevancia la evaluación social o socioeconómica para el último tipo de proyectos. Teniendo en cuenta que el objeto de este apartado es valorar el costo ambiental⁵³ producto del impacto detectado, en este caso un efecto adverso de un proyecto en marcha, y atendiendo que para ello se toman elementos utilizados en el proceso de evaluación de proyectos, se resumen las diferencias básicas que atañen al caso que nos ocupa entre estos dos enfoques, a saber:

- **Beneficios privados y sociales:** el beneficio privado está representado por los ingresos que percibe el dueño del emprendimiento por la venta de los productos o servicios de un proyecto. El beneficio social refleja el valor que tiene para la sociedad el aumento en la disponibilidad de un determinado bien atribuible a un proyecto en marcha; por lo que además de los beneficios directos que genera el emprendimiento deben incluirse los beneficios por efectos indirectos y por externalidades positivas que su producción y el uso de insumos puedan generar sobre otros mercados o sobre terceros (Fontaine, 2008).

- **Costos privados y sociales:** el costo privado es aquel necesario para la adquisición de insumos, pago de servicios, cargas sociales, etc, necesarios para producir. El costo social mide los sacrificios de los recursos que el país/región debe realizar para lograr beneficios. Al igual que para los beneficios sociales, deben incluirse además los costos indirectos y el de las externalidades negativas (Fontaine, 2008).

- **Precios privados y sociales:** Para la determinación de beneficios y costos de un proyecto/ actividad o efecto en este caso, se requiere de los precios de productos o

establecer el aumento que en la riqueza de su dueño provocará su ejecución a través del Valor Presente de los Beneficios Netos privados legítimamente atribuibles al proyecto, descontados a la 'tasa de costo del capital' que tiene el dueño del mismo. La evaluación social de un proyecto persigue establecer el aumento que en la riqueza del país provocará su ejecución, a través del Valor Presente del flujo de Beneficios y Costos Sociales legítimamente atribuibles al proyecto, descontados a la llamada 'tasa social' (o nacional) de descuento. En este tipo de evaluación los beneficios y costos no se limitan solo a los efectos directos debido a la producción del proyecto, sino que se incluyen los efectos indirectos y las externalidades que la producción y uso de insumos puedan generar sobre otros mercados relacionados o sobre terceros. (Fontaine, 2008)

⁵³ La valoración de beneficios y costos, consiste en transformar las unidades físicas en indicadores económicos, mediante los precios de los bienes producidos y los recursos utilizados (Contreras, 2004). Valorar el costo ambiental, implica encontrar un indicador monetario que permita determinar el valor de una alteración desfavorable en el medio natural provocada por una acción o actividad económica. (Osorio Múnera y Correa Restrepo, 2009)

insumos. El precio privado de un bien/servicio (insumo) está representado por su valor de intercambio en el mercado. El precio social de un bien/servicio (insumo) considera el verdadero costo o beneficio que presenta para la sociedad utilizar o disponer de una unidad más del producto (insumo). Estos valores reflejan la escasez relativa de los distintos recursos, por ejemplo en comercio exterior (precio social de la divisa), en el empleo (precio social de la mano de obra), mercado de capitales (tasa social de descuento), entre otros (Contreras, 2004). Como el mercado posee distorsiones o fallas que se originan por la existencia de impuestos, subsidios, cuotas, precios mínimos, precios máximos, monopolios, monopsonios, externalidades, etc., los precios privados no reflejen el valor real de la escasez o abundancia de los recursos; por lo que su valor privado no es igual al valor social. En consecuencia es necesario corregir los precios privados eliminando esas distorsiones para transformarlos en valores sociales. No se calculan precios sociales de todos los bienes e insumos, sólo se computan los llamados precios sociales o precios sombra o de cuenta 'básicos', a saber: del capital, las divisas, la mano de obra (desagregada en tres categorías, calificada, semicalificada y no calificada), el tiempo, el combustible y los lubricantes. Estos son generalmente calculados a nivel nacional por los organismos de planificación, quienes los entregan como dato a los evaluadores. (Contreras, 2004)

- Tasa de descuento privada y social: utilizada para traer al presente montos de dinero que representan costos y/o beneficios futuros, implica en la valoración privada el costo del capital para la empresa. La tasa social de descuento representa el costo en que incurre la sociedad cuando el sector público extrae recursos para financiar sus proyectos. Estos recursos provienen de las siguientes fuentes: de menor consumo (mayor ahorro), de menor inversión privada y del sector externo. Por lo tanto, depende de la tasa de preferencia ínter temporal del consumo, de la rentabilidad marginal del sector privado y de la tasa de interés de los créditos externos.

El cálculo de los precios sociales de los recursos básicos mencionados y el de los insumos responde a la Ec. 3.21⁵⁴. En la práctica se utilizan ecuaciones simplificadas en función de la información disponible que brinda el estado y que se detallan más adelante.

$$P^* = \alpha P^d + (1 - \alpha) P^s \quad (3.21)$$

Donde: P*: precio social; α : valor que depende de las elasticidades precio de la demanda y de oferta del bien, servicio o insumo; P^d: precio de demanda; P^s: precio de oferta.

Para la determinación del precio social P* de la Mano de obra⁵⁵, P^d o precio de demanda es el salario bruto que pagan los empleadores; P^s es el precio de oferta o el salario mínimo por el cuál un trabajador estaría dispuesto a trabajar. La diferencia entre ellos representan los descuentos que se efectúan a los salarios (Ec. 3.21). Siendo los ponderadores α y $(1-\alpha)$ proporcionales a los porcentajes en que la nueva mano de obra empleada en el proyecto proviene de las fuentes: incorporación de nueva mano de obra al mercado laboral (valorada a P^s) y trabajadores que abandonan su antiguo empleo para incorporarse al proyecto (valorados a P^d).

Para el cálculo de la tasa social de descuento, P^s o precio de oferta es el tipo de interés del ahorro interno o tasa a la cual los oferentes están dispuestos a colocar sus excedentes de dinero en el mercado de capitales. Este capital es demandado por inversionistas, por lo que el precio de demanda P^d es la tasa a la que toman el capital los mismos. La diferencia entre el precio de demanda y el de oferta viene dado por los impuestos a las ganancias de las empresas y las personas. Los ponderadores α y $(1-\alpha)$ son proporcionales a los porcentajes en que la unidad adicional de capital que demanda el proyecto o actividad provienen de incrementos del ahorro interno (valorada a P^s) y de disminución de inversiones por parte de otros demandantes de capital, valoradas a al precio P^d (rentabilidad marginal de las inversiones privadas)

⁵⁴ La Evaluación privada y social de proyectos: El rol del Estado (Fontaine, 2008).

⁵⁵ Evaluación social de inversiones públicas. Manual N° 37, pág 43 (Contreras, 2004).

Para el cálculo del precio social de la divisa, el precio de oferta P^s de la Ec. 3.21 representa al tipo de cambio real para la divisa al cual el sector exportador transa sus ingresos por venta en el extranjero, por moneda nacional. Los exportadores son este caso los oferentes del insumo divisas, y este insumo es demandado por el sector importador a un precio P^d representado por el tipo de cambio para los importadores. La diferencia entre el precio de demanda y el de oferta en este mercado está dada por la distorsión asociada al arancel de las importaciones y los posibles subsidios a las exportaciones. Los ponderadores α y $(1-\alpha)$ son proporcionales a los porcentajes en que la unidad adicional de divisas que demanda la actividad o proyecto proviene del incremento de las exportaciones (valoradas a P^s) y de disminución de importaciones por parte de otros demandantes de divisas.

El precio social, P^* de un bien o servicio no transable⁵⁶ o de producción nacional, es un promedio ponderado del precio que deben pagar los consumidores o usuarios de los bienes y servicios, o precio de demanda P^d y el precio que perciben los oferentes de esos bienes y servicios, llamado precio de oferta P^s . Donde α asume un valor que depende de las elasticidades precio de la demanda⁵⁷ y de la oferta⁵⁸ del bien o servicio en cuestión. (Ec. 3.21)

En el caso que nos ocupa y por motivos mencionados en párrafos anteriores, la valoración se efectuará mediante la variable costos y el indicador VAC (Ec. 3.7, pág.163). Se consideraron como componentes del valor de los costos de mitigación o costos ambientales al precio de la enmienda y su flete, a la inversión en tanques para almacenamiento de la enmienda y al capital de trabajo necesario para financiar la práctica de mitigación. No se consideraron los costos de su aplicación, mantenimiento y recambio de equipos, seguros del personal ya que se incurre en ellos aunque no se aplique la misma,

⁵⁶ En el caso de un bien transable, el P^* ya sean importables o exportables, es igual a su precio internacional en el puerto del país de origen (CIF *Cost, Insurance and Freight* para importables y FOB *Free On Board* para exportables) multiplicado por el tipo de cambio social. (Fontaine, 2008)

⁵⁷ La elasticidad de la demanda es la relación entre el porcentaje en que varía la cantidad demandada de un bien cuando su precio varía en un uno por ciento. Mide la cantidad demandada de un bien ante una variación de precio.

⁵⁸ La elasticidad de la oferta es la relación entre el porcentaje en que varía la cantidad ofrecida de un bien cuando su precio varía en un uno por ciento. Mide la cantidad ofrecida ante una variación de precios.

puesto que la enmienda es inyectada en forma directa a través del sistema en la línea de riego⁵⁹ junto a otros productos.

Estimación del Costo de Mitigación

Esta tiene por finalidad estimar en base a los supuestos asumidos para realizar este trabajo, el diferencial de costos a asumir por el sector privado para mitigar y mantener las condiciones del suelo para un período de tiempo futuro de 10 años.

El insumo considerado en este trabajo para efectuar la práctica de mitigación, es el ácido sulfúrico de concentración 98%. Su precio a valores privados y el de su flete resultaron de descontar el IVA⁶⁰ a los precios de mercado. A estos precios sin impuesto se los corrigió mediante el Índice de precios mayoristas de nivel general para transformarlos a pesos constantes al año 2010. La proyección en el tiempo se efectuó con los valores promedios de las series a precio constante.

Las inversiones consideradas en este análisis se encuentran representadas por tanques de almacenamiento de polietileno de media densidad, de capacidad de 10,8 toneladas de producto (6.000 litros). Las unidades de almacenamiento se encuentran asociadas a las perforaciones, debido a que el producto es inyectado por el equipo de riego situado junto a estas. El cálculo de la capacidad de los tanques se efectuó en función de las necesidades anuales para la región, asumiendo que la misma requerirá de recargas más frecuentes en los primeros tres años respecto al resto, de manera de evitar una estructura sobredimensionada. Dicha infraestructura se valoró a precio de mercado al que se le sustrajo el IVA. Se consideró que la inversión tiene una vida útil de 5 años y no posee valor residual al cabo de ese período.

⁵⁹ Fuente: empresas La Bella S.A y Cerro Guacho S.A

⁶⁰ Impuesto al valor agregado.

Para completar el análisis de costos desde el punto de vista privado, se incluye el Capital de Trabajo⁶¹ necesario para efectuar la práctica de mitigación, destinado a adquirir la enmienda y costear su flete. La cuota considerada es igual al máximo valor de la enmienda más su flete obtenido en la serie de años analizados en este trabajo.

El valor de los costos ambientales para cada año del período analizado, se representa en la Ec. 3.22.

$$VCa_i = X_{Ei} (P_{Ei} + P_{Fi}) + I_i + CT_i - VRI_i \quad (3.22)$$

Donde: VCai: valor del costo ambiental para el año i del horizonte de análisis; X_{Ei}: cantidad de enmienda necesaria para el año i del horizonte de análisis; P_{Ei}: precio de la enmienda para el año i del horizonte de análisis; P_{Fi}: precio del flete para el año i del horizonte de análisis; I_i: inversiones para el año i del horizonte de análisis; CT_i: capital de trabajo necesario para operar en el año i del horizonte de análisis; VRI_i: valor residual de las inversiones para el año i.

Los costos anuales obtenidos a lo largo del horizonte de análisis, se trajeron al momento presente para obtener el Valor Actual de Costos de Mitigación para cada situación de aguas, según la Ec. 3.7 (pág.163). En razón de que se trabaja sobre una situación modelo y como tal representa a todos los emprendimientos pero a ninguno en particular, se asume a los fines de este trabajo una tasa de descuento igual a la tasa interna de retorno (TIR⁶²) de los proyectos de producción de olivos de la región⁶³. Dichos proyectos evaluados en un horizonte de 20 años y para una escala de 200 ha, presentaron una TIR del 13%. Esta escala es muy cercana a la superficie promedio de las empresas que desarrollan sus actividades en el Valle Central de Catamarca, y al promedio de superficie de los emprendimientos productivos de la muestra que asciende a 350 ha.

⁶¹ Capital necesario para financiar la práctica de mitigación hasta el momento que se recupera el capital mediante la venta de la producción. El monto recuperado se destina a financiar el siguiente ciclo productivo.

⁶² Tasa Interna de Retorno: tasa para la cual el VAN (Valor Actual Neto) es igual a 0 y es tomada como medida de la rentabilidad de un proyecto. (Falconí y Burbano, 2004)

⁶³ Análisis económico financiero de la producción primaria intensiva y su integración con la industria (Alderete Salas y Villa, 2000. Congreso Internacional Arauco)

Se utilizó el indicador Costo Anual Equivalente (CAE) para informar del costo anual de mitigación para la superficie afectada por la calidad severa del agua de riego en el Valle Central (Ec. 3.23). Este se refirió a unidad de superficie a los fines de informar el costo de la práctica de mitigación por hectárea durante el período de tiempo analizado.

$$CAE = VAC \times \left[\frac{r \times (1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right] \quad (3.23)$$

Donde: CAE: costo anual equivalente; VAC: valor actual de costos; r: tasa de descuento; n: años del horizonte de análisis

Por último se procedió a sensibilizar el Valor de los Costos de mitigación a los efectos de poner de manifiesto su variación ante modificaciones en el precio de la enmienda, del flete y del costo de oportunidad del capital privado. La sensibilización utilizando tasas de descuento diferentes, se realiza debido a que la mayoría de las empresas olivícolas pertenecen a grupos económicos que participan en otros sectores de la economía. En función de ello se estima que dichas tasas de rendimiento pueden representar al menos en parte al sector olivícola. Las condiciones asumidas fueron las siguientes:

- Incremento del precio de la enmienda y flete en un porcentaje igual a las variaciones de precio obtenidas en las series utilizadas.
- Tasa de descuento similar a la obtenida como de rendimiento promedio del sector de alimentos, período 2005-2009.
- Tasa de descuento similar a la obtenida como de rendimiento promedio para la economía del país, período 2005-2009.

Estimación del valor de los Servicios Ambientales: ajuste del precio del flete y la tasa de descuento

La misma tiene por finalidad informar al Estado sobre el valor estimado de la funcionalidad del recurso y los servicios ambientales que brinda, medido de manera indirecta a partir de los costos de mitigación.

Para efectuar la mencionada valoración se procedió a corregir los precios de los ítems considerados en el análisis privado para obtener sus valores sociales⁶⁴ o precio sombra, de tal manera de disminuir las distorsiones que se producen en el mercado del insumo por la existencia de impuestos en el precio de los mismos, y en el mercado del trabajo por las discrepancias entre el precio de demanda y oferta para situaciones que no revisten pleno empleo.

La corrección del precio de los insumos se realiza descontando los impuestos al precio de mercado (Ec. 3.24).

$$PSBnt = PMB_{c/I} * \frac{1}{(1 + \% impuestos)} \quad (3.24)$$

Donde: PSBnt: precio social para un bien no transable; PMB c/I: precio de mercado del bien con impuesto; % impuestos: IVA en el caso de insumos e IVA más impuestos internos en el caso de combustibles.

En el caso particular de la enmienda su valor social resulta igual al valor privado sin IVA, dado que se trata de un insumo de producción nacional⁶⁵ que no se encuentra gravado con otros impuestos.

En razón de que se parte del valor de flete por tonelada de producto y a los efectos de ajustar su valor privado a social, se procedió a descomponer el mismo en sus componentes principales según los siguientes porcentajes: 42% de combustible, 24,5 % de mano de obra y 33,5% de otros gastos. Los porcentajes de referencia utilizados surgen de la composición del precio del transporte interurbano, elaborado por la Universidad Tecnológica Nacional⁶⁶

⁶⁴ Fontaine, 2008, sugiere la utilización del vocablo 'nacional' en reemplazo del social, para reflejar el punto de vista del Estado en la Evaluación de Proyectos o como en el caso que nos ocupa una valoración a precios sociales; a los fines de evitar que se sugieran cosas que estas técnicas de análisis no pueden medir o valorar.

²⁶ En los insumos no transables la diferencia entre el precio social y el privado está dada por los impuestos internos.

⁶⁶ Se utilizó el trabajo de la Universidad Tecnológica Nacional como fuente en razón de que la Subsecretaría de Transporte de la Nación no provee dicha información, y no se accedió a otra fuente confiable que brinde la información requerida.

(2005) en base a información provista por la FADEEAC⁶⁷ y MIP⁶⁸. De acuerdo a la fuente citada, los rubros combustible y mano de obra **constituyen el 66,5% del precio del flete.**

La corrección del valor privado del combustible a valores sociales se efectuó utilizando la Ec.3.24. Dicha ecuación se aplicó a la proporción del monto privado del flete (sin IVA) que corresponde a combustible, a los efectos de sustraerle el 22 % de impuestos internos⁶⁹. En este trabajo el combustible es considerado como de producción nacional⁷⁰.

El precio social de la mano de obra se obtuvo a partir de la siguiente ecuación simplificada⁷¹:

$$PSMO = g * PB \quad (3.25)$$

Donde: PSMO: precio social de la mano de obra, g: factor de corrección, y PB: salario bruto o costo para el empleador de la mano de obra (costo privado).

La proporción del costo privado del flete que corresponde al rubro Mano de Obra fue afectado por el factor de corrección 0.83⁷² o valor g, de la Ec. 3.25. Dicho coeficiente es el indicado como de referencia para la categoría semi-calificada⁷³ para el cálculo del precio social de la mano de obra en los proyectos de inversión pública de la provincia de Catamarca.

⁶⁷ **Federación Argentina de Entidades Empresarias del Auto transporte de Cargas, extraído de El Transporte automotor de cargas en la Argentina (UTN, 2005).**

⁶⁸ Matriz Insumo-Producto de la Economía Argentina del año 2003, extraído de **El Transporte automotor de cargas en la Argentina (UTN, 2005).**

⁶⁹ Impuesto a la transferencia de combustibles, Ley 26.454/08.

⁷⁰ Se asume a los fines de este trabajo, que la totalidad del gas oil es de origen nacional en razón del bajo porcentaje de importaciones, 5%, para el período 2006-2009 (Secretaría de Energía de la Nación) y la reciente Resolución de la mencionada Secretaría N° 554/10, que incrementa la proporción al 7% de biocombustible (bioetanol) a ser mezclada con gas oil para sustituir las importaciones.

⁷¹ La utilización de la ecuación simplificada, responde al tipo de coeficiente que brinda el Estado para el cálculo de los valores sociales. El coeficiente 'g' indica la relación entre el precio social de la MO y su precio privado.

⁷² Dato provisto por la Unidad Sectorial de Inversiones (USI). Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la Provincia de Catamarca, 2008.

⁷³ Mano de obra semi-calificada: aquellos trabajadores que desempeñan actividades para las cuales no se requiere estudios previos y que, teniendo experiencia, ésta no es suficiente para ser clasificados como maestros de primera. Está conformada también por albañiles, pintores, carpinteros u otros.

Para el cálculo del Valor Actual del Costo a precios sociales (VAC, Ec. 3.7, pág. 163) se utilizó una tasa de descuento del 10 %, y representa el costo de oportunidad del capital⁷⁴. La mencionada tasa está compuesta por la tasa sin riesgo normalmente atribuida a los bonos a 10 años del tesoro de EEUU, 3,28%⁷⁵ y la prima por riesgo país, 6,78 %⁷⁶.

Como complemento se utiliza el indicador Valor Actual de Costos por hectárea (VAC/ha) quien informa del valor actual de costos por unidad de superficie, el que resulta de dividir el Valor Actual de Costos obtenido por la superficie irrigada con la calidad de agua de riego que se analiza.

El valor de los servicios ambientales se sensibilizó utilizando dos tasas de descuento diferentes, a saber:

- tasa de descuento del 12%, convención utilizada por el gobierno provincial para el análisis de los proyectos de inversión de sus fondos públicos⁷⁷.
- tasa social de preferencia temporal⁷⁸ del 3,5% para el período comprendido entre 0-30 años, utilizada para proyectos de largo plazo que involucran recursos ambientales. Esta tasa pretende brindar un enfoque más sustentable al uso de los recursos naturales, disminuyendo la preferencia por el consumo de la generación presente a favor de la generación futura. Dicha tasa es la primera de la serie de tasas decrecientes para descontar fondos de largo plazo propuesta por Treasury (Pasqual y Padilla, 2007) y difiere muy poco de la serie de tasas decrecientes obtenida por Weitzman que para ese período indica el 4% (Edwards, 2002; Pasqual y Padilla, 2007).

⁷⁴ Este enfoque considera que la tasa social de descuento debe reflejar la rentabilidad de los fondos necesarios para la financiación de proyectos públicos en la mejor inversión alternativa (Correa, 2006).

⁷⁵ Dato obtenido de <http://eleconomista.com.mx/mercados-estadisticas/2011/05/02/bonos-eu-operan-estables>

⁷⁶ Índice EMBI+ (*Emerging Markets Bond Index*), 2010.

⁷⁷ Unidad Sectorial de Inversiones. Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la provincia de Catamarca, 2008.

⁷⁸ Resume las preferencias de la sociedad por el consumo presente frente al consumo futuro (Correa, 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

MODELO DE IMPACTO DE APROXIMACIÓN REGIONAL

Proyección de índices físicos: Situación sin mitigación

- Calidades de agua de riego

Los valores promedios de la Proporción de Sodio (PS) para el grupo de aguas calificadas como de riesgo moderado⁷⁹ que irrigan el 34% (8.000 ha) de la superficie olivícola del Valle, resultó en un PS de 1,04, mientras que ascendió a un valor de PS de 2,99 para el grupo calificadas como severas, las que irrigan el 60% (12.000 ha) de la superficie olivícola.

Nótese que el valor de PS que resultó como promedio para el grupo calificado como de moderado riesgo de sodicidad, coincide con el valor de PS del agua que irrigan las parcelas del caso de estudio (Tabla 2.33, pág.134), cuyos efectos se mostraron en detalle en el capítulo 2 de este estudio.

- Contenido de sodio intercambiable del suelo sin cultivar o Línea Base (LB) y contenido inicial de las parcelas en cultivo

⁷⁹ Calificación obtenida en el Capítulo 2, Tabla N° 2.24, según criterio PSS (Porcentaje de Sodio Soluble) del agua de riego.

El contenido de sodio intercambiable del suelo sin cultivar (LB), resultó en 1,37⁸⁰ meq/100 g de suelo.

El contenido de sodio intercambiable encontrado a los 9 años de cultivo y para los años intermedios de la serie de tiempo de las parcelas en cultivo, se presentan en las Tablas 3.1 y 3.2, de acuerdo a las calidades del agua de riego.

El valor promedio de bases intercambiables del suelo encontrado ascendió a 29,2.

Los porcentajes de incremento anual de sodio intercambiable utilizados que surgieron de la serie temporal del caso de estudio fueron, del 19 % para el 1° y 2° año de cultivo, del 2 % para el 3°, 4° y 5° año de cultivo y del 14 % a partir del año 6° de cultivo. Se asume que este último se mantendrá constante a lo largo del tiempo. En base a estos incrementos anuales, se proyectó el contenido de sodio intercambiable para aguas de riesgo moderado (PS de 1,04) y de riesgo severo (PS de 2,99). (Tablas 3.1 y 3.2)

Tabla 3.1. Dosis respuesta del suelo para un agua de riego de calidad moderada (Proporción de Sodio de 1,04)

Años de cultivo	Tasa de incremento anual (meq/100g)	Na int (meq/100g)
0 (LB)	-	1,37
1	0,26	1,63
2	0,26	1,88
3	0,03	1,91
4	0,03	1,94
5	0,03	1,97
6	0,19	2,16
7	0,19	2,35
8	0,19	2,54
9	0,19	2,73

Referencias: LB: Línea Base o contenido promedio de sodio intercambiable del suelo sin cultivar; Na int. (meq/100 g): sodio intercambiable en miliequivalentes por 100 gramos de suelo.

⁸⁰ ANEXO 3: Tabla N° 2: Condiciones de fertilidad de los suelos- Estudio de Caso, Año 2007; Tabla N° 18 Análisis de suelo de los Sitios de Verificación.

Tabla 3.2. Dosis respuesta del suelo para un agua de riego de calidad severa (Proporción de Sodio de 2,99)

Años de cultivo	Tasa de incremento anual (meq/100g)	Na int (meq/100g)
0 (LB)	-	1,37
1	1,67	3,04
2	1,67	4,72
3	0,26	4,98
4	0,26	5,25
5	0,26	5,51
6	1,23	6,74
7	1,23	7,98
8	1,23	9,21
9	1,23	10,40

Referencias: LB: Línea Base o contenido promedio de sodio intercambiable del suelo sin cultivar; Na int. (meq/100 g): sodio intercambiable en miliequivalentes por 100 gramos de suelo.

Los contenidos de sodio intercambiable mostrados informan sobre la condición promedio alcanzada en el recurso por efecto del agua de riego según el tiempo de cultivo, a partir de los cuales se proyectará la evolución en el tiempo del sodio intercambiable para la situación sin mitigación.

De acuerdo a los valores obtenidos, la situación modelo parte de una Línea Base (LB) regional de sodio intercambiable de 1,37 meq/100g, lo que implica un valor de PSI de 4,69 para los suelos sin cultivar. El recurso irrigado con agua de calidad moderada y sin el aporte de azufre, alcanzaría al cabo de 9 años de cultivo valores promedios de sodio intercambiable de 2,73 meq/100g (Tabla 3.1). Este contenido supone un valor de PSI de 9,32 para el 34 % de la superficie olivícola que es regada con dicha calidad de agua, según los supuestos del modelo. El recurso irrigado con agua de calidad severa alcanza al cabo de 9 años de cultivo un valor promedio de sodio intercambiable de 10,40 meq/100g (Tabla 3.2). El mismo implica un valor de PSI de 35,62 para el 60 % de la superficie regada con agua de riesgo severo.

- Evolución del contenido de sodio intercambiable en el tiempo de análisis

La evolución del contenido de sodio intercambiable en el tiempo contempla la utilización de fertilizantes con azufre. El desplazamiento de sodio intercambiable del suelo permanece constante a partir del 9º año de cultivo, según información de las encuestas. Las proyecciones los mencionados contenidos para agua de riego de calidad moderada (PS de 1,04) y de calidad severa (PS de 2,99), se presentan en las Tablas 3.3 y 3.4 respectivamente.

Tabla 3.3. Situación sin mitigación: proyección del contenido de sodio intercambiable en el suelo (miliequivalentes por 100 gramos). Superficie irrigada con agua de calidad moderada

Tiempo de cultivo (años)	Horizonte de análisis									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,6	1,9	1,8	1,8	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
2	1,9	1,8	1,8	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3
3	1,9	1,8	1,7	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
4	1,9	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
5	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	3,0
6	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	3,0	3,1	3,2
7	2,3	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4
8	2,5	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5
9	2,7	2,8	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7

Tabla 3.4. Situación sin mitigación: proyección del contenido de sodio intercambiable en el suelo (miliequivalentes por 100 gramos). Superficie irrigada con agua de calidad severa

Tiempo de cultivo (años)	Horizonte de análisis									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3,0	4,7	4,9	5,1	5,2	6,3	7,5	8,6	9,8	10,9
2	4,7	4,9	5,1	5,2	6,3	7,5	8,7	9,8	11,0	12,1
3	5,0	5,1	5,3	6,4	7,6	8,7	9,9	11,0	12,2	13,3
4	5,2	5,4	6,5	7,7	8,8	10,0	11,1	12,3	13,4	14,6
5	5,5	6,6	7,8	9,0	10,1	11,3	12,4	13,6	14,7	15,9
6	6,7	7,9	9,1	10,2	11,4	12,5	13,7	14,8	16,0	17,1
7	8,0	9,1	10,3	11,4	12,6	13,7	14,9	16,0	17,2	18,3
8	9,2	10,4	11,5	12,7	13,8	15,0	16,1	17,3	18,4	19,6
9	10,4	11,6	12,7	13,9	15,0	16,2	17,3	18,5	19,6	20,8

En la Tabla 3.3 se muestra que en aguas de riesgo moderado, la evolución del contenido de sodio intercambiable se incrementa con el tiempo pero se mantiene por debajo o en el valor de la meta ambiental estimada para el horizonte futuro que se analiza. El incremento de sodio intercambiable es más elevado cuando se trata de aguas de riesgo severo, Tabla 3.4. En ella puede observarse que a partir del 2º año de cultivo se supera el contenido de sodio intercambiable máximo aceptable según los supuestos considerados en este trabajo.

Los resultados indican que para los suelos irrigados con agua de calidad moderada (PS de 1,04, Tabla 3.3), el agregado de azufre presente en los fertilizantes sería suficiente para moderar los efectos que el aporte de sodio del agua de riego produce sobre el suelo, motivo por el cual el recurso para el tiempo de análisis considerado, no requerirá aportes extras de los mismos para mitigar.

Dicho aporte resulta insuficiente para controlar el proceso de sodificación cuando se utiliza agua de riego de calidad severa (PS de 2,99, Tabla 3.4), caso que implica al 60 % de la superficie olivícola del Valle, por lo que la misma requiere de prácticas de mitigación.

Los aportes de azufre contenidos en los fertilizantes utilizados en el planteo tecnológico promedio, se muestran en la Tabla 3.5. En la misma se observa que las dosis de azufre aportado vía fertilizantes son superiores a las dosis de sodio aportadas por el agua de riego (Tasa de incremento, Tabla 3.2 pág.186) para las parcelas de hasta 4 años de cultivo, tiempo a partir del cual dicha relación se invierte resultando en la acumulación de sodio intercambiable en el perfil del suelo.

Tabla 3.5. Aportes promedio de azufre por fertilización efectuados al cultivo de olivo en Valle Central de Catamarca

Edad de las parcelas (años)	Dosis de SolMix 80-20 (kg/ha)	Aporte de S SolMix (kg/ha)	Dosis de KTS (kg/ha)	Aporte de S KTS (kg/ha)	Na int. desplazado SolMix (meq/100g)	Na int. desplazado KTS (meq/100g)	Total de Na int desplazado. Eficiencia 100 % (meq/100g)	Total de Na int desplazado. Eficiencia 90 % (meq/100g)
1	59,38	3,09	26,68	4,54	0,00	0,01	0,01	0,011
2	154,32	8,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,011
3	256,43	13,33	214,22	36,42	0,02	0,06	0,08	0,072
4	383,66	19,95	299,54	50,92	0,03	0,08	0,11	0,103
5	471,61	24,52	344,97	58,65	0,04	0,10	0,14	0,126
6	421,08	21,90	264,54	44,97	0,03	0,07	0,10	0,096
7	288,07	14,98	179,01	30,43	0,02	0,05	0,07	0,065
8	370,87	19,29	187,01	31,79	0,03	0,05	0,08	0,073
9	331,55	17,24	224,07	38,09	0,03	0,06	0,09	0,080
10	331,55	17,24	224,07	38,09	0,03	0,06	0,09	0,080

Referencias: S: azufre; KTS: tiosulfato de potasio; SolMix: marca comercial del fertilizante; Na int.: sodio intercambiable ; meq/ 100 g: miliequivalentes por 100 gramos de suelo.

Proyección de índices físicos: Situación con mitigación

- Contenido Máximo de Na intercambiable permitido

El Nivel de Referencia (NR) o contenido máximo de sodio intercambiable del suelo sin cultivar, por arriba del cual se realizarán prácticas de mitigación resultó en 3,66 miliequivalentes por 100 gramos; el dato fue obtenido a partir de generar intervalos de confianza con el contenido de sodio intercambiable de los suelos sin cultivar⁸¹. (Tabla 3.6)

Tabla 3.6. Intervalos de confianza bilateral para el contenido de sodio intercambiable del suelo sin cultivar

Prof. cm	Variable	Parámetro	Estimación	E.E.	n	LI(95%)	LS(95%)
0-40	Na int.	Media	0,49	0.30	5	0,01	1,07
40-80	Na int.	Media	1,96	0.88	6	0,40	3,66
80-120	Na int.	Media	1,97	0.70	6	0,55	3,36

Referencias : Prof. Cm: profundidad en centímetros; Na int: sodio intercambiable; Estimación: valor medio de sodio intercambiable para la esa profundidad, en miliequivalentes por 100 gramos de suelo; E.E: error; n: número de muestras; LI y LS: límites del intervalo de confianza con una probabilidad del 95%.

Para el NR de 3,66 meq/100g obtenido, surge un valor de PSI de 12,5 aplicando la Ec. 3.8 (pág.166). Este valor o meta ambiental indica que el recurso puede ser afectado por la actividad productiva 1,66 veces más que el valor promedio observado para el suelo sin cultivar, PSI de 4,69.

- Cantidad de sodio intercambiable a desplazar anualmente por la enmienda

⁸¹ ANEXO 3, Tabla 2. Condiciones de fertilidad de los suelos- Caso de estudio, año 2007; Tabla 18. Análisis de suelo de los sitios de verificación.

La ganancia neta anual de sodio intercambiable (meq/100g) sobre el Nivel de Referencia producto del balance entre el contenido del suelo, la disminución por el aporte de azufre y el agregado por el agua de riego, y la cantidad a desplazar por la enmienda sobre el dicho nivel se muestran en las Tablas 3.7 y 3.8.

Tabla 3.7. Ganancia neta anual de sodio intercambiable en miliequivalentes por hectárea para la superficie irrigada con agua de calidad severa

Tiempo de cultivo (años)	Horizonte de análisis									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,0	1,7	0,2	0,2	0,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2
2	1,1	0,2	0,2	0,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
3	1,3	0,2	0,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
4	1,6	0,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
5	1,9	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
6	3,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
7	4,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
8	5,6	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
9	6,7	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

Nota: los valores de la tabla son cantidades netas sobre el NR, por lo que a los mismos debe agregarse el valor de 3.66 (NR) para obtener el contenido total de sodio intercambiable.

Tabla 3.8. Sodio intercambiable en miliequivalentes por 100 gramos de suelo a desplazar con la enmienda. Superficie irrigada con agua de calidad severa

Tiempo de cultivo (años)	Horizonte de análisis									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
2	1	0	0	0	1	1	2	1	1	1
3	1	0	0	1	1	2	1	1	1	1
4	1	0	1	2	1	1	1	1	1	1
5	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1
6	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1
7	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1
8	3	3	1	2	1	1	1	1	1	1
9	3	3	3	1	1	1	1	1	1	2

Puede observarse en la Tabla 3.8 un período de remediación continuo para las parcelas de más de 5 años que dura alrededor de 3 años, a partir del cual dicho proceso se transforma en alternante lo que se explica por la magnitud que alcanza el proceso de sodificación a partir de dicho año de cultivo.

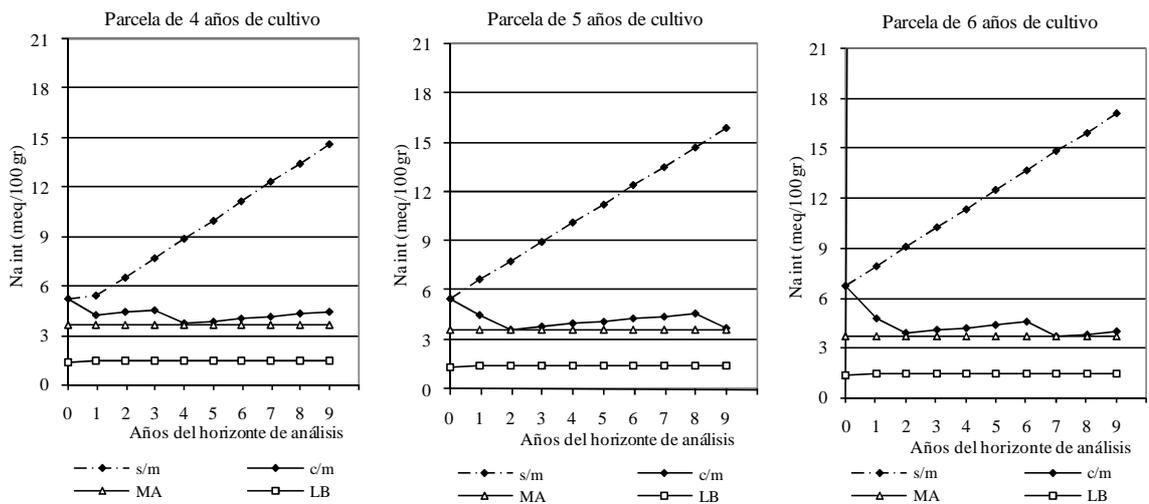
Finalmente el contenido del sodio intercambiable neto por arriba del nivel de referencia de 3,66 meq/100g luego de la práctica de mitigación (situación con mitigación), resultó según lo que se muestra en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Situación con mitigación: proyección del contenido de sodio intercambiable del suelo (miliequivalentes por 100 gramos). Superficie irrigada con agua de calidad severa

Tiempo de cultivo (años)	Horizonte de análisis									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0,7	0,9	0,0	0,1	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9
2	0,1	0,2	0,4	0,5	0,7	0,8	0,0	0,2	0,3	0,5
3	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	0,1	0,2	0,4	0,5	0,7
4	0,6	0,7	0,9	0,0	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9
5	0,9	0,0	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	0,1	0,2
6	1,1	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	0,0	0,2	0,3	0,5
7	2,3	1,5	0,6	0,8	0,9	0,1	0,2	0,4	0,5	0,7
8	2,6	0,7	0,9	0,0	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9
9	3,7	1,9	0,0	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	0,1

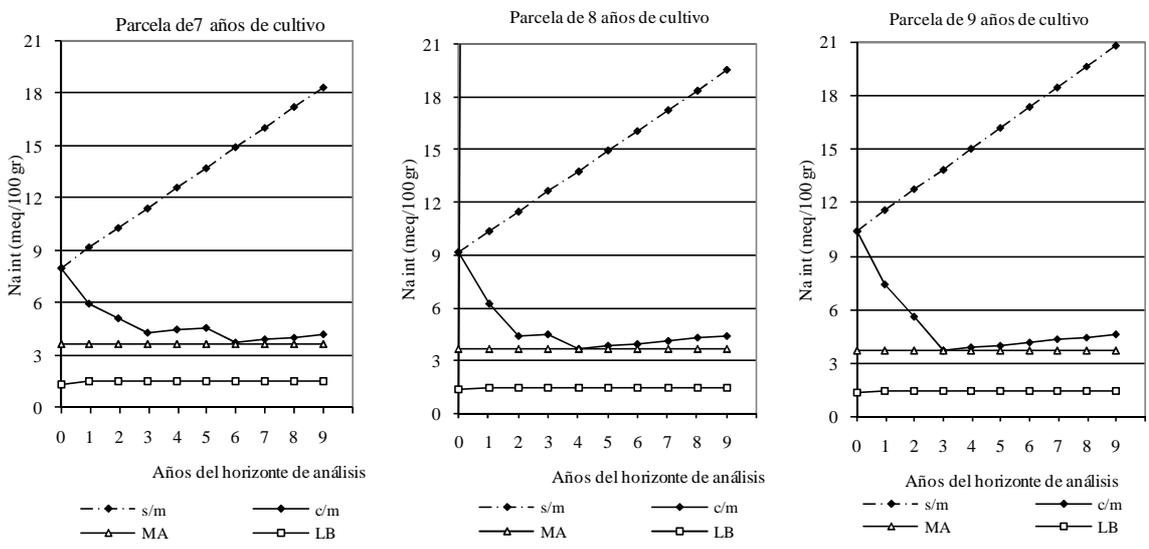
Nota: los valores de la tabla son cantidades netas sobre el NR, por lo que a los mismos debe agregarse el valor de 3.66 (NR) para obtener el contenido total de sodio intercambiable.

Se ilustra en las siguientes figuras la evolución del contenido de sodio intercambiable total en el suelo para las situaciones sin y con mitigación (Tablas 3.4, pág. 187 y 3.9), en relación a los parámetros del modelo de impacto, Nivel de Referencia o Meta Ambiental (NR o MA) y Línea Base (LB) del suelo sin cultivo. Las figuras muestran los resultados a partir del 4º año de cultivo como ejemplo de parcelas donde el efecto de sodificación puede mitigarse en 1, 2 y más años.



Referencias: s/m: sin mitigación; c/m: con mitigación, MA: meta ambiental; NR: nivel de referencia del suelo sin cultivar

Fig. 3.1. Evolución del contenido total de sodio intercambiable para las situaciones sin y con mitigación. Parcelas de 4, 5 y 6 años de cultivo



Referencias: s/m: sin mitigación; c/m: con mitigación, MA: meta ambiental; NR: nivel de referencia del suelo sin cultivar

Fig. 3.2. Evolución del contenido total de sodio intercambiable para las situaciones sin y con mitigación. Parcelas de 7, 8 y 9 años de cultivo

La situación con remediación del modelo (línea llena en las figuras) muestra oscilaciones alrededor del Nivel de Referencia, según el criterio adoptado en la Ec.3.17 (pág.170).

- Proyección de las cantidades de enmienda a utilizar

Las cantidades totales de enmienda necesaria para efectuar la corrección para el 60% de la superficie afectada del Valle Central de Catamarca, la cual es irrigada con agua de calidad severa (PS de 2,99), y mantener la situación alrededor del NR a lo largo del horizonte de análisis de esta problemática, se detallan en la Tabla 3.10.

Los resultados indican que las necesidades totales de enmienda para los primeros tres primeros años, son sensiblemente superiores al resto de los años por los motivos citados en los párrafos anteriores.

Tabla 3.10. Cantidad de enmienda (miles de toneladas) necesaria para mitigar la superficie irrigada con agua de calidad severa

Tiempo de cultivo (años)	Horizonte de análisis									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,00	2,41	0,00	2,41	0,00	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41
2	2,20	0,00	0,00	0,00	2,20	2,20	4,39	2,20	2,20	2,20
3	0,77	0,00	0,00	0,77	0,77	1,53	0,77	0,77	0,77	0,77
4	0,35	0,00	0,35	0,70	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
5	0,89	1,77	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	1,77	0,89
6	7,92	7,92	3,96	3,96	3,96	3,96	7,92	3,96	3,96	3,96
7	8,48	8,48	8,48	4,24	4,24	8,48	4,24	4,24	4,24	4,24
8	7,46	7,46	2,49	4,97	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49
9	25,12	25,12	25,12	8,37	8,37	8,37	8,37	8,37	8,37	16,75
Total (miles toneladas)	53,18	53,16	41,28	26,31	23,26	30,67	31,82	25,67	26,55	34,04

Para la obtención de los resultados precedentes, se consideró un peso equivalente del ácido sulfúrico (SO₄H₂ 98%) necesario para desplazar 1 meq/100g de suelo de sodio intercambiable para una profundidad de 80 cm, de 2.145 kg/ha; lo que implica una dosis de 7,5 kg de enmienda por árbol.

La superficie utilizada para el cálculo de las cantidades anuales totales de enmienda, surgió de considerar que el 60% de la superficie del Valle Central implantada con olivo es irrigada con calidad de agua severa con PS de 2,99. Dicho porcentaje implica aproximadamente a 12.000 ha. A esta cifra se le descontó el 10% de la superficie que ya realiza prácticas defensivas de mitigación, por lo que los cálculos se efectúan sobre 10.800 ha. Luego la asignación de superficie por edad de las parcelas bajo cultivo se calculó aplicando los porcentajes presentes en la muestra encuestada que se presentan en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11. Superficie de olivo irrigada con agua de calidad severa según edad de parcelas presentes en la muestra.

	Edad de las parcelas (años)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
% Superficie en la muestra	8%	8%	3%	1%	3%	14%	15%	9%	29%
Sup. Total del Valle (hectáreas)	1.015	925	323	148	373	1.668	1.785	1.046	3.526

VALORACIÓN ECONÓMICA

Estimación del Costo de mitigación

Para el cálculo de los costos se consideró el precio promedio de ácido sulfúrico de concentración noventa y ocho por ciento (98%) de la serie 2005-2010, que resultó en un

valor constante al 2010 de 971,49 \$/Tn⁸² (Tabla 3.12). La proyección en el tiempo se efectuó con este valor promedio.

Tabla 3.12. Precios de ácido sulfúrico sin impuestos, serie 2005-2010

	Años						Promedio
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
SO4H2 98% (\$ corrientes/Tn)	350,00	376,00	530,00	1384,00	1240,00	800,00	780,00
IPIB ⁸³ (Nivel general)	249,237	275,953	306,622	350,252	372,971	427,217	
SO4H2 98% (\$ constantes/Tn)	599,94	582,11	738,45	1688,13	1420,35	800,00	971,49
Variación de precios (%)		-3%	27%	129%	-16%	-44%	19%

El valor de referencia utilizado para el flete de la enmienda fue de 222,91 \$/Tn y resultó del promedio a pesos constantes al año 2010 (Tabla 3.13). El precio de mercado o pesos corrientes de la serie 2008-2010⁸⁴ considerados para este trabajo corresponden al precio al productor, y fueron relevados a empresas que realizan prácticas defensivas. Los precios de mercado o corrientes fueron transformados a precios constantes al año 2010, utilizando para ello el Índice de precios mayorista nivel general con la finalidad de eliminar el efecto de la inflación.

⁸⁴Fuente: Fabrica Militar Río Tercero (com. pers.). Dicha fuente se utiliza en razón de que es la más cercana a la región del Valle Central de Catamarca y permite un flete de menor valor.

⁸³ IPIB: Índice de precios internos básicos al por mayor de nivel general. Considera precios sin impuestos. INDEC, 2011.

⁸⁴ Fuente: Finca La Bella S.A (com.pers.). Dicha fuente no dispone de información de años anteriores al 2008 por lo que se trabaja con los datos de la serie mencionada.

Tabla 3.13. Precios del flete sin impuestos, serie 2008-2010

	Años			Promedio
	2008	2009	2010	
Precios corrientes (\$/Tn)	163,63	207,90	231,00	200,84
Índice IPIB (nivel general)	350,25	372,97	427,22	
Precios constantes 2010 (\$/Tn)	199,58	238,138	231,00	222,91
Variación de precios (%)		19%	-3%	8%

Se asume para el presente análisis una infraestructura de almacenamiento de dos tanques de polietileno de media densidad por cada perforación. Cada tanque posee una capacidad de 6.000 litros y equivale a 10,8 toneladas. Se abastecen con ello, las necesidades de almacenamiento de enmienda para mitigar 100 hectáreas, superficie promedio que irriga cada perforación. El función de ello, el número total de tanques necesarios para las 10.800 ha que se irrigan con agua de calidad severa asciende a 216. La capacidad de almacenamiento total asciende a 2.332 toneladas y el tiempo de recarga se muestra en la Tabla 3.14. El valor de referencia utilizado para esta estimación corresponde al precio del producto en 2010 y asciende a \$ 4.550 puesto en la finca⁸⁵ sin IVA totalizando un monto de inversión de \$ 983.500. Se consideran 5 años como vida útil al cabo de los cuales requieren ser renovados y no poseen valor residual.

Tabla 3.14. Frecuencia de recarga de tanques de almacenamiento

	Horizonte de análisis									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Frecuencia anual	23	23	18	11	10	13	14	11	11	15
Frecuencia mensual	0,5	0,5	0,7	1,1	1,2	0,9	0,9	1,1	1,1	0,8
Frecuencia en días	16	16	20	32	36	27	26	33	32	25

A los efectos de completar el análisis se estima la cuota de capital de trabajo necesaria en función del año de mayor requerimiento, que corresponde al año de inicio de este

⁸⁵ Fábrica de tanques de almacenamiento Sieler, Entre Ríos. Dato cedido por las empresas Cerro Guacho S.A, La Bella S.A.

análisis o año 0. Está compuesto por el capital necesario para la adquisición de las cantidades de enmienda (Tabla 3.10, pág. 196) y su flete (Tabla 3.13, pág. 197).

El costo total anual a lo largo del horizonte de análisis y el Valor Actual de los Costos de mitigación resultante, se muestra en Tabla 3.15.

A los fines poner de manifiesto la evolución del costo privado según el momento del cultivo en que se inician las prácticas de mitigación, se presentan los valores anuales de VAC/ha (Valor actual y total de costos para mitigar y mantener una hectárea durante 10 años) y CAE/ha (Costo anual medio para mitigar y mantener una hectárea) en la Tabla 3.16.

Tabla 3.15. Flujo de costos de mitigación. Valores privados

miles de pesos	Horizonte de análisis									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Enmienda	51.841,28	51.824,68	40.247,24	25.649,59	22.673,64	29.903,32	31.026,22	25.024,53	25.887,45	33.189,04
Flete	11.894,80	11.890,99	9.234,59	5.885,21	5.202,39	6.861,21	7.118,86	5.741,79	5.939,79	7.615,11
Tanques de almacenamiento	983,53					983,53				
Capital de trabajo	63.736,08	-20,40	-14.233,85	-17.947,02	-3.658,77	8.888,50	1.380,54	-7.378,75	1.060,91	-31.827,23
Costo Total	128.455,68	63.695,27	35.247,98	13.587,78	24.217,26	46.636,57	39.525,62	23.387,58	32.888,14	8.976,91
VAC (13%)	306.295,39									
CAE	55.133,17									
CAE/ha	5,10									

Referencias: VAC: valor actual de costos; CAE: costo anual equivalente; CAE/ha: costo anual equivalente por hectárea

Tabla 3.16. Proyección del Valor Actual de Costos y del Costo Anual Equivalente por hectárea.

Miles de Pesos	Años de cultivo								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
VAC/ha (13%)	11,05	12,57	14,71	17,04	21,18	24,32	26,73	30,29	33,73
CAE/ha	1,99	2,26	2,65	3,07	3,81	4,38	4,81	5,45	6,07

Referencias: VAC/ha: valor actual de costos por hectárea; CAE/ha: costo anual equivalente por hectárea.

Los resultados emanados del flujo de costos a valores privados (Tabla 3.15), indican que el monto de los costos a asumir por el sector privado para mitigar y mantener las 10.800 ha de recurso afectadas es de \$ 306.295.390. Este valor implica un Costo Anual Equivalente (CAE) de \$ 55.133.170. El indicador CAE/ha informa que el diferencial del costo de producción por hectárea o costo ambiental anual para la situación promedio, es de \$ 5.100/ha año.

El indicador VAC/ha (Tabla 3.16) para la tasa de descuento asumida en este trabajo como costo del capital privado, informa sobre el costo total a valor presente necesario para efectuar la corrección y el mantenimiento de una hectárea en los próximos 10 años, según el tiempo de cultivo de la parcela. Los valores de VAC/ha dan cuenta que el costo ambiental se triplica si en lugar de realizarlo desde el inicio de actividades se lo realiza a los 9 años de implantado el monte frutal.

El indicador CAE/ha (Tabla 3.16), da cuenta del costo promedio anual e informa que el ahorro de costos que se produce si se comienzan a mitigar los efectos a partir del 1° año de cultivo se duplica respecto de iniciarla a partir del 5° año y se triplica prácticamente al 9° año.

A los efectos de mostrar la sensibilidad que presenta el costo de mitigación estimado respecto a la variación de los precios de sus componentes y a la variación de la tasa de descuento asumida en este trabajo, se simularon situaciones con el 19% de incremento en el precios de la enmienda, de acuerdo al comportamiento observado en la serie de precios (Tabla 3.12, pág.196), y con el 8% de incremento para el flete de acuerdo al comportamiento de la serie de precios (Tabla 3.13, pág. 197).

Las tasas de descuento utilizadas para sensibilizar los costos se muestran en la Tabla 3.17 y su selección responde a criterios ya explicados (pág.180). Finalmente los costos de

mitigación, teniendo en cuenta las variaciones propuestas para el precio del insumo, flete y tasas de descuento se muestran en la Tabla 3.18.

Tabla 3.17. Rentabilidad de la economía y sector de alimentos, período 2005-2009

Años	Rentabilidad (%)	
	Economía	Sector alimentos
2005	6,4	4,4
2006	6,8	4,5
2007	7,1	9,7
2008	7,0	12,9
2009	6,2	9,1
Promedio	6,7	8,1

Fuente: AFIP, Informes sectoriales.

Tabla 3.18. Análisis de sensibilidad. Valores privados

Escenario	VAC	Diferencia
	miles de pesos	
Base de análisis	306.295,39	
Valor de Enmienda + 19%	353.396,12	15,4%
Valor del Flete + 8 %	310.845,75	1,5%
Tasa sector alimentos (8,1%)	338.045,50	10,4%
Tasa de economía (6,7%)	348.924,88	13,9%

La Tabla 3.18 indica que los costos de mitigación son más sensibles a variaciones en el precio de la enmienda sobre el resto de las variables analizadas, lo que es esperable dada la alta incidencia de la enmienda en dichos costos. El descenso en la tasa de descuento al nivel de rendimiento de la economía, resultaría en incrementos de los costos de mitigación muy similares al efecto incremento del precio de la enmienda.

Estimación del valor de los Servicios Ambientales: ajuste del precio del flete y la tasa de descuento.

De acuerdo a la metodología de Costos Evitados utilizada, los servicios ambientales valen al menos los costos de mitigar los efectos adversos del proceso de sodificación. En razón de ello el valor económico de los servicios ambientales se encuentra conformado por los costos de la enmienda, su flete y las inversiones en infraestructura para el almacenamiento de aquella.

Se trabajó con un valor social de enmienda de 971,49 \$/Tn. Dicho valor coincide con el valor privado sin impuestos, puesto que se trata de un bien de producción nacional. Surge como promedio de la serie a precios constantes al 2010 (Tabla 3.12, pág. 196).

Se consideró al valor promedio de la serie 2008-2010 a precio constante 2010 (Tabla 3.13, pág. 197), como valor privado de referencia del flete a los fines de descomponerlo en sus rubros principales y estimar su valor social (Materiales y Métodos, pág. 181 y 182). Dicho valor social resultó en 196,74 \$/Tn. Se presenta en la Tabla 3.19 los rubros principales que componen el flete, la participación de cada uno en el precio total, los precios privados de dichos rubros y los resultantes a valores sociales.

Tabla 3.19. Costo del flete de la enmienda por tonelada. Valores privados y sociales

Rubro	Composición del Flete ⁸⁶	Valor Privado (\$/Tn)	Valor Social (\$/Tn)
Combustible	42,0%	93,62	76,74
Mano de Obra	24,5%	54,61	45,33
Otros insumos ⁸⁷	33,5%	74,67	74,67
Costo Total (\$ constantes 2010)	100%	222,91	196,74

⁸⁶ Extraído de **El Transporte automotor de cargas en la Argentina (UTN, 2005)**.

⁸⁷ Se consideran dentro de este rubro a repuestos y cubiertas de origen nacional, por lo que su valor privado coincide con el valor social.

El precio social utilizado para los tanques de almacenamiento es igual a su precio privado ya que su producción es nacional. El mismo asciende a \$4.550 por unidad. Se considera que una vez agotado su período de uso de 5 años, no posee valor residual.

El flujo de costos de mitigación a valores sociales se muestra en la Tabla 3.20.

El valor estimado de los servicios ambientales, fue sensibilizado a partir de distintas tasas de descuento según lo expuesto en Materiales y Métodos (pág.183). Los resultados se muestran en la Tabla 3.21.

Tabla 3.20. Flujo de costos de mitigación. Valores sociales

Costos miles de pesos	Horizonte de análisis									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Enmienda	51.841,28	51.824,68	40.247,24	25.649,59	22.673,64	29.903,32	31.026,22	25.024,53	25.887,45	33.189,04
Flete	10.498,50	10.495,14	8.150,56	5.194,36	4.591,69	6.055,79	6.283,19	5.067,78	5.242,53	6.721,19
Tanques	983,53					983,53				
Capital de Trabajo	62.339,77	-19,96	-13.922,02	-17.553,85	-3.578,62	8.693,78	1.350,30	-7.217,10	1.037,67	-31.129,98
Costo Total	125.663,07	62.299,86	34.475,78	13.290,11	23.686,72	45.636,42	38.659,71	22.875,21	32.167,64	8.780,25
VAC (10 %)	317.582,84									
VAC/ha	29,38									

Referencias: VAC (10%): Valor Actual de Costos a una tasa de descuento del 10%; VAC/ha: Valor Actual de Costos por hectárea

Tabla 3.21. Análisis de sensibilidad. Valores sociales

Escenario	VAC	
	miles de pesos	Diferencia
Base de análisis	\$ 317.582,84	
Tasa de descuento provincial (12%)	\$ 305.272,15	-3,9%
Tasa de descuento largo plazo (3,5%)	\$ 369.393,07	16,3%

Para la metodología de evaluación utilizada los servicios ambientales que brinda el suelo valen al menos \$ 317.582.840, costo estimado de mitigación para la totalidad de la superficie comprometida. Por unidad de superficie dichos servicios se valúan en 29.380 \$/ha.

El valor de los servicios ambientales resulta un 4% mayor al costo privado de recomponer la funcionalidad del suelo, de la cual depende la productividad futura de la región.

El análisis de sensibilidad (Tabla 3.21) indica que cuando se utiliza la tasa social de preferencia temporal del 3,5%, el valor de los servicios ambientales resulta mayor un 16,3%. A la mencionada tasa de descuento, los servicios ambientales presentan un valor superior a los costos privados de mitigar los efectos adversos para todas las condiciones supuestas en el análisis de sensibilidad privado (Tabla 3.19, pág.202).

Por otro lado, a la tasa de descuento constante del 12% utilizada por convención por parte del Estado provincial como costo de oportunidad de sus fondos públicos, el valor de los servicios ambientales se reduce un 4%. Este valor resulta prácticamente igual al costo privado de mitigación logrado para el escenario base de análisis. La condición de igualdad entre valores privados y sociales, se explica por la baja participación de mano de obra en la práctica de mitigación, por la igualdad de los valores privados y sociales del precio de la enmienda como componente principal del costo y por la similitud de las tasas de descuento.

Las disminuciones del costo de oportunidad del capital privado ocasionan que los costos de mitigar y conservar el recurso resulten mayores al valor de los servicios ambientales, para las condiciones supuestas en el escenario base y para la tasa social de descuento del 12%. Este hecho puede ser explicado por la adopción de tasas sociales a partir del costo de oportunidad del capital. Dichas tasas reflejan la escasez de dinero para inversiones públicas, por lo que resultan elevadas para países en desarrollo.

Como puede observarse, el valor de los servicios ambientales puede ser mayor o menor el costo privado de mantenerlos en función de básicamente, la tasa de descuento que se utilice. Sin embargo y como lo indican Pasqual y Padilla (2007), la tasa de descuento es un problema más a resolver en la cuestión del uso sustentable de los recursos. Señalan además, que para alcanzar el objetivo de la sostenibilidad es necesario recurrir a otros instrumentos como mecanismos políticos, y proceder a innovaciones y reformas de carácter institucional.

En el caso particular que nos ocupa, la responsabilidad del daño para las empresas acogidas a los beneficios de la Ley de Desarrollo puede interpretarse como compartida con el Estado provincial, debido a que en la mencionada ley se hace explícita la utilización del agua subterránea para poder producir.

Sin embargo desde los instrumentos legales disponibles en nuestro país, la legislación ambiental, todos los emprendimientos con independencia del origen del capital para su desarrollo son responsables por sí mismos del daño ambiental producido. Por otra parte y bajo la citada ley, el Estado es responsable del control de los efectos ambientales. En consecuencia, la proporción de los costos identificados que se evitará o que erogará el Estado dependerá de: i) la medida en que se vea disminuida la producción por el efecto identificado en este trabajo de manera de ser asumido por el sector privado; ii) la decisión política del Estado para estimular acciones para la mitigación del daño ambiental; iii) los acuerdos que se logren con el sector de la producción en relación a ello; y iv) los instrumentos y mecanismos que se establezcan para su implementación en el contexto de las leyes ambientales, del comportamiento futuro del mercado del producto y de los insumos y gravámenes a la producción.

CONCLUSIONES

Se presentan a continuación las conclusiones en relación al modelo de impacto de aproximación regional y a las implicancias económicas de carácter privado y social.

MODELO DE APROXIMACIÓN REGIONAL

El modelo obtenido y utilizado en el presente trabajo contempla un equilibrio entre degradación y condiciones para la producción. Dicho equilibrio responde al criterio de mantener las propiedades del suelo dentro de los límites de confianza observados para el recurso sin cultivo. Para los parámetros que definen al mismo, se obtuvo:

- un valor de PSI de 4,69, como Línea Base de sodicidad del suelo sin cultivo para el Valle Central.
- un valor de PSI de 12,5 que implica un contenido de sodio intercambiable de 3,66 miliequivalentes por 100 gramos de suelo, como Meta Ambiental o valor de referencia de sodicidad máximo a mantener para suelos en cultivo de la región.
- como amplitud de degradación por sodificación para suelos en cultivo, a un incremento neto del nivel de sodicidad del 166%, respecto del valor medio encontrado en los suelos sin cultivo.

De acuerdo a ellos:

- el 34% de la superficie olivícola de la región del Valle Central (8.000 ha) irrigadas con aguas de riesgo moderado no requiere prácticas de mitigación mientras se trabajen en el marco del actual paquete tecnológico de cultivo, dado que los aportes de azufre realizados por los fertilizantes resultan suficientes para controlar dicho efecto y mantener la meta ambiental establecida. Lo antes mencionado no implica la ausencia de impactos en dicha superficie, como se demostró en el capítulo precedente.

- el 60% de la superficie que es irrigada con agua de riesgo severo (12.000 ha) requiere prácticas de mitigación en el marco del paquete tecnológico utilizado para el cultivo, dado que los aportes de azufre provenientes de los fertilizantes no resultan suficientes para mantener la meta ambiental fijada.

- para esta última superficie, el período de mitigación encontrado fue de 3 años consecutivos para parcelas en producción de más de 5 años de cultivo, para descender el nivel de sodicidad hasta el valor de referencia considerado en el modelo.

- el período de mantenimiento que inicia finalizado el de mitigación, incluye aportes de enmienda durante la vida útil del cultivo, a los fines de mantener dicho valor de referencia.

IMPLICANCIA ECONÓMICA PRIVADA DEL IMPACTO

En base al modelo construido, los costos privados para mitigar los efectos de la producción sobre el recurso para toda la región, ascienden a \$ 306.295.390 para un período evaluado de 10 años.

El valor medio por hectárea año necesario para mitigar los efectos del agua de riego para una calidad de riesgo severo resultó en \$ 5.100/ha año. El mismo constituye una estimación del componente 'costo ambiental anual por hectárea' a incorporar por el sector de la producción, en su ecuación de costos.

La sobre-valoración de la producción por minimización de los costos de producción del cultivo al no cuantificar el costo ambiental, estimada a partir del indicador CAE, asciende a \$ 55.133.170 anuales; monto este promedio equivalente al necesario para restaurar y mantener la funcionalidad del recurso anualmente. Los mismos representan aproximadamente un 23% del valor bruto de la producción anual de aceitunas de la región considerando un rendimiento de 10.000 kg/ha de fruta, y precios de referencia de \$1,38 para aceituna aceitera y \$ 1,84 para la destinada a conserva.

El beneficio de iniciar las prácticas de remediación durante los primeros años de cultivo respecto de diferirlo al 9º año, implica una reducción del componente 'costo ambiental' del costo de producción, de 3 veces.

IMPLICANCIA ECONÓMICA SOCIAL DEL IMPACTO

Los costos de mitigación a valores sociales para la región ascienden a \$ 317.582.840 e indican el valor económico del daño ambiental; el que referido a unidad de superficie asciende a 29.382 \$/ha. Estos costos se evitarían en la medida en que sean asumidos por el sector de la producción y pueden constituirse en beneficios potenciales por ahorro de costos futuros para el Estado.

Dicho monto constituye una medida aproximada del valor que la sociedad le otorga a los servicios ambientales que brinda el suelo; toda vez que estos valen al menos el costo de recomponer su funcionalidad para permitir que continúe el flujo de los mismos.

La aplicación de políticas de Estado amparadas en la Ley General del Ambiente y la construcción de acuerdos con el sector de la producción, en función de las responsabilidades del daño ambiental determinado, contribuirán a que se hagan efectivos los beneficios sociales potenciales determinados, en la proporción que acuerde el Estado.

UTILIDAD DE LA INFORMACIÓN GENERADA

El modelo de impacto de aproximación regional construido en este estudio, aporta una herramienta para la administración y gestión del recurso suelo, por cuanto permite monitorear su evolución bajo las presiones de uso actuales, a partir del valor de referencia de meta ambiental determinado para la región sobre suelos sin cultivo.

La valoración económica aporta la dimensión económica del problema de la degradación del suelo que se analiza en este trabajo, necesaria para la aplicación de la legislación vigente en materia ambiental, el análisis de políticas y medidas tendientes al uso sustentable del mismo en la región.

El valor obtenido de los servicios ambientales por unidad de superficie es relativo a las limitaciones o particularidades de la metodología utilizada para su cálculo. Dicha relatividad está asociada a la condición y uso particular que se haga de los recursos naturales en cada zona analizada. Así, si se dispone de la función de producción el valor de los servicios ambientales dependerá en gran medida del valor de la producción que se pierde y que es diferente según el

ecosistema que se analice; en tanto si no se dispone de ella los valores dependerán del precio de los insumos para mitigar o prevenir los efectos negativos, del momento en que se inicien estas prácticas, entre otras.

En razón de ello, el valor estimado para el área de estudio de este trabajo difícilmente podrá ser comparable con el de otra región productiva; pudiendo parecer en algunos casos sobrevalorado y en otros subvalorado de acuerdo a las referencias que se tomen para su análisis. No obstante ello, el hecho de contar con un valor para dichos servicios que no cotizan en el mercado a partir del estudio en el sitio de las variables técnicas que reflejan el estado del recurso, permite disminuir los errores de estimación en el cálculo de su valor; los que necesariamente requieren de ajustes a partir de futuros estudios.

HIPÓTESIS DE TRABAJO PLANTEADA

Para atenuar la degradación de las propiedades físico-químicas del suelo se requieren prácticas de mitigación que implican un costo económico, toda vez que deberá incurrirse en ellos para mantener los niveles futuros de producción. Los servicios ambientales poseen un valor económico, por lo que su pérdida ocasionará un costo social de al menos dicho valor. Por lo antes mencionado se verifica la existencia de costos económicos de implicancias privada y social, planteada en la hipótesis de trabajo para este capítulo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abeceb. 2011. Riesgo país Argentina, EMBI+. Publicado en Internet, disponible en <http://www.abeceb.com/serie/serieDirecta.php?id=138000>. Activo mayo 2011.
- Agüero, M. 1996. Elaboración de los términos de referencia del estudio: Valoración económica y social de los Recursos Naturales e Impactos Ambientales. Santiago de Chile, Chile, 137 pp.
- Alderete Salas S., Domenéch A., Adén E., Osman A. y Lazarte G. 1999. 'Evaluación económica del proyecto 'Creación de un área protegida en Selva de Montaña y Sierras de Guayamba de la provincia de Catamarca-Argentina'. Tesis de Especialización. Universidad Nacional de Catamarca- Universidad Nacional de Chile, Catamarca, Argentina, 75 pp.
- Alderete Salas S. y Villa J. 2000. Análisis económico financiero de la producción primaria intensiva y su integración con la industria. Sistema Olivícola de la Provincia de Catamarca. Disertación Congreso Internacional Arauco. CD. Catamarca, Argentina.
- Amorena J. 2010. Comunicación personal densidad del suelo del Valle Central. Clima y Suelo. Estación Experimental Agropecuaria Catamarca. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA.
- Baltodano M.E. y Mendoza B. 2001. Valoración socioeconómica de la conservación de suelos de San Dionisio, Matagalpa, Nicaragua. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Proyecto Comunidades y Cuencas – C I A T, Consorcio para el manejo integrado de suelos - M I S. Publicado en Internet, disponible en http://www.geola-tina.net/cuencas_nicaragua/sites/default/files/file/Cap3/Valoracion%20economica%20conservacion%20suelos%20San%20Dionisio.pdf. Activo octubre de 2008.
- Barzev R.y Espinoza C. 2000. Identificación y evaluación económica de prácticas y alternativas económicamente eco-amigables en la región central y norte de Nicaragua. Helsinki Consulting Group. (PANIF/MARENA). *Publicado en Internet, disponible en http://www.ccad.ws/documentos/els/els_pps_mara.doc*. Activo marzo 2008.
- Beltrao J., Jesus S.B., Panagopoulos T. y Ben Asher J. 2002. Combined effects of salts and nitrogen on the yield function of lettuce. *Acta Horticulturae* 573: 363–368. Publicado en Internet, disponible en <http://www.actahort.org/books/573/>. Activo octubre 2008.
- Bennet L., Mebe P., Annett S. y Kasel S. 2010. Examining links between soil management, soil health and public benefits in agricultural: An Australian perspective. *Agriculture, Ecosystems & Environment* vol. 139 (1-2):1-12.
- Castiblanco Roza C. 2003. Alcances y limitaciones de la valoración económica de los bienes y servicios ambientales. *Ensayos de Economía* vol. 13. Publicado en Internet, disponible en <http://www.uninorte.edu.co/extensiones/IDS/ Ponencias/ PONENCIA-%20VALOR.pdf>. Activo en septiembre 2008.

- CCAD–CBM. 2002. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo-Corredor Biológico Mesoamericano. Guía Metodológica de valoración de bienes y servicios ambientales. Barsev R. (Ed). Serie Técnica 04. pp 149. Publicado en Internet, disponible en <http://www.scribd.com/doc/7289599/Guia-Methodologica-de-VE-de-Los-BSA>. Activo diciembre de 2007.
- Cienfuentes F.R. y Linderman W. 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in a calcareous soils. *Soil Science Society of America Journal* 57:727-731.
- Contreras E. 2004. Evaluación social de inversiones públicas: enfoques alternativos y su aplicabilidad para Latinoamérica. CEPAL, Serie manuales N° 37, pp 102.
- Correa F. 2006. La tasa social de descuento y el medioambiente. *Lecturas de economía* 64: 91-116.
- Datta K.K., Sharma V.P. y Sharma D.P. 1998. Estimation of a production function for wheat under saline conditions. *Agricultural Water Manage* 36: 85–94.
- Dinar A., Rhoades J.D., Nash P.y Waggoner B. L. 1991. Production functions relating crop yield, water quality and quantity, soil salinity and drainage volume. *Agricultural Water Manage* 19: 51–66.
- Edwards G. 2002. La tasa de descuento en proyectos de inversión de largo plazo. *Revista de análisis económico* Vol. 17 N° 2: 123-141.
- El Economista. 2001. Rentabilidad bonos del tesoro de EEUU. Publicado en Internet, disponible en <http://eleconomista.com.mx/mercados-estadisticas/2011/05/02/bonos-eu-operan-estables>. Activo mayo 2011.
- Fábrica Militar Río Tercero. 2010. Comunicación personal precio en fábrica del ácido sulfúrico 98%, serie 2005-2010.
- Fadda G. 2006. La conservación del suelo: la necesidad de un enfoque integral. Publicado en Internet, disponible en http://www.inta.gov.ar/prorenea/zonadescarga/Sist_prod_sos/1_Apertura%20XX%20Congreso%20Suelo.pdf. Activo mayo de 2010.
- Falconí, F y Burbano, R. 2004. Instrumentos económicos para la gestión ambiental: decisiones monocriteriales versus decisiones multicriteriales. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* Vol. 1: 11-20. Publicado en Internet, disponible en <http://www.raco.cat/index.php/Revibec/article/view/38277/38151>. Activo marzo 2010.
- FAO. 2011. Servicios ambientales. Publicado en Internet, disponible en http://www.fao.org/es/esa/pesal/index_es.html. Activo marzo de 2011.
- Finca Cerro Guacho. 2009. Comunicación personal precio en finca del ácido sulfúrico, precio de flete, costos de mantenimiento de equipos.
- Finca La Bella. 2009. Comunicación personal precio en finca del ácido sulfúrico, precio de flete, costos de reparación y mantenimiento de equipos.
- Fontaine E.R. 1997. Evaluación Social de Proyectos, 11^a edición corregida. Ediciones Universidad Católica de Chile, Chile, 466 pp.

- Fontaine E.R. 2008. La evaluación social y privada de proyectos: el rol del estado. Panorama socioeconómico vol. 26 n° 036: 8-17. Publicado en Internet, disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/399/39903602.pdf>. Activo mayo 2010.
- Francisco, H.A. 1986. Economics of soil erosion and conservation: The case of Magat watershed. PhD Thesis, Faculty of the Graduate School, University of the Philippines, Los Baños, 295 pp.
- Francisco, H.A. 1994. Upland soil resources of the Philippines: Resource assessment and accounting for soil depreciation. Workshop paper, Environmental and Natural Resources Accounting Project, Quezon City, unpublished.
- Hernández Vela O.H. 2001. Valoración económica del recurso hídrico en la subcuenca Jones, Sierra de las Minas, Guatemala. Tesis de Mag. Sc. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica. 130 pp. Publicado en Internet, disponible en [http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=ortontctesis.xis-&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=\(tc=\\$\)*C=CATIE\\$*IL=U\\$&proxdoc=-15&ascendente](http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=ortontctesis.xis-&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=(tc=$)*C=CATIE$*IL=U$&proxdoc=-15&ascendente). Activo marzo 2008.
- Hillel D. 1998. Environmental Soil Physics. Academic Press, San Diego, California, USA, pp. 771.
- Horowitz N. y Meurer E.J. 2007. Relação entre atributos de solos e oxidação de enxofre elementar em quarenta e duas amostras de solo do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência de Solo* 31(3): 455-463.
- Hufschmidt M.M., James D.E., Meister A.D., Bower B.T. y Dixon J.A. 1983. Environment, Natural Systems and Development: An Economic Valuation Guide. Johns Hopkins Press, Baltimore, MD, 285 pp.
- Indec. 2011. Índice de precios internos básicos nivel general. Instituto Nacional de Estadística y Censo. Publicado en internet, disponible en <http://indec.gob.ar>. Activo mayo 2011.
- InfoStat. 2008. InfoStat versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Iturria Cammarano D. E. 2004. La Contabilidad de Costos y los Costos Ambientales. Asociación Uruguaya de Costos. Publicado en Internet, disponible en <http://eco.unne.edu.ar/contabilidad/costos/VIIIcongreso/194.doc>. Activo mayo 2010.
- Keren R. 2000. Salinity. En: Handbook of Soil Science. Summer M.E., CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 1-26.
- Ley 26.454. 2008. Impuesto sobre la transferencia a título oneroso o gratuito, o importación de gasoil o cualquier otro combustible líquido que lo sustituya. Publicado en Internet, disponible en <http://infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/145000-149999/148391/norma.htm>. Activo abril de 2010.
- Linderman W., Aburto J., Haffner W. y Bono A. 1991. Effect of sulfur source on sulfur oxidation. *Soil Science Society of America Journal* 55: 85-90.

- Manteiga L. 2000. Los indicadores ambientales como instrumento para el desarrollo de la política ambiental y su integración en otras políticas. Estadística y Medio Ambiente, Instituto de Estadística de Andalucía. Sevilla. España. pp 75-87. Publicado en Internet, disponible en <http://www.terracentro.org/Seleccion%20de%20articulos.htm>. Activo abril 2008.
- Melo R.M., Barros M., dos Santos P. y Rolim M. 2008. Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* vol 12 n° 4: 376-380.
- Ministerio de Medio Ambiente Español. 2005. Servicio de Inventario Forestal. Valoración económica del Territorio Histórico de Bizkaia. Publicado en Internet, disponible en <http://www.nasdap.ejgv.euskadi.net/r50-valor-econom/es-dapa/adjuntos/valoracion-economica-bizkaia.pdf>. Activo diciembre de 2008.
- Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la provincia de Catamarca. Unidad Sectorial de Inversiones. 2009. Comunicación personal: coeficiente para ser aplicado en el cálculo del valor social de la mano de obra.
- Miranda T., Machado R. y Machado H. 2008. Valoración económica de bienes y servicios ambientales en dos ecosistemas de uso ganadero. *Zootecnia Tropical* vol.26, no.3: 187-189.
- Miyamoto S. 1998. Use of acid and acidulants on alkali soil and water. Mineral soil conditions. En: Handbook of soil conditioners substance enhance the physical proterties of soil. A. Wallace and R.E Ferry, New York, USA, pp 217-255.
- Niskanen A. y Saastamoinen O. 1996. Tree plantations in the Philippines and Thailand: Economic, social and environmental evaluation. *Research for Action* 30, pp 51.
- Osorio Múnera J. y Correa Restrepo F. 2004. Valoración económica de los costos ambientales: marco conceptual y métodos de estimación. *Semestre económico* vol. 7, N° 13:159-196.
- Pagiola S. 1998. Economics Analisis of Incentives for Soil Conservation. En: Using Incentives for Soil Conservation. Sanders D.W., Huszar P.C., Sombatpanit S., Enters T., World Association of Soil and Water Conservation. *Science Publishers, Inc*, pp 1-10.
- Pasqual J. y Padilla E. 2007. La evaluación de proyectos con impacto ambiental. Eficiencia y sostenibilidad. Documento de trabajo 07.03. Universidad Autónoma de Barcelona, pp 1-14.
- Pérez Zamora O. 2002. Evaluación de mejoradores de suelo en limón mexicano. *TERRA Latinoamericana* vol. 20, N° 003: 337-346.
- Porta J. M., López Acevedo J. y Roquero C. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Editorial Mundi Prensa, Madrid, España, 807 pp.
- PNUD. 2005. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. Identificación de Aspectos Prácticos Ligados al Desarrollo de Pagos por Servicios Ambientales: Lecciones aprendidas en la Región de Latinoamérica. Publicado en Internet, disponible en

http://www.eclac.org/dmaah/noticias/paginas/9/28579/PSA_PNUD.pdf. Activo mayo de 2011.

PNUMA. 2005. *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Publicado en Internet, disponible en <http://www.pnuma.org/forumofministers/15-venezuela/ven09tre-eluciondelosEcosistemasdelMilenio.pdf>* Activo mayo de 2011.

Ramos T.B., Goncalves M.C., Castanheira N.L., Martins J.C., Santos F.L., Prazeres A. y Fernández M.L. 2009. Effect of sodium and nitrogen on yield function of irrigated maize in southern Portugal. *Agricultural Water Management* 96: 585-594.

Secretaría de Energía de la Nación. Resolución N° 554/10. Publicado en Internet, disponible en <http://energia3.mecon.gov.ar/home/>. Activo julio de 2010.

Sholeh R.D., Lefroy A. y Blair G.J. 1997. Effect of nutrients and elemental sulfur particle size on elemental sulfur oxidation and growth of *Thiobacillus thiooxidans*. *Australian Journal of Agricultura Research* 48:497-501.

Sierra B.C., Lancelotti M.A. y Vidal P. 2007. Azufre elemental como corrector del pH y fertilidad de algunos suelos de la III y IV Región de Chile. *Agricultura Técnica* 67: 173-181.

Tomasini D. y Longo L. 2010. Desarrollo agropecuario y ambiente: el rol de la gestión pública. Publicado en Internet, disponible en <http://www.econ.uba.ar/planfenix/docnews/Tomasini.pdf>. Activo mayo 2010.

Tysko M. B. y Gutiérrez Boem, F. H. 2008. Azufre elemental como enmienda para bajar el pH del suelo. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina, pp. 34.

Universidad Tecnológica Nacional (UTN). 2005. El Transporte Automotor de Cargas en la Argentina. Costos y Precios del Transporte de Cargas. Editorial Universitaria de la UTN. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. 147-168 pp. Publicado en Internet, disponible en <http://www.edutecne.utn.edu.ar/transporte/capitulos.htm>. Activo marzo 2008.

CONCLUSIONES GENERALES

El presente Capítulo recoge las conclusiones y sugerencias surgidas a partir de la investigación realizada en este trabajo de tesis.

DETERMINACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES SOBRE EL RECURSO SUELO

INDICADORES DE NIVEL REGIONAL

La intensificación de la actividad agrícola en la región del Valle Central de Catamarca, fue impulsada por la Ley de Desarrollo Económico N° 22.021 y su modificatoria, la Ley 22.702 que actuó como Fuerza Motriz. A raíz de ello habilitaron mediante desmonte un total de 29.700 ha en el período 1989-2006, produciendo un incremento neto de superficie de uso agropecuario del 159% (28. 572 ha) y modificando el patrón de uso de suelo agropecuario de la región.

Dichas modificaciones implicaron al año 2006:

- un incremento de superficie de la categoría Agricultura bajo riego con uso de agua subterránea del 797 % (23.332 ha), de las cuales el 85% (aproximadamente 20.000 ha) se encuentra bajo producción de olivos.
- un incremento de superficie de la categoría Desmonte/ganadería de un 220% (6.368 ha).

- una disminución de la superficie ocupada por la categoría Agricultura con uso de agua superficial de un 9% (1.129 ha).

El Valle Central contaba en el año 2006, con un total de 46.000 ha de uso agropecuario. El patrón de ocupación de acuerdo a los tipos de suelo, indican que:

- La Asociación Colonia del Valle es la receptora de la mayor parte de la superficie de las categorías Agricultura bajo riego con agua subterránea y Desmonte/ganadería, totalizando 30.144 ha en producción.
- La Asociación Laguna Verde es la segunda receptora con 5.940 ha.

Este patrón de ocupación parece asociado a la cercanía de las explotaciones productivas a las vías de comunicación que atraviesan el Valle y con las mejores condiciones del suelo de la Asociación Colonia del Valle, respecto a las demás.

La ocupación del suelo al año 2006 es del 23% respecto del total. La diferencia, el 77% de la superficie del Valle Central de Catamarca, conserva a esa fecha el bosque nativo en razón de lo cual no se visualiza en riesgo la biodiversidad. El porcentaje de ocupación con actividades agropecuarias indica que el factor cantidad de suelo disponible no constituye limitante para el desarrollo agropecuario futuro de la región. Sin embargo y por el patrón de uso del suelo encontrado, se infiere que el desarrollo estará condicionado por la cantidad y calidad del agua subterránea. En asociación a ello se presentan como condicionantes también, el monto del canon de uso de la misma, la disponibilidad de energía para su extracción y el costo asociado a ella.

INDICADORES DE NIVEL EXPLOTACIÓN AGROPECUARIA

Las implicancias del gran desarrollo de la categoría agricultura bajo riego con uso de agua subterránea bajo riego por goteo a nivel de explotación agropecuaria, fueron determinadas en un 'caso de estudio'. Como resultado del mismo se encontró una tendencia gradual de sodificación del suelo a medida que aumenta el tiempo de cultivo, que presenta un avance hasta los 80 cm de profundidad.

Los valores promedios de impacto para el 'caso de estudio' a los 9 años de cultivo respecto de la condición de los suelos sin cultivar, indican incrementos del 8,5% para la variable pH, 162% para el indicador RAS y 236% para el indicador PSI .

Las variables MO (materia orgánica), P (fósforo) y N (nitrógeno) se mantuvieron sin grandes modificaciones y con tendencia a la disminución de sus contenidos.

Tendencias en otros sitios de producción, magnitud de los impactos e indicadores que permiten el monitoreo del recurso:

Los 'sitios de verificación' utilizados para corroborar la tendencia observada en el 'caso de estudio', revelan que el proceso es aún más intenso. Las diferencias encontradas en estos 'sitios de verificación' respecto del 'caso de estudio' son del 70% para la variable pH, 106% para el indicador RAS y 245% para el indicador PSI.

Los valores promedios de los indicadores de impacto que resultan del 'caso de estudio' y los 'sitios de verificación', indican un incremento a lo largo de 9 años de cultivo respecto de la condición original del recurso, del 15% para la variable pH, 283 % para el indicador RAS y del 326 % para el indicador PSI.

Dichos indicadores mostraron diferente grado de sensibilidad para reflejar el problema según la siguiente secuencia: PSI > RAS >> pH. El PSI es el que presenta mayor

sensibilidad al problema y puede ser utilizado como indicador de sodicidad para monitorear el recurso suelo.

Modelo matemático que describe el efecto de sodificación y causas del impacto:

El modelo matemático de impacto encontrado, indica que la intensidad del proceso de sodificación evaluada a través del PSI, es función de la Proporción de Sodio del agua de riego (PS) y del tiempo de cultivo.

La primera variable 'Proporción de Sodio del agua de riego' es la de mayor relevancia en la reacción del suelo, mientras que la segunda 'tiempo de Cultivo' adquiere importancia por cuanto permite relacionar el factor tiempo al proceso de sodificación.

La variable 'tiempo de cultivo' refleja el efecto acumulativo del sodio debido al riego de bajo volumen y alta frecuencia, asociado a las condiciones climáticas de la región. La inclusión del enfoque series de tiempo en el presente estudio, fue determinante para detectar dicho efecto.

La calidad del agua de irrigación asociada a la práctica de riego en el contexto ambiental donde se practica, constituye el factor de la tecnología de producción con mayores implicancias en el impacto encontrado.

Alcances geográficos y magnitud del problema:

La vinculación matemática encontrada entre la calidad del agua de riego y los efectos en el suelo, analizada en el espectro de calidades de agua subterránea del Valle Central, evidencian la relevancia regional del problema.

Las magnitudes promedios de los impactos encontrados (caso de estudio y sitios de verificación) resultarían muy similares a los valores regionales, dado que el valor de PS del agua del Caso de estudio es uno de los menores dentro de la muestra de aguas del Valle Central, mientras que el del sitio de verificación E3 es uno de los mayores.

Comportamiento de los indicadores y criterios de clasificación de calidad de agua para riego en la región del Valle Central de Catamarca:

Los indicadores RAS y RAS° del agua de riego utilizados con antelación por otros autores para predecir tendencias de sodificación en suelos a partir del PSI, presentaron para estas condiciones sensibilidades inferiores respecto del indicador PS y PSS aquí utilizado. La secuencia de sensibilidad quedó definida según: $PS > PSS > RAS^\circ$.

VALORACIÓN ECONÓMICA DEL IMPACTO, PRODUCTO DE LA TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN

MODELO DE APROXIMACIÓN REGIONAL

El modelo de aproximación regional construido para la valoración económica del impacto, evidencia sobre aproximadamente 20.000 ha implantadas con olivos, que el 34% (8.000 ha) de esa superficie es irrigada con agua de calidad moderada y el 60% (12.000 ha) es irrigada con agua de calidad severa.

Los parámetros encontrados para el mismo indican:

- un valor de PSI de 4,69, como Línea Base de sodicidad del suelo sin cultivo para el Valle Central.

- un valor de PSI de 12,5, como meta ambiental o valor de referencia de sodicidad máximo a mantener para suelos en cultivo de la región.

- una amplitud permitida de degradación por sodificación para suelos en cultivo del 166%, respecto del valor medio encontrado en los suelos sin cultivo.

En función de dichos parámetros:

- el 34 % (8.000 ha) de la superficie olivícola del Valle irrigada con agua de riesgo moderado no requiere para el tiempo analizado prácticas de mitigación, dado que el aporte de los fertilizantes utilizados permite controlar los efectos de la misma.

- el 60% (12.000 ha) de la superficie olivícola del Valle irrigada con agua de riesgo severo requiere prácticas de mitigación, por cuanto los aportes de azufre vía fertilizantes no resultan suficientes para descender los niveles de sodicidad hasta el valor establecido como meta ambiental.

COSTOS ECONÓMICOS ASOCIADOS AL IMPACTO

En base al modelo construido, los costos a valores privados destinados a mitigar y mantener la meta ambiental propuesta, ascienden a \$ 306.295.390 para un período de análisis 10 años y para toda la región. Este monto implica un valor medio por hectárea año de \$ 5.100.

Dichos valores son asimilables al componente ‘costo ambiental’ a incorporar por el sector de la producción en la ecuación de costos de la empresa, y constituyen las implicancias económicas directas del impacto para el sector productivo.

La sobre-valoración de la producción por minimización de los costos de producción del sector olivícola estimadas en este trabajo resultaron en \$ 55.133.170 anuales, monto promedio equivalente al necesario para restaurar y mantener los servicios del recurso anualmente. Los mismos representan aproximadamente un 23% del valor bruto de la producción de aceitunas de la región.

Los costos de mitigación a valores sociales ascienden a \$ 317.582.840 e indica el monto del daño ambiental; el que referido a unidad de superficie es de 29.382 \$/ha. Estos se evitarían en la medida en que sean asumidos por el sector de la producción, constituyéndose en beneficios potenciales por ahorro de costos.

Dicho monto constituye una medida aproximada del valor que la sociedad le otorga a los servicios ambientales que brinda el suelo; toda vez que estos valen al menos el costo de recomponer la funcionalidad del recurso para permitir que continúe el flujo de los mismos. Desde este enfoque los servicios ambientales valen un 4% más que su costo privado de restaurarlos parcialmente.

La aplicación de políticas de Estado amparadas en la Ley General del Ambiente, y la construcción de acuerdos con el sector de la producción en función de las responsabilidades del daño ambiental determinado, contribuirán a que se hagan efectivos los beneficios sociales potenciales estimados, en la proporción que acuerde el Estado para lograr un equilibrio entre objetivos económicos y ambientales.

CONTRASTE DE HIPÓTESIS Y CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

HIPÓTESIS DE TRABAJO

La implantación de olivos, como cultivo principal en el Valle Central de Catamarca, incrementó la superficie de uso agropecuario bajo riego con agua subterránea modificando el patrón de uso del suelo agropecuario de dicha región; comprobándose la primera hipótesis planteada para este capítulo (Tabla 2.2, pág.84; Tabla 2.3, pág. 86)

El efecto de sodificación del suelo evidenciado por el indicador PSI, producto de la calidad del agua de riego utilizada en el planteo técnico de producción, produce la degradación de las propiedades físico-químicas del suelo; con lo que se comprueba la segunda hipótesis planteada. (Ec. 2.15, pág. 132; Tabla 2.33, pág. 134)

Para disminuir la presión sobre el suelo, el sector de la producción deberá incurrir en costos para mitigar los efectos de la sodificación y mantener las propiedades físico-químicas del recurso y los niveles de producción; los mismos representan las implicancias económicas privadas (Tabla 3.15, pág. 299). Los servicios ambientales del suelo poseen un valor económico, que indica que su pérdida produce un costo por un monto similar al de su valor y representa la implicancia económica social (Tabla 3.20, pág. 204). Por lo antes mencionado se verifica la tercera hipótesis de trabajo.

OBJETIVOS DE TRABAJO

Los impactos producidos sobre el suelo debido a las prácticas de manejo en el cultivo del olivo en el Valle Central de Catamarca, fueron determinados y valorados económicamente a lo largo de este trabajo, dando cumplimiento al objetivo general planteado, según el siguiente detalle:

- se determinaron las modificaciones en el uso de suelo agropecuario del Valle Central de Catamarca (pág. 82 a 87)

- se identificaron y cuantificaron las variables que reflejan el impacto producido por la tecnología de producción sobre el suelo a nivel explotación agropecuaria. (pág. 95, 114, 115)
- se obtuvo información sobre la dinámica del proceso de sodificación en el tiempo y en profundidad sobre Entisoles, específicamente sobre Torrifluventes ústicos del Valle Central, a partir de la cual se construyeron las curvas de impacto y el modelo del proceso de degradación para las condiciones de uso del suelo de la región (pág. 95, 114 y 115; Fig. 2.24, pág. 120; Fig. 2.25, pág. 121; Tabla 2.29, pág. 122; Ec. 2.15, pág. 132; Tabla 2.33, pág. 134)
- se determinaron la causas y el indicador de monitoreo del recurso, (Tabla 2.32, pág. 127; Ec. 2.15, pág. 132; Tabla 2.33, pág. 134)
- se elaboró un modelo de impacto de aproximación regional que contempla un valor de referencia de meta ambiental (Fig. 3.1 y 3.2, pág. 193), en base al cual se calculó el costo de la degradación a asumir por el sector privado y el valor que para la sociedad tienen los servicios ambientales que brinda el suelo. (Tabla 3.15, pág. 199; Tabla 3.20, pág. 204)

METODOLOGÍA Y ENFOQUE UTILIZADO

Como resultado del presente estudio, se aporta un diseño metodológico para el abordaje de evaluaciones de impacto ambiental ex-post a campo y a nivel de explotación agropecuaria, de utilidad para zonas hasta ahora, sin información y que observa las siguientes características:

- reúne en un método simpleza y efectividad para obtener respuestas,
- utiliza marcos conceptuales para identificar el problema, sus implicancias y para la selección de indicadores
- utiliza un conjunto de indicadores relacionados entre si, acordes al problema que se desea resolver y que reúnen las condiciones establecidas para ello.
- prueba la respuesta de indicadores en un ‘Caso de estudio’ y comprueba y amplia los resultados a mayores escalas geográficas a partir de introducir ‘Sitios de Verificación’;
- permite obtener información de los efectos sobre los recursos ocurridos durante largos períodos de tiempo, en un tiempo de estudio corto,
- brinda información de aplicación inmediata, lo cual es relevante ya que se trata de un método a campo.

Dicha metodología permitió:

- la manifestación clara del problema de mayor relevancia en el recurso bajo estudio en relación a las presiones recibidas, que excede a las diferencias de suelo encontradas por la escala amplia de análisis adoptada.
- la detección de tendencias y alcances geográficos, que no pueden destacarse desde el enfoque tradicional de evaluación o diagnóstico de condición de suelo.

- la determinación de la causa, probables soluciones e indicadores de monitoreo del recurso.

- la detección de niveles de referencia de afectación del recurso para su monitoreo y las implicancias económicas del problema detectado; lo cual contribuye a una mejor comprensión del mismo para el abordaje de acciones de administración y gestión del suelo.

El valor obtenido de los servicios ambientales por unidad de superficie es relativo a las limitaciones o particularidades de la metodología utilizada para su cálculo. En razón de ello, difícilmente podrá ser comparable con el de otra región productiva; pudiendo parecer en algunos casos sobrevalorado y en otros subvalorado de acuerdo a las referencias que se tomen para su análisis. No obstante ello, el hecho de contar con un valor para dichos servicios que no cotizan en el mercado a partir del estudio en el sitio de las variables técnicas que reflejan el estado del recurso, permite disminuir los errores de estimación en el cálculo de su valor; los que necesariamente requieren de ajustes a partir de futuros estudios.

APORTES DE INFORMACIÓN Y SUGERENCIAS DE OTROS ESTUDIOS

La información técnica y económica generada por este estudio, contribuye con material inédito para la región y de importancia para preservar el recurso, ya que hace posible:

- la prevención de la degradación del suelo en aquellas plantaciones jóvenes de menos de 4 años de cultivo, y en las futuras que se implanten.

- el monitoreo del recurso en base al indicador identificado y a un primer valor de referencia de meta ambiental para el suelo en producción de la región, determinado in situ.

- el análisis de los mecanismos para la implementación del marco legal vigente en materia ambiental.

- el análisis para la generación de otros instrumentos legales para regular el uso del recurso.

Subyacen a este problema y ante la evidencia del alcance regional del mismo que involucra a 20.000 ha de olivo, los siguientes aspectos:

- el riesgo de sobre-explotación de los acuíferos si no se controla la cantidad de nuevas tierras habilitadas para agricultura en la región, al que se añade el deterioro de la calidad del agua a medida que descienden las reservas.

- el posible aumento del impacto sobre el suelo por la concentración de sales en el agua de riego, si las reservas disminuyen.

- la capacidad económica de las empresas del sector para afrontar mayores costos, sobre todo para aquellos casos con superficies de más de 4 años de cultivo, en el contexto económico y político actual.

- la necesidad de establecer responsabilidades públicas y privadas frente al daño ambiental encontrado, dado que el desarrollo fue impulsado por el Estado.

En relación a lo expuesto, se considera importante la continuidad de los estudios que deberían dirigirse hacia:

- la profundización sobre las implicancias de los valores de sodicidad encontrados sobre las funciones del recurso, tales como capacidad de almacenamiento de agua, disponibilidad y movilidad de nutrientes, a los fines del ajuste del valor de referencia propuesto como meta ambiental.

- la determinación de los impactos microbiológicos, como segundo factor de ajuste.

- la relación entre los niveles del valor de referencia propuesto y lo productividad del cultivo de olivo, de otros establecidos o a establecerse en la región, de manera de no comprometer el desarrollo futuro,

- el monitoreo del suelo y el seguimiento de los cambios en los insumos utilizados para producir, agroquímicos y fertilizantes, a los fines de la detección precoz de otros efectos sobre el mismo,

- el monitoreo de las fuentes de agua subterránea para captar variaciones en la disponibilidad en el tiempo y variaciones en su calidad,

- la realización de estudios económicos del costo de oportunidad de la utilización de los recursos naturales y del recurso agua subterránea con fines agropecuarios, a los efectos de regular la explotación de los acuíferos mediante la tarifa de uso,

- la realización de estudios sobre la sustentabilidad económica y social del sistema de producción olivo, incorporando la información surgida,

- el estudio de normas preventivas y de mecanismos legales que permitan atenuar los efectos de las prácticas de producción.

El suelo, es el recurso ambiental que menos atención ha recibido en comparación con el aire y el agua. Su particularidad de elevada variabilidad según los ambientes en los que se generó sumado a la elevada variabilidad de presiones que se ejercen sobre él, requiere de estudios particulares a los fines de generar la información necesaria para su control.

Un aspecto fundamental para el control y regulación del uso de los recursos naturales es la definición de su propiedad. El suelo destinado a la producción agropecuaria reviste el carácter de un bien privado, y los servicios ambientales que brinda a partir de preservar su funcionalidad afectan a la sociedad en su conjunto, por lo que los mismos revestirían el carácter de propiedad pública.

El Estado es quién tiene a su cargo las tareas antes mencionadas una vez definidos los derechos de propiedad. Las mismas son indelegables y solo serán posibles en la medida en que se generen instrumentos legales acordes y que se disponga de información técnica para su aplicación.

La información producida en el presente trabajo identifica, cuantifica y valora económicamente un daño ambiental según el Art. 27° de la Ley General del Ambiente, de carácter 'daño al ambiente en si mismo'; lo que constituye un verdadero aporte original para sustentar las decisiones políticas que se tomen de aquí en más y que posibiliten: i) la determinación de responsabilidades frente al daño establecido; ii) el establecimiento de acuerdos y mecanismos para mitigar el daño; iii) la aplicación de los instrumentos legales vigentes y la generación de normas destinadas a la preservación y a la regulación del uso agropecuario del suelo en el Valle Central de Catamarca, atendiendo a que el desarrollo agropecuario de la región es relativamente nuevo en términos económicos y ambientales.

ANEXO 1

MARCO LEGAL

MARCO LEGAL

A los efectos de ilustrar al lector, este anexo tiene por finalidad presentar el texto completo de las leyes de mayor relevancia para este trabajo, la Ley N° 25.675 'Ley General del Ambiente' y de la Ley N° 22.702 'Franquicias', mediante la cual se hace extensiva la Ley 22.021 de Desarrollo Económico a las provincias de Catamarca y San Luis.

"Ley General del Ambiente" Bien jurídicamente protegido -Ley N° 25.675

Presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable. Principios de la política ambiental. Presupuesto mínimo. Competencia judicial. Instrumentos de política y gestión. Ordenamiento ambiental. Evaluación de impacto ambiental. Educación e información. Participación ciudadana. Seguro ambiental y fondo de restauración. Sistema Federal Ambiental. Ratificación de acuerdos federales. Autogestión. Daño ambiental. Fondo de Compensación Ambiental.

Sancionada: Noviembre 6 de 2002

Promulgada parcialmente: Noviembre 27 de 2002

El Senado y Cámara de Diputados de la Nación Argentina reunidos en Congreso, etc. sancionan con fuerza de Ley:

"Ley General del Ambiente". Bien jurídicamente protegido

ARTICULO 1°__ La presente ley establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable.

ARTICULO 2°__ La política ambiental nacional deberá cumplir los siguientes objetivos:

a) Asegurar la preservación, conservación, recuperación y mejoramiento de la calidad de

los recursos ambientales, tanto naturales como culturales, en la realización de las diferentes actividades antrópicas;

b) Promover el mejoramiento de la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras, en forma prioritaria;

c) Fomentar la participación social en los procesos de toma de decisión;

d) Promover el uso racional y sustentable de los recursos naturales;

e) Mantener el equilibrio y dinámica de los sistemas ecológicos;

f) Asegurar la conservación de la diversidad biológica;

g) Prevenir los efectos nocivos o peligrosos que las actividades antrópicas generan sobre el ambiente para posibilitar la sustentabilidad ecológica, económica y social del desarrollo;

h) Promover cambios en los valores y conductas sociales que posibiliten el desarrollo sustentable, a través de una educación ambiental, tanto en el sistema formal como en el no formal;

i) Organizar e integrar la información ambiental y asegurar el libre acceso de la población a la misma;

j) Establecer un sistema federal de coordinación interjurisdiccional, para la implementación de políticas ambientales de escala nacional y regional

k) Establecer procedimientos y mecanismos adecuados para la minimización de riesgos ambientales, para la prevención y mitigación de emergencias ambientales y para la recomposición de los daños causados por la contaminación ambiental.

ARTICULO 3º__ La presente ley regirá en todo el territorio de la Nación, sus disposiciones son de orden público, operativas y se utilizarán para la interpretación y aplicación de la legislación específica sobre la materia, la cual mantendrá su vigencia en

cuanto no se oponga a los principios y disposiciones contenidas en ésta. Principios de la política ambiental

ARTICULO 4º__ La interpretación y aplicación de la presente ley, y de toda otra norma a través de la cual se ejecute la política Ambiental, estarán sujetas al cumplimiento de los siguientes principios: Principio de congruencia: La legislación provincial y municipal referida a lo ambiental deberá ser adecuada a los principios y normas fijadas en la presente ley; en caso de que así no fuere, éste prevalecerá sobre toda otra norma que se le oponga.

Principio de prevención: Las causas y las fuentes de los problemas ambientales se atenderán en forma prioritaria e integrada, tratando de prevenir los efectos negativos que sobre el ambiente se pueden producir.

Principio precautorio: Cuando haya peligro de daño grave o irreversible la ausencia de información o certeza científica no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces, en función de los costos, para impedir la degradación del medio ambiente.

Principio de equidad intergeneracional: Los responsables de la protección ambiental deberán velar por el uso y goce apropiado del ambiente por parte de las generaciones presentes y futuras.

Principio de progresividad: Los objetivos ambientales deberán ser logrados en forma gradual, a través de metas interinas y finales, proyectadas en un cronograma temporal que facilite la adecuación correspondiente a las actividades relacionadas con esos objetivos.

Principio de responsabilidad: El generador de efectos degradantes del ambiente, actuales o futuros, es responsable de los costos de las acciones preventivas y correctivas de recomposición, sin perjuicio de la vigencia de los sistemas de responsabilidad ambiental que correspondan.

Principio de subsidiariedad: El Estado nacional, a través de las distintas instancias de la administración pública, tiene la obligación de colaborar y, de ser necesario, participar en forma complementaria en el accionar de los particulares en la preservación y protección ambientales.

Principio de sustentabilidad: El desarrollo económico y social y el aprovechamiento de los recursos naturales deberán realizarse a través de una gestión apropiada del ambiente, de manera tal, que no comprometa las posibilidades de las generaciones presentes y futuras."

Principio de solidaridad: La Nación y los Estados provinciales serán responsables de la prevención y mitigación de los efectos ambientales transfronterizos adversos de su propio accionar, así como de la minimización de los riesgos ambientales sobre los sistemas ecológicos compartidos.

Principio de cooperación: Los recursos naturales y los sistemas ecológicos compartidos serán utilizados en forma equitativa y racional, El tratamiento y mitigación de las emergencias ambientales de efectos transfronterizos serán desarrollados en forma conjunta.

ARTICULO 5°__ Los distintos niveles de gobierno integrarán en todas sus decisiones y actividades previsiones de carácter ambiental, tendientes a asegurar el cumplimiento de los principios enunciados en la presente ley. Presupuesto mínimo

ARTICULO 6°__ Se entiende por presupuesto mínimo, establecido en el artículo 41 de la Constitución Nacional, a toda norma que concede una tutela ambiental uniforme o común para todo el territorio nacional, y tiene por objeto imponer condiciones necesarias para asegurar la protección ambiental. En su contenido, debe prever las condiciones necesarias para garantizar la dinámica de los sistemas ecológicos, mantener su capacidad de carga y, en general, asegurar la preservación ambiental y el desarrollo sustentable. Competencia judicial

ARTICULO 7°__ La aplicación de esta ley corresponde a los tribunales ordinarios según corresponda por el territorio, la materia, o las personas. En los casos que el acto, omisión o situación generada provoque efectivamente degradación o contaminación en recursos ambientales interjurisdiccionales, la competencia será federal. Instrumentos de la política y la gestión ambiental

ARTICULO 8°__ Los instrumentos de la política y la gestión ambiental serán los siguientes:

1. El ordenamiento ambiental del territorio,
2. La evaluación de impacto ambiental.

3. El sistema de control sobre el desarrollo de las actividades antrópicas.
4. La educación ambiental.
5. El sistema de diagnóstico e información ambiental.
6. El régimen económico de promoción del desarrollo sustentable. Ordenamiento ambiental

ARTICULO 9º__ El ordenamiento ambiental desarrollará la estructura de funcionamiento global del territorio de la Nación y se generan mediante la coordinación interjurisdiccional entre los municipios y las provincias, y de éstas y la ciudad de Buenos Aires con la Nación, a través del Consejo Federal de Medio Ambiente (COFEMA); el mismo deberá considerar la concertación de intereses de los distintos sectores de la sociedad entre sí, y de éstos con la administración pública.

ARTICULO 10.__ El proceso de ordenamiento ambiental, teniendo en cuenta los aspectos políticos, físicos, sociales, tecnológicos, culturales, económicos, jurídicos y ecológicos de la realidad local, regional y nacional, deberá asegurar el uso ambientalmente adecuado de los recursos ambientales, posibilitar la máxima producción y utilización de los diferentes ecosistemas, garantizar la mínima degradación y desaprovechamiento y promover la participación social, en las decisiones fundamentales del desarrollo sustentable. Asimismo, en la localización de las distintas actividades antrópicas y en el desarrollo de asentamientos humanos, se deberá considerar, en forma prioritaria:

- a) La vocación de cada zona o región, en función de los recursos ambientales y la sustentabilidad social, económica y ecológica;
- b) La distribución de la población y sus características particulares;
- c) La naturaleza y las características particulares de los diferentes biomas;
- d) Las alteraciones existentes en los biomas por efecto de los asentamientos humanos, de las actividades económicas o de otras actividades humanas o fenómenos naturales;
- e) La conservación y protección de ecosistemas significativos. Evaluación de impacto ambiental

ARTICULO 11.__ Toda obra o actividad que, en el territorio de la Nación, sea susceptible de degradar el ambiente, alguno de sus componentes, o afectar la calidad de vida de la población, en forma significativa, estará sujeta a un procedimiento de evaluación de impacto ambiental, previo a su ejecución.

ARTICULO 12.__ Las personas físicas o jurídicas darán inicio al procedimiento con la presentación de una declaración jurada, en la que se manifieste si las obras o actividades afectarán el ambiente. Las autoridades competentes determinarán la presentación de un estudio de impacto ambiental, cuyos requerimientos estarán detallados en ley particular y, en consecuencia, deberán realizar una evaluación de impacto ambiental y emitir una declaración de impacto ambiental en la que se manifieste la aprobación o rechazo de los estudios presentados.

ARTICULO 13.__ Los estudios de impacto ambiental deberán contener, como mínimo, una descripción detallada del proyecto de la obra o actividad a realizar, la identificación de las consecuencias sobre el ambiente, y las acciones destinadas a mitigar los efectos negativos. Educación ambiental

ARTICULO 14.__ La educación ambiental constituye el instrumento básico para generar en los ciudadanos, valores, comportamientos y actitudes que sean acordes con un ambiente equilibrado, propendan a la preservación de los recursos naturales y su utilización sostenible, y mejoren la calidad de vida de la población.

ARTICULO 15.__ La educación ambiental constituirá un proceso continuo y permanente, sometido a constante actualización que, como resultado de la orientación y articulación de las diversas disciplinas y experiencias educativas, deberá facilitar la percepción integral del ambiente y el desarrollo de una conciencia ambiental, Las autoridades competentes deberán coordinar con los consejos federales de Medio Ambiente (COFEMA) y de Cultura y Educación, la implementación de planes y programas en los sistemas de educación, formal y no formal. Las jurisdicciones, en función de los contenidos básicos determinados, instrumentarán los respectivos programas o currículos a través de las normas pertinentes. Información ambiental.

ARTICULO 16.__ Las personas físicas y jurídicas, públicas o privadas, deberán proporcionar la información que esté relacionada con la calidad ambiental y referida a las actividades que desarrollan. Todo habitante podrá obtener de las autoridades la información ambiental que administren y que no se encuentre contemplada legalmente como reservada.

ARTICULO 17.__ La autoridad de aplicación deberá desarrollar un sistema nacional integrado de información que administre los datos significativos y relevantes del ambiente, y evalúe la información ambiental disponible; asimismo, deberá proyectar y mantener un sistema de toma de datos sobre los parámetros ambientales básicos, estableciendo los mecanismos necesarios para la instrumentación efectiva a través del Consejo Federal de Medio Ambiente (COFEMA).

ARTICULO 18.__ Las autoridades serán responsables de informar sobre el estado del ambiente y los posibles efectos que sobre él puedan provocar las actividades antrópicas actuales y proyectadas. El Poder Ejecutivo, a través de los organismos competentes, elaborará un informe anual sobre la situación ambiental del país que presentará al Congreso de la Nación. El referido informe contendrá un análisis y evaluación sobre el estado de la sustentabilidad ambiental en lo ecológico, económico, social y cultural de todo el territorio nacional. Participación ciudadana

ARTICULO 19.__ Toda persona tiene derecho a ser consultada y a opinar en procedimientos administrativos que se relacionen con la preservación y protección del ambiente, que sean de incidencia general o particular, y de alcance general.

ARTICULO 20.__ Las autoridades deberán institucionalizar procedimientos de consultas o audiencias públicas como instancias obligatorias para la autorización de aquellas actividades que puedan generar efectos negativos y significativos sobre el ambiente. La opinión u objeción de los participantes no será vinculante para las autoridades convocantes; en caso de que éstas presenten opinión contraria a los resultados alcanzados en la audiencia o consulta pública deberán fundamentarla y hacerla pública.

ARTICULO 21.__ La participación ciudadana deberá asegurarse, principalmente, en los procedimientos de evaluación de impacto ambiental y en los planes y programas de

ordenamiento ambiental del territorio, en particular, en las etapas de planificación y evaluación de resultados. Seguro ambiental y fondo de restauración

ARTICULO 22.__ Toda persona física o jurídica, pública o privada, que realice actividades riesgosas para el ambiente, los ecosistemas y sus elementos constitutivos, deberá contratar un seguro de cobertura con entidad suficiente para garantizar el financiamiento de la recomposición del daño que en su tipo pudiere producir; asimismo, según el caso y las posibilidades, podrá integrar un fondo de restauración ambiental que posibilite la instrumentación de acciones de reparación. Sistema Federal Ambiental.

ARTICULO 23.__ Se establece el Sistema Federal Ambiental con el objeto de desarrollar la coordinación de la política ambiental, tendiente al logro del desarrollo sustentable, entre el gobierno nacional, los gobiernos provinciales y el de la Ciudad de Buenos Aires. El mismo será instrumentado a través del Consejo Federal de Medio Ambiente (COFEMA).

ARTICULO 24.__ El Poder Ejecutivo propondrá a la Asamblea del Consejo Federal de Medio Ambiente el dictado de recomendaciones o de resoluciones, según corresponda, de conformidad con el Acta Constitutiva de ese organismo federal, para la adecuada vigencia y aplicación efectiva de las leyes de presupuestos mínimos, las complementarias provinciales, y sus reglamentaciones en las distintas jurisdicciones. Ratificación de acuerdos federales

ARTICULO 25.__ Se ratifican los siguientes acuerdos federales:

1. Acta Constitutiva del Consejo Federal de Medio Ambiente (COFEMA), suscrita el 31 de agosto de 1990, en la ciudad de La Rioja, cuyo texto integra la presente ley como anexo I.
2. Pacto Federal Ambiental, suscrito el 5 de junio de 1993, en la ciudad de Buenos Aires, cuyo texto integra la presente ley como anexo II. Autogestión

ARTICULO 26.__ Las autoridades competentes establecerán medidas tendientes a:

- a) La instrumentación de sistemas de protección de la calidad ambiental que estén elaborados por los responsables de actividades productivas riesgosas;
- b) La implementación de compromisos voluntarios y la autorregulación que se ejecuta a través de políticas y programas de gestión ambiental;
- c) La adopción de medidas de promoción e incentivos. Además, se deberán tener en cuenta

los mecanismos de certificación realizados por organismos independientes, debidamente acreditados y autorizados. Daño ambiental

ARTICULO 27.__ El presente capítulo establece las normas que regirán los hechos o actos jurídicos, lícitos o ilícitos que, por acción u omisión, causen daño ambiental de incidencia colectiva. Se define el daño ambiental como toda alteración relevante que modifique negativamente el ambiente, sus recursos, el equilibrio de los ecosistemas, o los bienes o valores colectivos.

ARTICULO 28.__ El que cause el daño ambiental será objetivamente responsable de su restablecimiento al estado anterior a su producción. En caso de que no sea técnicamente factible, la indemnización sustitutiva que determine la justicia ordinaria interviniente, deberá depositarse en el Fondo de Compensación Ambiental que se crea por la presente, el cual será administrado por la autoridad de aplicación, sin perjuicio de otras acciones judiciales que pudieran corresponder.

ARTICULO 29.__ La exención de responsabilidad sólo se producirá acreditando que, a pesar de haberse adoptado todas las medidas destinadas a evitarlo y sin mediar culpa concurrente del responsable, los daños se produjeron por culpa exclusiva de la víctima o de un tercero por quien no debe responder. La responsabilidad civil o penal, por daño ambiental, es independiente de la administrativa. Se presume iuris tantum la responsabilidad del autor del daño ambiental, si existen infracciones a las normas ambientales administrativas.

ARTICULO 30.__ Producido el daño ambiental colectivo, tendrán legitimación para obtener la recomposición del ambiente dañado, el afectado, el Defensor del Pueblo y las asociaciones no gubernamentales de defensa ambiental, conforme lo prevé el artículo 43 de la Constitución Nacional, y el Estado nacional, provincial o municipal; asimismo, quedará legitimado para la acción de recomposición o de indemnización pertinente, la persona directamente damnificada por el hecho dañoso acaecido en su jurisdicción. Deducida demanda de daño ambiental colectivo por alguno de los titulares señalados, no podrán interponerla los restantes, lo que no obsta a su derecho a intervenir como terceros. Sin perjuicio de lo indicado precedentemente toda persona podrá solicitar, mediante acción de amparo, la cesación de actividades generadoras de daño ambiental colectivo.

ARTICULO 31.__ Si en la comisión del daño ambiental colectivo, hubieren participado dos o más personas, o no fuere posible la determinación precisa de la medida del daño aportado por cada responsable, todos serán responsables solidariamente de la reparación frente a la sociedad, sin perjuicio, en su caso, del derecho de repetición entre sí para lo que el juez interviniente podrá determinar el grado de responsabilidad de cada persona responsable. En el caso de que el daño sea producido por personas jurídicas la responsabilidad se haga extensiva a sus autoridades y profesionales, en la medida de su participación.

ARTICULO 32.__ La competencia judicial ambiental será la que corresponda a las reglas ordinarias de la competencia. El acceso a la jurisdicción por cuestiones ambientales no admitirá restricciones de ningún tipo o especie. El juez interviniente podrá disponer todas las medidas necesarias para ordenar, conducir o probar los hechos dañosos en el proceso, a fin de proteger efectivamente el interés general. Asimismo, en su Sentencia, de acuerdo a las reglas de la sana crítica, el juez podrá extender su fallo a cuestiones no sometidas expresamente su consideración por las partes. En cualquier estado del proceso, aun con carácter de medida precautoria, podrán solicitarse medidas de urgencia, aun sin audiencia de la parte contraria, prestando debida caución por los daños y perjuicios que pudieran producirse. El juez podrá, asimismo, disponerlas, sin petición de parte.

ARTICULO 33.__ Los dictámenes emitidos por organismos del Estado sobre daño ambiental, agregados al proceso, tendrán la fuerza probatoria de los informes periciales, sin perjuicio del derecho de las partes a su impugnación. La sentencia hará cosa juzgada y tendrá efecto erga omnes, a excepción de que la acción sea rechazada, aunque sea parcialmente, por cuestiones probatorias. Del Fondo de Compensación Ambiental

ARTICULO 34.__ Créase el Fondo de Compensación Ambiental que será administrado por la autoridad competente de cada jurisdicción y estará destinado a garantizar la calidad ambiental, la prevención y mitigación de efectos nocivos o peligrosos sobre el ambiente, la atención de emergencias ambientales; asimismo, a la protección, preservación, conservación o compensación de los sistemas ecológicos y el ambiente. Las autoridades podrán determinar que dicho fondo contribuya a sustentar los costos de las acciones de

restauración que puedan minimizar el daño generado. La integración, composición, administración y destino de dicho fondo serán tratados por ley especial.

ARTICULO 35.__ Comuníquese al Poder Ejecutivo.

DADA EN LA SALA DE SESIONES DEL CONGRESO ARGENTINO, EN BUENOS AIRES, A LOS SEIS DIAS DEL MES DE NOVIEMBRE DEL AÑO DOS MIL DOS.

-REGISTRADA BAJO EL N° 25.675-

EDUARDO O. CAMAÑO, JUAN C. MAQUEDA, Eduardo D. Rollano, Juan C. Oyarzún.

FRANQUICIAS

Se Hace extensivo a las Provincias de Catamarca y San Luis el régimen promocional establecido por la Ley N° 22.021, de Desarrollo Económico de la Provincia de La Rioja.

Introdúcense modificaciones a la citada ley.

Buenos Aires, 28 de diciembre de 1982.

Al Excelentísimo

Señor Presidente de la

Nación:

TENEMOS el honor de elevar a consideración del Primer Magistrado el proyecto de ley que se propicia hacer extensivo a las Provincias de Catamarca y San Luis el régimen promocional establecido por la Ley N° 22.021, de Desarrollo Económico de la Provincia de La Rioja.

El proyecto encuentra principios que llevaron a la sanción de aquella ley, con el fin de generar las fuentes de trabajo que el aumento demográfico de las Provincias de Catamarca y de San Luis requiere y con el objeto de revertir el éxodo de la población de esas provincias. Ello, a la luz de los excelentes resultados que el régimen promocional aludido ha dado en la provincia de La Rioja.

Por otra parte se introducen modificaciones a la Ley N° 22.021, tendientes a adecuarla como consecuencia de la incorporación de ambas provincias como áreas promovidas.

Prueba de ello es la designación de los Poderes Ejecutivos de las Provincias de Catamarca y de San Luis como autoridades de aplicación del régimen promocional en los respectivos territorios provinciales.

Asimismo se han adaptado los artículos 1º, 2º, 5º, 7º, 8º y 10, referentes a términos de goce y usufructo de franquicias por parte de los entes radicados en las provincias promovidas y derogado el artículo 6º por haber perdido vigencia.

Por lo expuesto, se estima que el Primer Magistrado ha de adoptar una decisión favorable al proyecto que se remite a su consideración.

Dios guarde a Vuestra Excelencia.

Jorge Wehbe. - Lucas J. Lennon. - Llamil Reston.

LEY 22.702

Buenos Aire, 29 de diciembre de 1982.

EN uso de las atribuciones conferidas por el Artículo 5º del Estatuto para el Proceso de Reorganización Nacional;

EL PRESIDENTE

DE LA NACION ARGENTINA

SANCIONA Y PROMULGA

CON FUERZA DE LEY:

ARTICULO 1º. - Extiéndese a las Provincias de Catamarca y San Luis, el Régimen promocional establecido por la Ley 22.021 de desarrollo económico de la Provincia de La Rioja, con las modificaciones que se introducen a la misma por la presente Ley.

ARTICULO 2º. - Modificase la Ley N° 22021 de la siguiente forma:

1. Sustitúyese el artículo 1º por el siguiente:

Artículo 1º. - Las inversiones efectuadas en explotaciones de la naturaleza que se indica, ubicadas en la Provincia de La Rioja, en el período comprendido entre el 1º de enero de 1978 y el 31 de diciembre de 1992, ambas fechas inclusive, y las ubicadas en las

provincias de Catamarca y de San Luis, en el período comprendido entre el 1° de enero de 1982 y el 31 de diciembre de 1992, ambas fechas inclusive, podrán deducirse de la materia imponible del impuesto a las ganancias o del que lo complementa o lo sustituya, por:

a) Las explotaciones agrícola - ganaderas, ubicadas exclusivamente en las provincias de Catamarca y La Rioja:

1. El ciento por ciento (100 %) del monto resultante por diferencia entre los valores correspondientes a la existencia de hacienda hembra vacuna, porcina, caprina y ovina, de las explotaciones de cría, sin restricción por tipo o calidad, al final del ejercicio con relación a la existencia al comienzo del mismo, ya sea por compra o por la retención de la propia producción.

2. El ciento por ciento (100 %) de los montos invertidos en maquinaria agrícola, entendiéndose también como tal la utilizada en la ganadería y aquella que complete el ciclo productivo agrario; en tractores y acoplados de uso agrícola; en elementos de tracción y transporte, excluidos automóviles; en equipos de lucha contra incendio; en instalaciones y equipos de refrigeración, electrificación o inseminación artificial; en el tendido de líneas de conducción de energía eléctrica; en galpones, silos, secadores y elevadores de campaña; en alambrados, cercas, mangas, bañaderos, corrales y básculas; en aguadas, molinos, tanques, bebederos, represas, pozos y elementos para riego; en perforaciones, bombas y motores para extracción de agua o para desagües, y las destinadas a la provisión de agua y canalización y sistematización para riego. Estas deducciones sólo serán procedentes cuando se efectúen en bienes nuevos.

3. El ciento por ciento (100 %) de los montos invertidos en praderas permanentes comprendidos los trabajos culturales de la tierra que se realicen en el ejercicio de implantación; en alfalfares y plantaciones perennes; en cortinas vegetales contra vientos; en reproductores machos bovinos, porcinos, caprinos y ovinos.

4. El ciento por ciento (100 %) de los montos invertidos en la vivienda única construida en el establecimiento para el productor y para el personal de trabajo y su familia y en las ampliaciones de la misma; en trabajos de desmonte, rozaduras, nivelación y fijación de médanos.

Los beneficios que acuerda este inciso incluyen, en cuanto se refiere a viñedos, montes frutales, ágave, sisal y otros textiles y otras plantaciones perennes, a todas las erogaciones que constituyan costos de implantación y alcanza solamente, tratándose de viñedos, a los destinados a producir uva sin semilla con destino a pasas, de mesa de maduración temprana y a las seleccionadas para la elaboración de vinos finos y regionales.

b) Las ramas industriales que determine el Poder Ejecutivo nacional, el ciento por ciento (100 %) de los montos invertidos en maquinarias, equipos, instalaciones, en tanto se trate de bienes nuevos, y en la construcción de obras civiles, utilizados directamente en el proceso industrial.

c) Las actividades turísticas, el ciento por ciento (100 %) de las sumas invertidas en equipamientos e instalaciones, en tanto se trate de bienes nuevos, y en la construcción y ampliación de inmuebles destinados a hoteles y restaurantes.

La refacción de dichos inmuebles estará comprendida en este inciso sólo cuando constituya una verdadera mejora introducida en los mismos y no meros gastos de mantenimiento.

Las empresas o explotaciones que realicen inversiones comprendidas en los incisos precedentes podrán deducir - sin perjuicio de su cómputo como gasto - hasta el cincuenta por ciento (50 %) de los montos efectivamente abonados en cada ejercicio, y por los períodos establecidos en el primer párrafo, a personas radicadas, respectivamente, en las provincias de La Rioja, Catamarca o San Luis, por concepto de sueldos, salarios, jornales y sus correspondientes cargas sociales, honorarios y mano de obra por servicios. Esta deducción será procedente sólo respecto de las personas afectadas directamente a las actividades y/o explotaciones que se acojan a los beneficios del presente artículo, y no podrá ser usufructuada por las explotaciones agrícola - ganaderas ubicadas en la provincia de San Luis.

Las deducciones previstas en este artículo referidas a la adquisición o construcción de bienes serán realizadas en el ejercicio fiscal en que se habiliten los respectivos bienes. En todos los casos la habilitación deberá efectuarse con anterioridad al 31 de diciembre de 1994. Las restantes deducciones se practicarán en el ejercicio fiscal en que se realicen las inversiones, se determine un incremento de existencias de hacienda a que alude el punto 1

del inciso a) de este artículo o se efectivicen los pagos por los conceptos mencionados en el párrafo precedente.

2. Sustituyese el artículo 2° por el siguiente:

Artículo 2° - Estarán exentos del pago del impuesto a las ganancias, o del que lo complemente o sustituya, los beneficios provenientes de explotaciones agrícola - ganaderas realizadas en predios adquiridos o adjudicados mediante el régimen de saneamiento de la propiedad rural indivisa y del minifundio de la provincia de La Rioja o mediante el régimen similar instituido por el gobierno de la provincia de Catamarca para su jurisdicción. Esta franquicia regirá por el término de quince (15) años a partir de la adjudicación o compra de acuerdo con la siguiente escala:

Año		Porcentaje exento
1	Hasta	100 %
2	„	100%
3	„	100%
4	„	100%
5	„	100%
6	„	95 %
7	„	90%
8	„	85%
9	„	80%
10	„	70%
11	„	60%
12	„	45 %
13	„	35%
14	„	25%
15	„	15 %

A los fines del párrafo anterior, en los casos en que la adjudicación o compra se efectuara con posterioridad al 31 de diciembre de 1983, la franquicia de este artículo regirá para los ejercicios anuales que se cierran hasta el 31 de diciembre de 1993, inclusive.

Igual exención corresponderá a las utilidades originadas en nuevas explotaciones agrícola - ganaderas, realizadas mediante la obtención de aguas subterráneas en las zonas que determine la autoridad de aplicación y en las condiciones que la misma establezca. Esta franquicia regirá para las explotaciones que se inicien antes del 31 de diciembre de 1983 y por los ejercicios que se cierren hasta el 31 de diciembre de 1993, inclusive, e iniciadas en la provincia de La Rioja a partir del 1° de enero de 1979, inclusive, y en la provincia de Catamarca a partir del 1° de enero de 1982, inclusive.

3. Sustitúyese el artículo 5° por el siguiente:

Artículo 5° - Estará exento del pago del impuesto a las ganancias o del que lo complemente o sustituya el monto de las utilidades provenientes de explotaciones industriales realizadas en las provincias de La Rioja, Catamarca o San Luis, no comprendidas en los artículos 1° o 3°, que se reinviertan durante el ejercicio fiscal en que se generan, o en los dos (2) ejercicios fiscales inmediatos siguientes al mismo, en los conceptos admitidos por el artículo 1°, inciso b), a cuyo efecto se valuarán al doscientos por ciento (200%) de su valor de costo. Esta exención regirá en la provincia de La Rioja para los ejercicios cerrados desde el 1° de enero de 1978 y hasta el 31 de diciembre de 1992, ambas fechas inclusive, y en las provincias de Catamarca y San Luis para los ejercicios cerrados desde el 1° de enero de 1983 y hasta el 31 de diciembre de 1992, ambas fechas inclusive.

En el supuesto de no efectuarse la inversión en el lapso indicado, el doscientos por ciento (200 %) del importe no invertido deberá imputarse como materia imponible del ejercicio fiscal en que se produzca el vencimiento del mismo, debiendo actualizarse los importes respectivos aplicando el índice de actualización mencionado en el artículo 82 de la ley de impuesto a las ganancias, texto ordenado en 1977 y sus modificaciones, referido al mes de cierre del ejercicio fiscal en que operó la exención, según la tabla elaborada por la Dirección General Impositiva para el mes de cierre del ejercicio fiscal en que corresponda efectuar la imputación. A estos efectos se entenderá que los importes invertidos absorben en primer término las utilidades exentas correspondientes a los ejercicios fiscales más antiguos.

4. Derógase el artículo 6°.

5. Sustituyese el artículo 7° por el siguiente:

Artículo 7° - Estarán exentas del pago del impuesto sobre capital de las empresas, o del que lo complemente o sustituya, los bienes incorporados al patrimonio de las explotaciones por aplicación de las disposiciones contenidas en los artículos 1° y 5°. Esta exención regirá para los períodos fiscales a que se refieren dichos artículos.

Asimismo estarán exentas del impuesto sobre el capital de las empresas las explotaciones comprendidas en los artículos 2° y 3°. Esta exención regirá para los períodos fiscales a que se refieren dichos artículos y de conformidad con la escala del artículo 2°.

6. Sustitúyese el artículo 8° por el siguiente:

Artículo 8°: Las explotaciones industriales a que alude el artículo 3°, que se hayan instalado o se instalen en la provincia de La Rioja con posterioridad al 4 de julio de 1979 y en las provincias de Catamarca y San Luis con posterioridad al 1° de enero de 1983, inclusive, gozarán de las siguientes franquicias en el impuesto al valor agregado, o el que lo sustituya o complemente:

a) Liberación por sus ventas en el mercado interno y durante quince (15) ejercicios anuales a partir de la puesta en marcha del impuesto resultante a que se refiere el artículo 16 de la ley de impuesto al valor agregado, texto ordenado en 1977 y sus modificaciones, sin perjuicio de su sujeción a las restantes disposiciones de dicho régimen legal. La empresa beneficiaria deberá facturar el monto del impuesto devengado por sus ventas de conformidad a lo fijado en el artículo 19 del mencionado texto legal, teniendo éste carácter de impuesto tributado, a fin de constituirse en crédito fiscal en las etapas subsiguientes.

b) Los productores de materias primas o semielaboradas estarán liberados, por el monto del débito fiscal resultante de las ventas que realicen a empresas beneficiarias del régimen de este artículo desde el día 1°, inclusive, del mes de la puesta en marcha de estas últimas, del impuesto al valor agregado y/o del que lo sustituya o complemente, sin perjuicio de la sujeción a las restantes disposiciones de dicho impuesto.

c) Las empresas que vendan bienes de uso a instalarse en las provincias promovidas por este régimen, vinculados directamente al proceso productivo de las explotaciones

comprendidas en el artículo 3°, sus partes, repuestos y accesorios, estarán liberadas, por el monto del débito fiscal resultante de las ventas que realicen, del impuesto al valor agregado, o del que lo sustituya o complemente, sin perjuicio de la sujeción a las restantes disposiciones de dicho impuesto.

Esta franquicia solamente alcanzará a aquellos bienes necesarios para la puesta en marcha, previa aprobación del listado por la autoridad de aplicación;

d) La liberación señalada en los incisos b) y c) estará condicionada a la efectiva reducción de los precios del importe correspondiente al gravamen liberado. Para cumplimentar este requisito los proveedores sólo deberán facturar la parte no liberada del impuesto. Asimismo, deberán asentar en la factura o documento respectivo la leyenda "A responsable IVA con impuesto liberado", dejando constancia expresa del porcentaje o importe de liberación que corresponda. Este importe tendrá el carácter de impuesto tributado y/o crédito fiscal en las etapas subsiguientes;

e) La liberación establecida en los incisos a) y b) procederá de acuerdo con la escala establecida en el artículo 2°.

Por su parte, la liberación dispuesta en el inciso c) procederá de conformidad con la siguiente escala:

Año	Porcentaje de liberación
1979	100%
1980	100%
1981	100%
1982	90%
1983	80%
1984	70%
1985	60%
1986	50%
1987	40%
1988	30%
1989	20%
1990	10%

7. Sustituyese el artículo 10 por el siguiente:

Artículo 10. - Los adquirentes de plantas industriales de propiedad de las provincias de La Rioja, Catamarca o San Luis que las incorporen a la efectiva producción mediante la utilización integral de sus instalaciones podrán acogerse a los beneficios de esta ley, en condiciones análogas a los sujetos del artículo 3° y en la medida que cumplan las condiciones especiales y el plazo mínimo de continuidad en la explotación que a tal efecto determinará el respectivo Poder Ejecutivo provincial, con la limitación de que gozarán de hasta el cincuenta por ciento (50%) de los beneficios a que aluden los artículos 3°, 7°, 9° y 11 y el ciento por ciento (100 %) de los beneficios del artículo 8°.

8. Sustitúyese el artículo 19 por el siguiente:

Artículo 19: Actuarán como autoridad de aplicación de la presente ley los poderes ejecutivos de las provincias de La Rioja, Catamarca o San Luis, según corresponda, excepto respecto de los proyectos industriales, en cuyo caso serán autoridades de aplicación el Ministerio de Economía de la nación y/o los poderes provinciales antes mencionados, de acuerdo con las siguientes normas:

a) Para proyectos que no superen la suma de un mil quinientos millones de pesos (\$ 1.500.000.000), la provincia respectiva realizará la evaluación y dictará el acto administrativo, resolviendo sobre los beneficios promocionales solicitados;

b) Para proyectos que superen la suma establecida en el inciso a), y hasta tres mil millones de pesos (pesos 3.000.000.000) la provincia respectiva realizará la evaluación y comunicará el resultado a la Secretaría de Industria y Minería y, con posterioridad al informe de esta última, dictará el acto administrativo resolviendo sobre los beneficios promocionales solicitados;

c) Para proyectos que superen los tres mil millones de pesos (pesos 3.000.000.0000), la provincia respectiva realizará la evaluación, comunicará el resultado a la Secretaría de Industria y Minería y esta resolverá de por si o propondrá al Ministerio de Economía de la Nación o al Poder Ejecutivo nacional el dictado del acto administrativo resolviendo sobre

los beneficios promocionales conforme a las competencias establecidas con relación al monto por la ley 21.608 y su reglamentación;

En todos los casos, la evaluación de los proyectos deberá determinar su factibilidad técnico - económica y jurídica, de acuerdo a lo dispuesto por la ley 21.608 y su reglamentación.

La facultad otorgada a los poderes ejecutivos de las provincias promocionadas respecto de los proyectos industriales lo es hasta el 30 de junio de 1984 para las provincias de Catamarca y San Luis, y hasta el 30 de junio de 1985 para la provincia de La Rioja.

Una vez vencido ese plazo, el Poder Ejecutivo podrá disponer la prórroga de dicha facultad por períodos sucesivos de tres (3) años, previa evaluación del presente régimen que deberá efectuar la Secretaría de Industria y Minería.

Los importes fijados en los incisos a), b) y c) del presente artículo se actualizarán mensualmente, mediante la aplicación del índice mencionado en el artículo 82 de la Ley del Impuesto a las Ganancias, texto ordenado en 1977 y sus modificaciones, referido al mes de enero de 1979, que indique la tabla elaborada por la Dirección General Impositiva para el mes de que se trate.

En todos los casos de explotaciones a instalarse en zonas de frontera o de seguridad, el proyecto deberá tener intervención y dictamen previo del Ministerio de Defensa. Cuando el proyecto tratare sobre una industria relativa a la defensa y seguridad nacional o de una industria a instalarse en zonas de seguridad, asimismo como cuando el titular del proyecto fuera un inversor extranjero o una empresa local de capital extranjero, se ajustará al procedimiento establecido en la ley 21.608, artículo 11, segundo párrafo, incisos a) y b).

Art. 3° - La presente ley entrará en vigencia a partir de la fecha de su publicación en el Boletín Oficial.

Art. 4° - Comuníquese, publíquese, dése a la Dirección Nacional del Registro Oficial y archívese.

BIGNONE.-Jorge Wehbe. - Llamil Reston. - Lucas J. Lennon.

ANEXO 2

TRATAMIENTO DE IMÁGENES

TRATAMIENTO DE IMÁGENES

El presente anexo tiene como finalidad aportar detalles sobre los pasos seguidos en el tratamiento de imágenes para arribar a los resultados mostrados en el Capítulo 2.

Cálculo del Índice OIF para la selección de bandas para componer la imagen de trabajo

Para su cálculo primero se obtuvieron los histogramas y parámetros estadísticos de cada una de las bandas que conforman las imágenes utilizadas y luego mediante regresión lineal entre bandas se obtuvieron los diferentes coeficientes de correlación, para lo cual se siguieron los siguientes pasos en el Programa IDRISI versión Andes:

Obtención de Histogramas y Parámetros estadísticos

- Selección del archivo de trabajo: menú File → Data Paths → Project environment → Browse → Buscar carpeta → Selección de la carpeta Imágen 1989/2006
- Obtención del Histograma y parámetros estadísticos de las bandas: menú GYS Analysis → Statistics → HISTO: en el cuadro de diálogo desplegado se ingresa la banda de la que se quieren obtener los parámetros.

Obtención de los coeficientes de correlación entre bandas de una misma imagen

- Selección del archivo de trabajo: menú File → Data Paths → Project environment → Browse → Buscar carpeta → Selección de la carpeta Imágen 1989/2006
- Obtención de los coeficientes de correlación: menú GYS Analysis Statistics
 - REGREES: se despliega el cuadro de diálogo Regrees analysis, se selecciona Imagen file, luego se indica la banda que hará de variable independiente y la banda que hará de variable dependiente.

Con la información obtenida en los pasos anteriores se procedió a calcular el OIF, de acuerdo a lo indicado en el apartado Materiales y Métodos del Capítulo 2, aplicando las ecuaciones 2.1 y 2.2.

Los resultados se resumen en las Tablas 1, 2 y 3, donde se resaltan en negrita las combinaciones de bandas seleccionadas por su nitidez. Se presentan además los histogramas y los análisis de regresión de donde surgieron los datos que contienen dichas tablas.

Tabla 1. Resumen de parámetros estadísticos de las bandas. a) Imagen 1989; b) Imagen 2006.

a)

Bandas	Desviación		Valor	
	Media	Estandar	Mínimo	Maximo
1	53.96	39.57	0	255
2	26.77	20.77	0	255
3	32.56	28.46	0	255
4	46.19	33.36	0	255
5	68.49	51.34	0	255
7	36.77	30.96	0	255

b)

Bandas	Desviación		Valor	
	Media	Estandar	Mínimo	Maximo
1	127.43	63.02	54	255
2	126.88	62.24	59	255
3	126.58	60.55	66	255
4	127.55	63.26	56	255
5	127.28	63.29	58	255
7	126.77	62.06	65	255

Tabla 2. Coeficientes de correlación entre bandas. a) Imagen 1989; b) Imagen 2006.

a)

Bandas	1	2	3	4	5	7
1	1	0.98	0.95	0.95	0.96	0.94
2	0.98	1	0.98	0.94	0.97	0.97
3	0.95	0.98	1	0.9	0.95	0.98
4	0.95	0.94	0.9	1	0.95	0.9
5	0.96	0.97	0.95	0.95	1	0.97
7	0.94	0.97	0.98	0.9	0.97	1

b)

Bandas	1	2	3	4	5	7
1	1	0.98	0.95	0.92	0.97	0.95
2	0.98	1	0.98	0.9	0.97	0.97
3	0.95	0.98	1	0.84	0.94	0.97
4	0.92	0.9	0.84	1	0.93	0.85
5	0.97	0.97	0.94	0.93	1	0.97
7	0.95	0.97	0.97	0.85	0.97	1

Tabla 3. Índice OIF. a) Imagen 1989; b) Imagen 2006.

a)

Ranking	Combinación de bandas	OIF
9	1,4,7	67.51
5	1,3,4	67.33
20	4,5,7	66.88
18	3,4,7	66.86
17	3,4,5	66.82
15	2,4,7	66.75
8	1,4,5	66.28
14	2,4,5	66.01
11	2,3,4	65.98
2	1,2,4	65.69
10	1,5,7	65.63
6	1,3,5	65.34
4	1,2,7	64.82
3	1,2,5	64.79
7	1,3,7	64.68
16	2,5,7	64.46
12	2,3,5	64.17
19	3,5,7	64.10
1	1,2,3	63.85
13	2,3,7	63.09

b)

Ranking	Combinación de bandas	OIF
13	1,4,5	44.07
11	1,5,7	42.17
1	4,5,7	42.06
4	3,4,5	41.76
15	1,3,5	41.74
2	3,5,7	38.46
18	1,2,5	38.25
12	1,4,7	38.19
7	2,4,5	37.67
5	2,5,7	35.42
3	3,4,7	34.88
9	2,3,5	34.80
16	1,3,4	34.58
14	1,3,7	34.49
19	1,2,4	33.46
17	1,2,7	31.48
6	2,4,7	31.28
20	1,2,3	30.52
10	2,3,4	30.36
8	2,3,7	27.46

Referencias: Negrita: Combinación de bandas seleccionada para trabajar por su nitidez.

Se presentan a continuación los histogramas y parámetros estadísticos para cada banda de cada imagen utilizada y los coeficientes de correlación obtenidos entre bandas para cada imagen.

Histogramas y Parámetros estadísticos -Imagen 1989

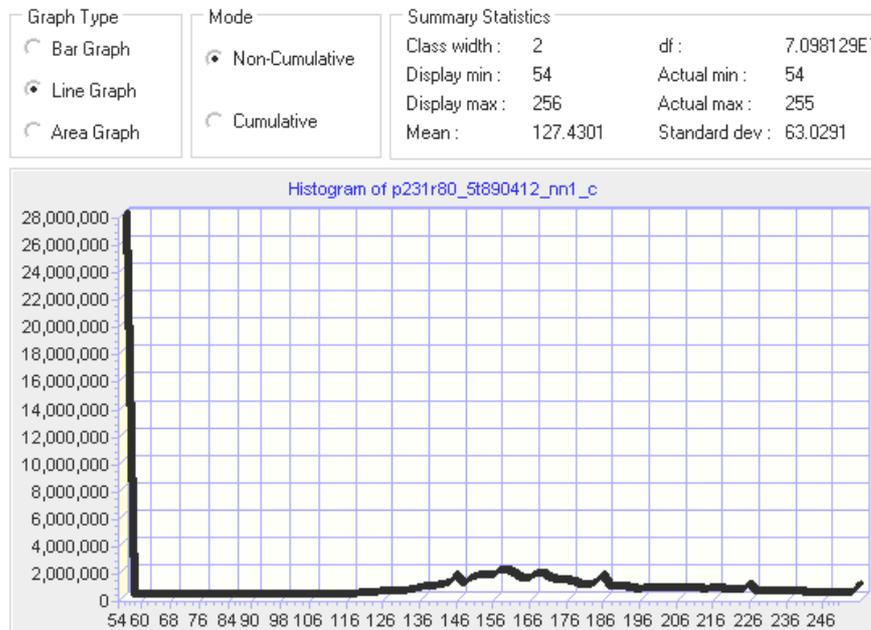


Fig. 1. Histograma y Parámetros estadísticos Banda 1, Imagen 1989.

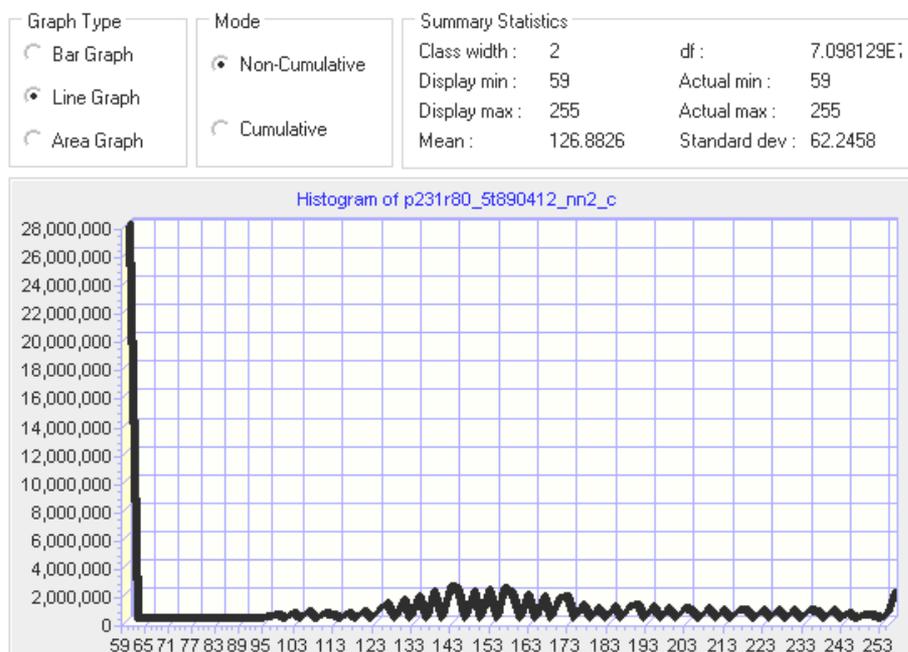


Fig. 2. Histograma y Parámetros estadísticos Banda 2, Imagen 1989.

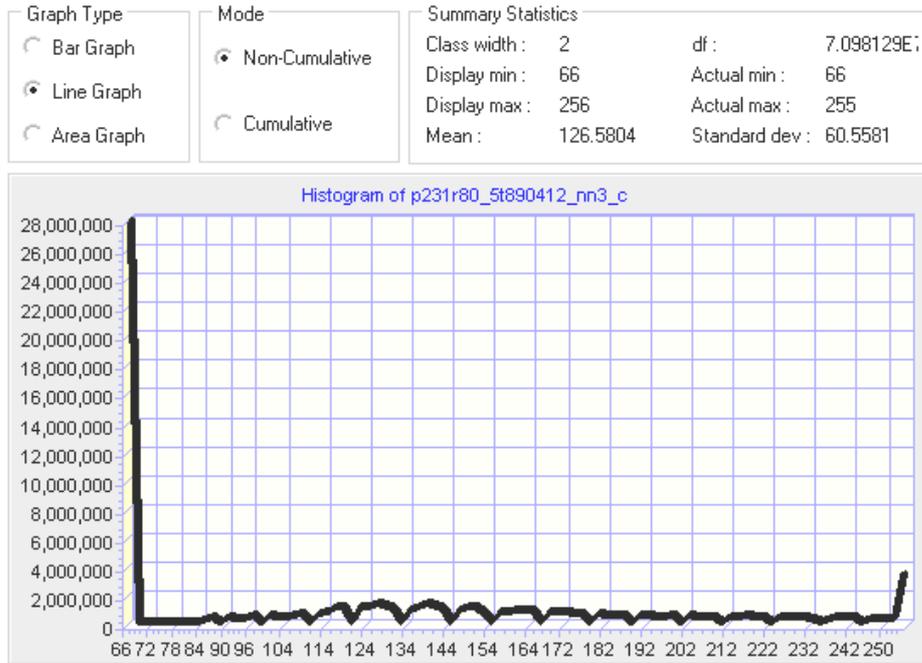


Fig. 3. Histograma y Parámetros estadísticos Banda 3, Imagen 1989.

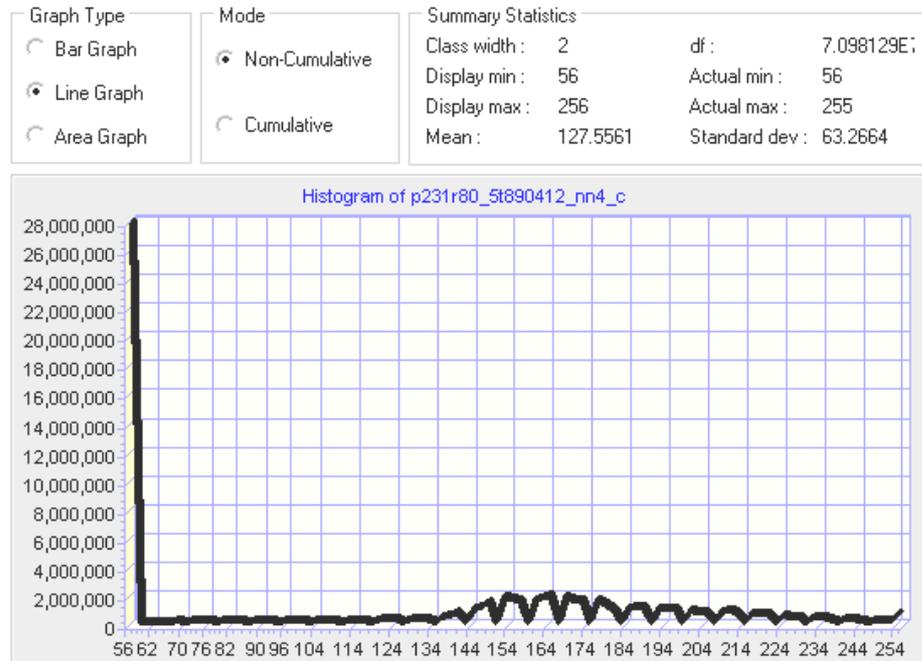


Fig. 4. Histograma y Parámetros estadísticos Banda 4, Imagen 1989.

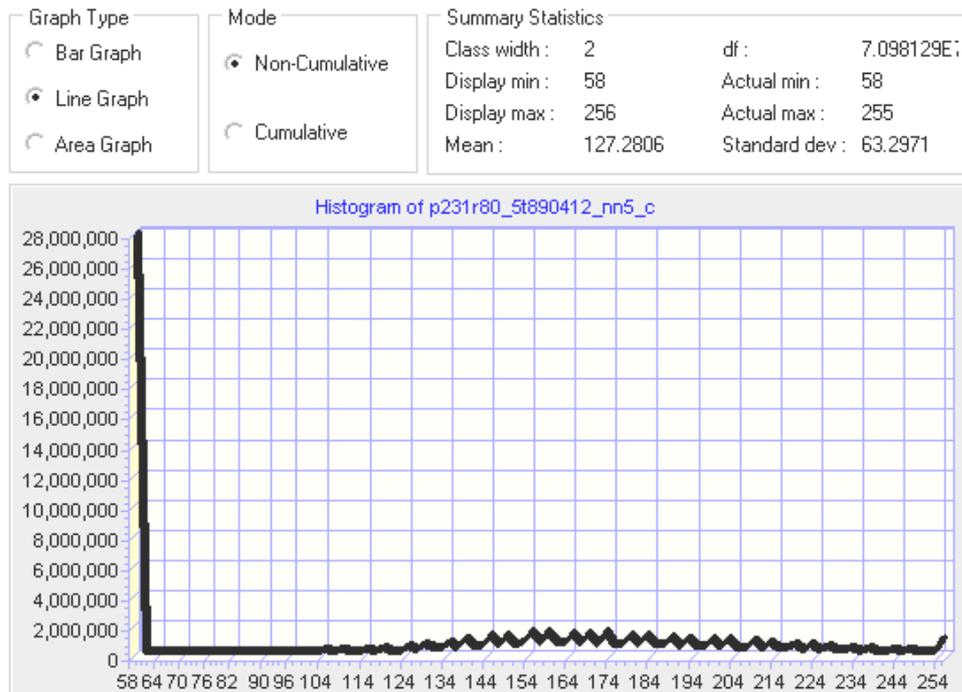


Fig. 5. Histograma y Parámetros estadísticos Banda 5, Imagen 1989.

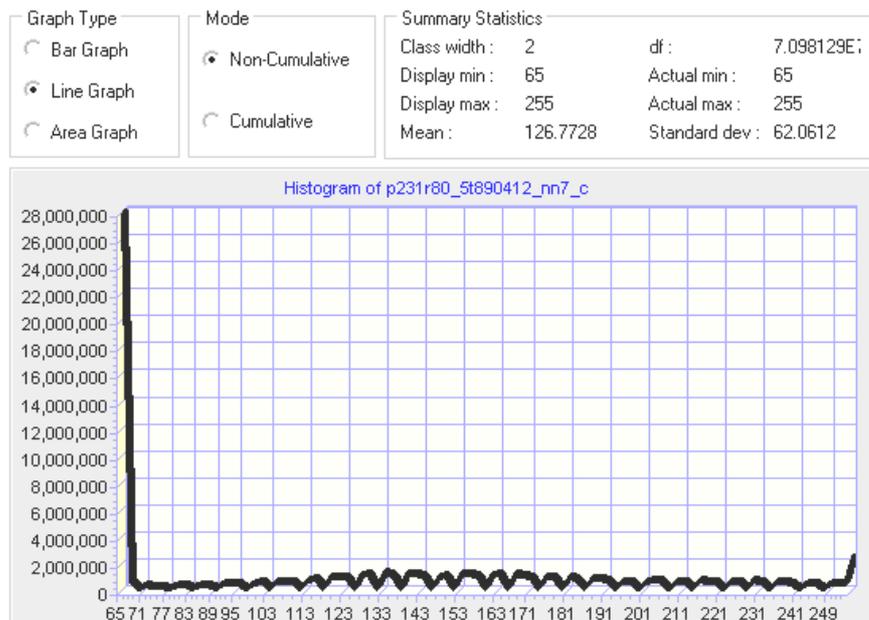


Fig. 6. Histograma y Parámetros estadísticos Banda 7, Imagen 1989.

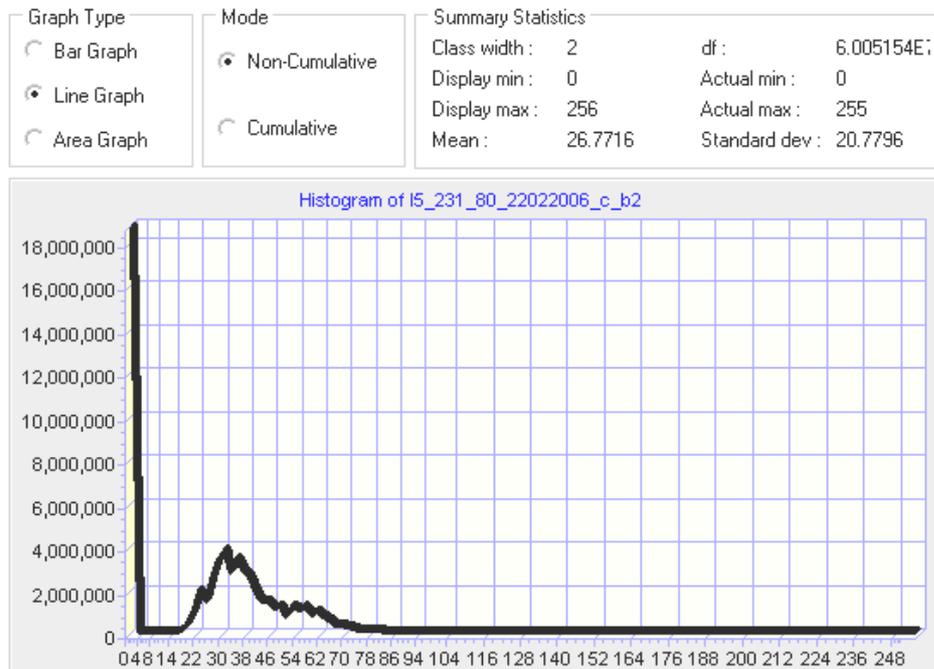


Fig. 23. Histograma y Parámetros estadísticos Banda 2, Imagen 2006.

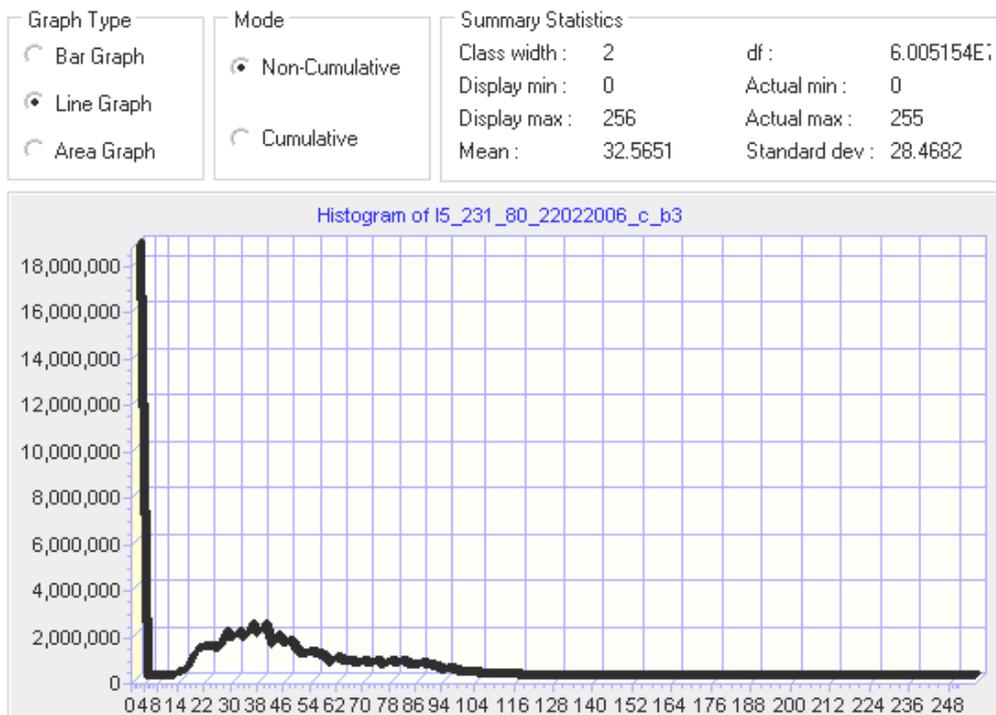


Fig. 24. Histograma y Parámetros estadísticos Banda 3, Imagen 2006.

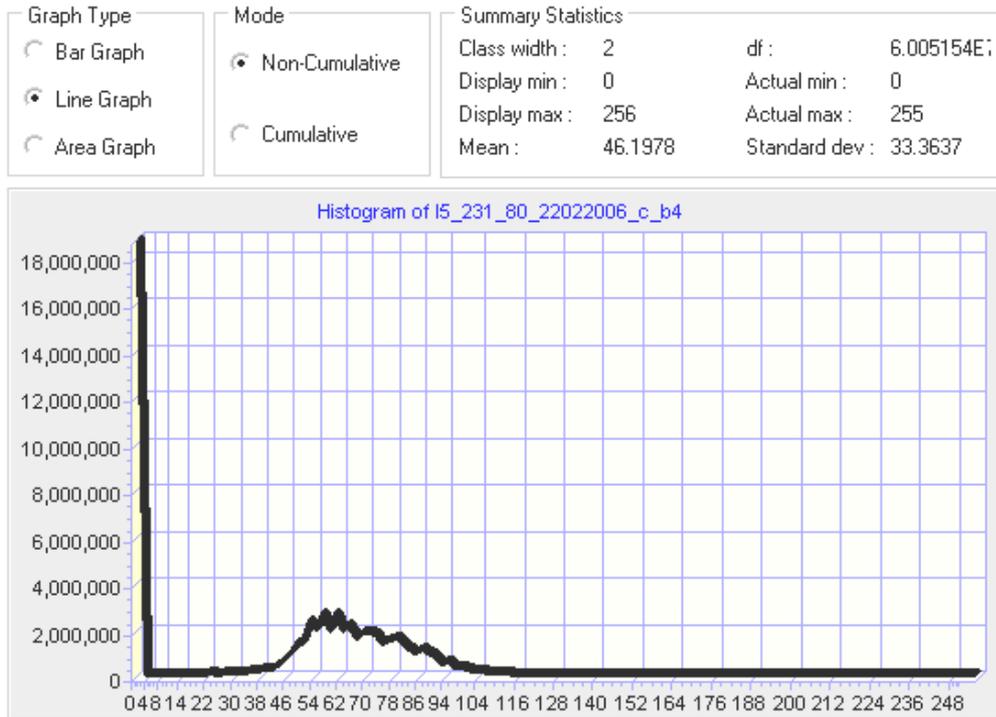


Fig. 25. Histograma y Parámetros estadísticos Banda 4, Imagen 2006.

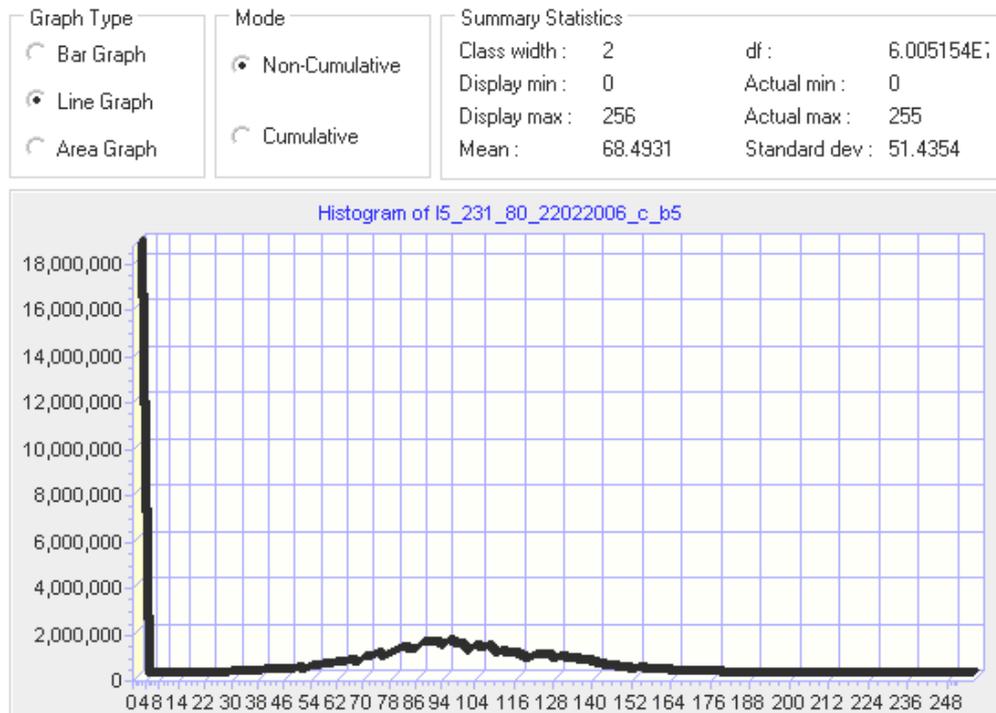


Fig. 26. Histograma y Parámetros estadísticos Banda 5, Imagen 2006.

Clasificación supervisada. Extracción de firmas espectrales

Elaboración capa vectorial

Se digitalizaron sobre ambas imágenes, 1989 y 2006, muestras de las categorías monte, cultivo y desmonte/ganadería; y sobre la imagen 2006 muestras de cultivo irrigado con agua superficial y agua subterránea. Las muestras de cada categoría estuvieron formadas por 15 polígonos cada una, generándose tres capas vectoriales.

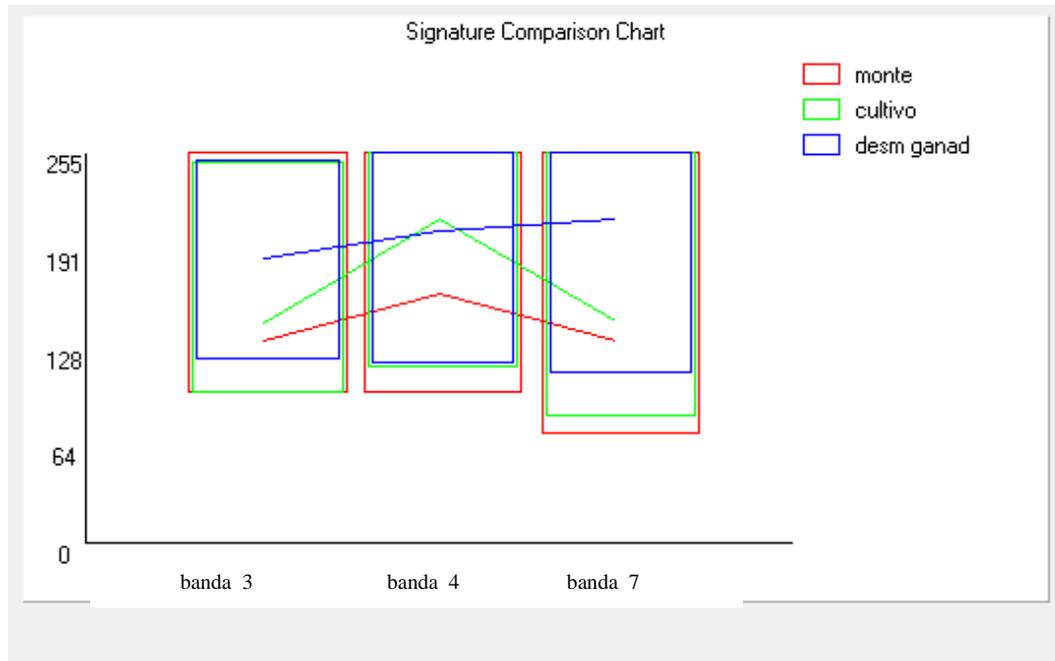
Conversión

Las capas vectoriales generadas, fueron convertidas a formato binario utilizando el menú Reformat → CONVERT

Extracción y Comparación de las firmas espectrales

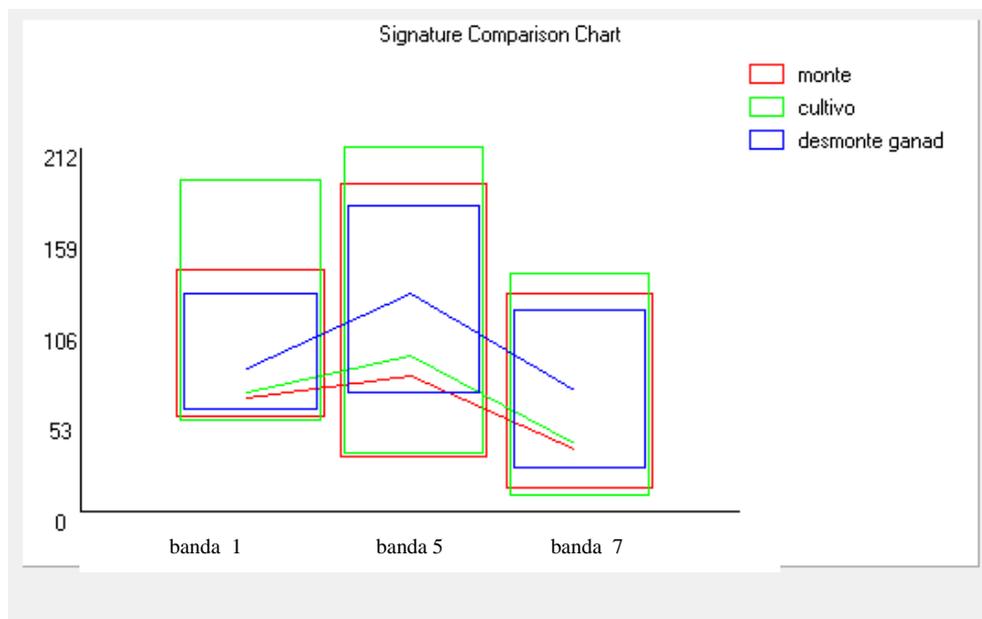
Las capas vectoriales convertidas a formato binario, se procesaron utilizando el menú Image Processing → Signature Development → MAKESIG, para obtener las características estadísticas de cada categoría, las que fueron examinadas a los fines de su comparación, utilizando el SIGCOMP del sub-menú Signature Development.

Los resultados se muestran en las Figuras 42, 43 y 44.



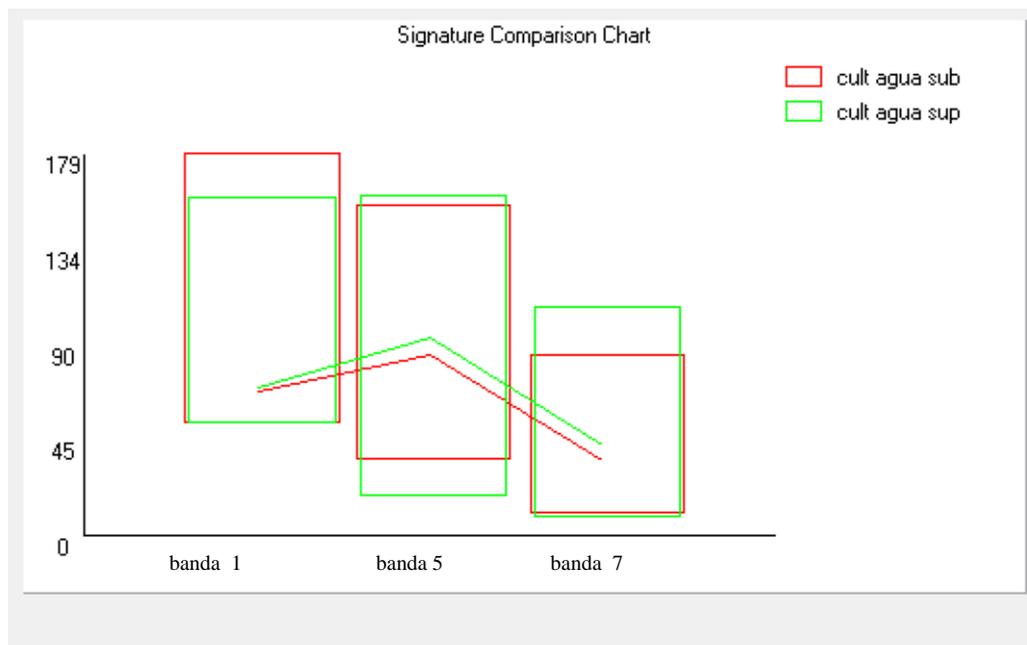
Referencias. □ Cajas representan valores mínimos y máximos de radiancia para cada categoría en cada banda;
 — Líneas representan los valores de radiancia promedio de cada categoría en cada banda.

Fig. 43. Comparación de firmas espectrales. Imagen 1989



Referencias. □ Cajas representan valores mínimos y máximos de radiancia para cada categoría en cada banda;
 — Líneas representan los valores de radiancia promedio de cada categoría en cada banda.

Fig. 44. Comparación de firmas espectrales. Imagen 2006



Referencias. □ Cajas representan valores mínimos y máximos de radiancia para cada categoría en cada banda;
 — Líneas representan los valores de radiancia promedio de cada categoría en cada banda.

Fig. 45. Comparación de firmas espectrales de áreas cultivadas. Imagen 2006.

Clasificación de imágenes

Este paso se ejecuta a los fines de conocer cuan bien pueden distinguirse las categorías en estudio en una imagen, a partir de su firma espectral mostrada en las figuras presentadas precedentemente. Para ello se utilizó el menú Image Processing Hard Classifiers MINIDIST, puesto que existen algunas dudas acerca de la calidad de los centros de formación (en particular, su uniformidad).

La técnica MINDIST se basa en el agrupamiento de píxeles para formar cada categoría en estudio, en base a la distancia mínima de los valores medios de reflectancia de los datos obtenidos en los archivos de extracción de firmas espectrales. Los píxeles se asignan a la clase con la media más cercana al valor de ese píxel.

Los resultados se muestran en las Figuras 44, 45 y 46

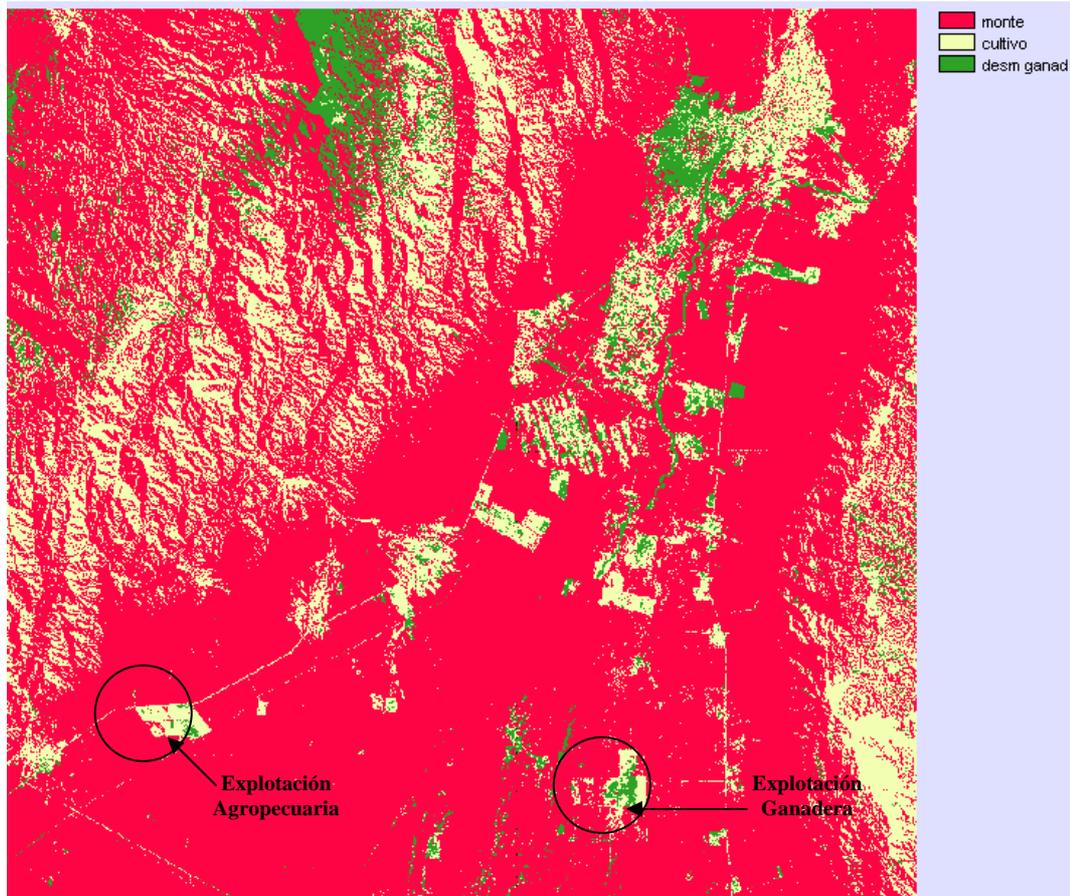


Fig. 46. Imagen clasificada por uso de suelo 1989.

Se indican en la Fig 46, una explotación agrícola y una ganadera donde el programa las identifica como área de cultivo. La clasificación supervisada automática separa bien la categoría monte de las categorías cultivo y desmonte/ganadería; pero no separa bien estas dos últimas entre sí. La categoría desmonte/ganadería estaría indicando en la imagen las áreas con escasa cobertura producto de desmontes o superficie laboreada para cultivos anuales, mientras que la categoría cultivo las superficies de mayor cobertura englobando áreas ganaderas y áreas agrícolas.

En la Fig. 47, imagen 2006, las plantaciones grandes de más de 5 o 6 años por la cobertura que producen se confunden con el monte; mientras que las plantaciones de menos de 4 años se confunden con las áreas de desmontes o habilitadas para ganadería.

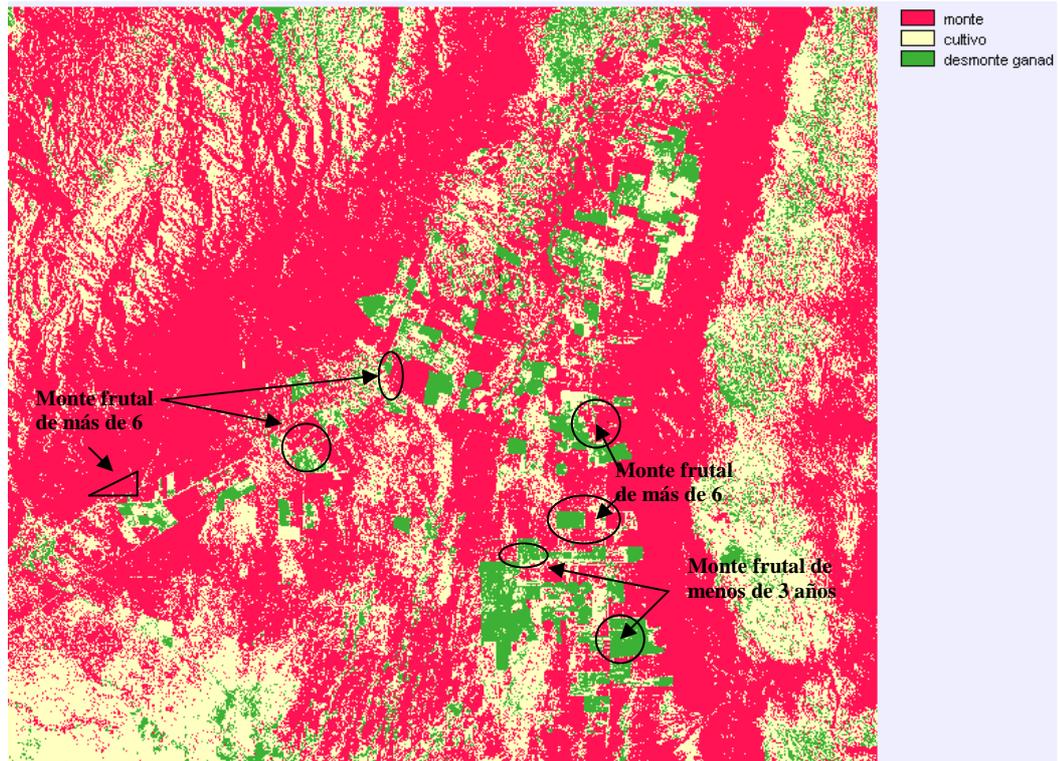


Fig. 47. Imagen clasificada por uso de suelo 2006.

Se muestra en la Fig 47, solo a los fines de completar la secuencia en la que se realizó el trabajo y para corroborar que la separación de la reflectancia promedio de cada sub-categoría, Fig. 43, no permiten distinguir áreas bajo riego con agua superficial de las con riego con agua subterránea. Se observa que el programa identifica la mayor parte de la superficie como con riego superficial.

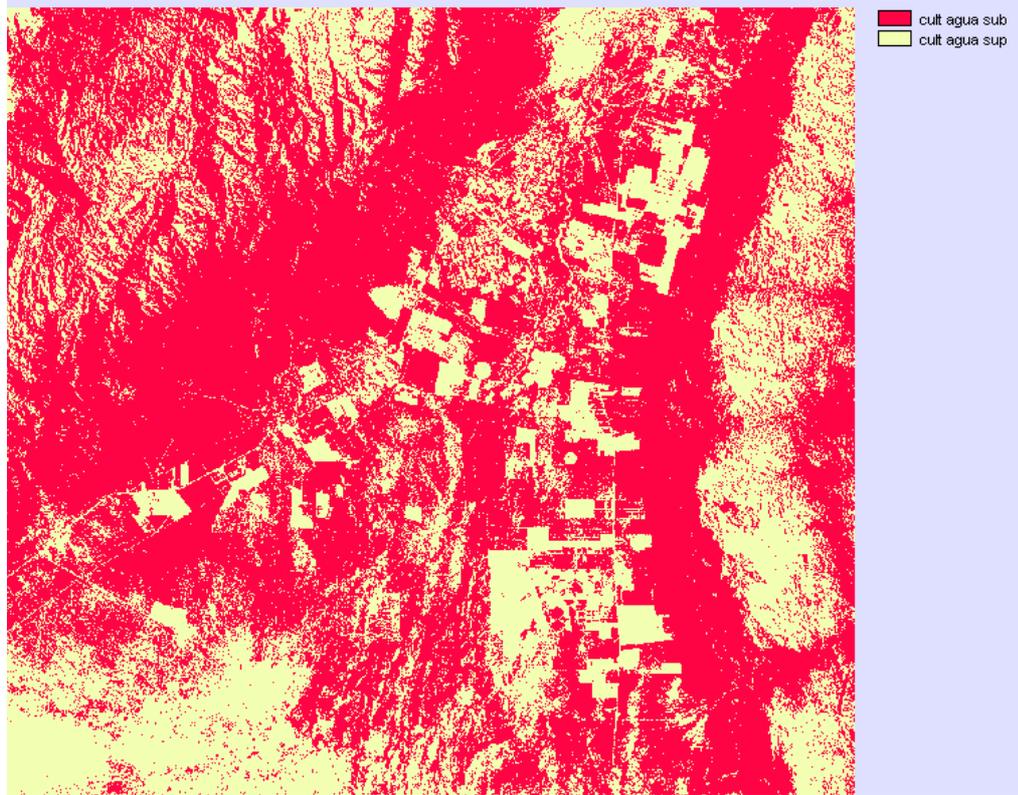
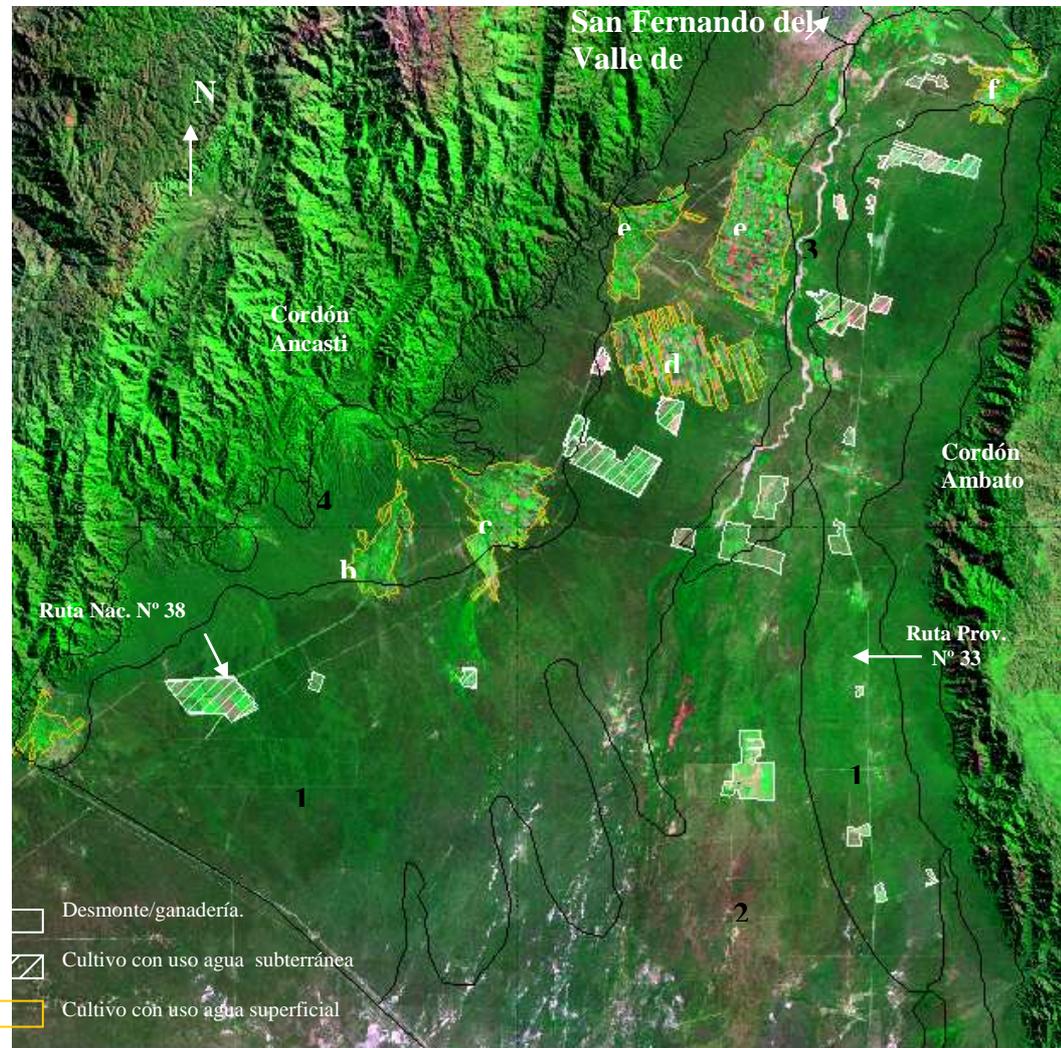


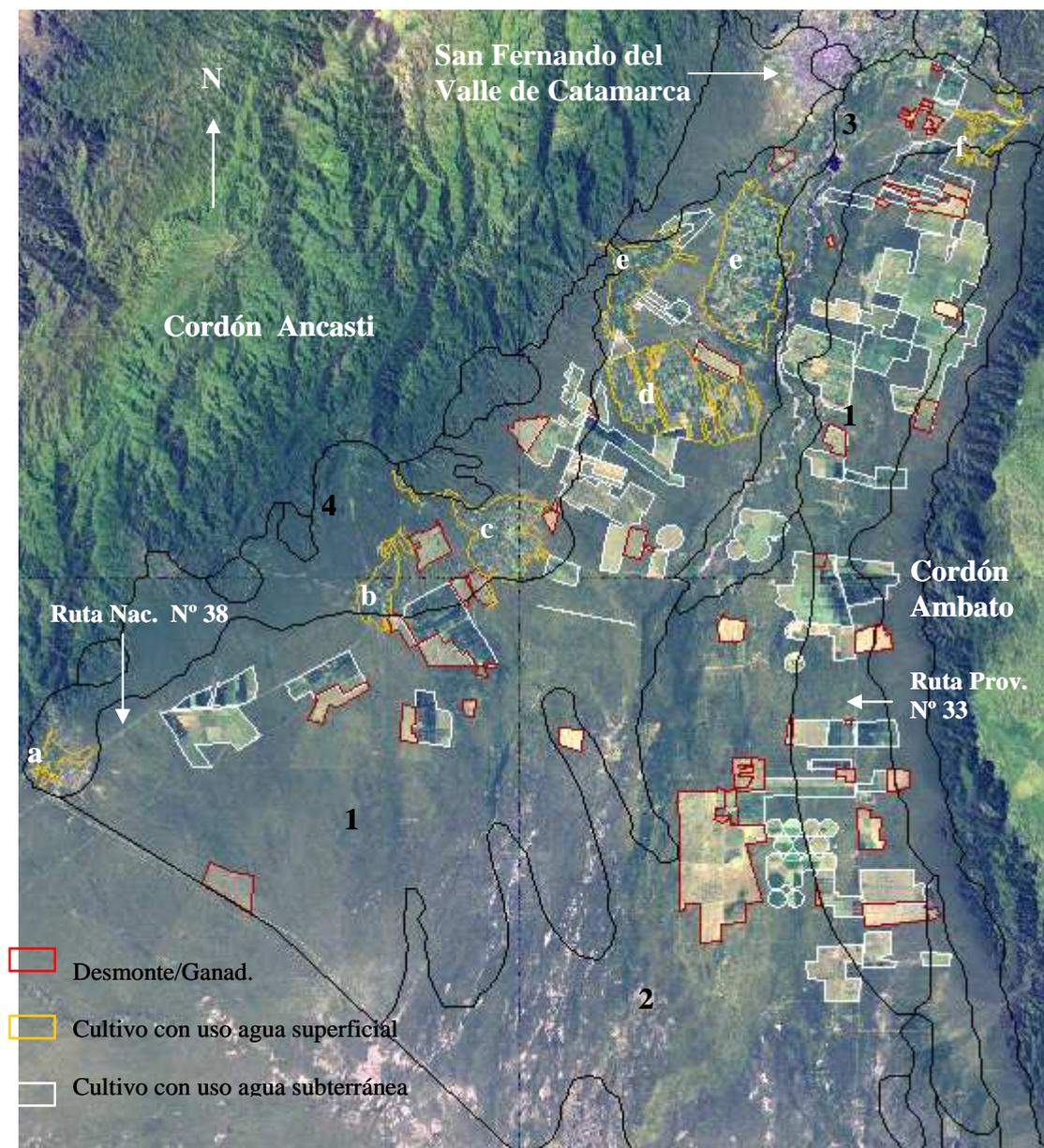
Fig. 48. Imagen clasificada por suelo cultivado 2006.

A raíz de lo mostrado, se procedió a la digitalización manual con reconocimiento en terreno para una correcta asignación de superficie, lo que se muestra en las Figuras 47 y 48.



Referencias. 1. Asociación de suelos Colonia del Valle; 2 Asociación de suelos Laguna Verde; 3 Asociación de suelos Río del Valle; 4. Pedemonte Ancasti
 a. Chumbicha; b. Capayán; c. Huillapima, Miraflores; d. Colonia del Valle; e. Colonia Nueva Coneta; f. Colonia Santa Cruz

Fig. 49. Patrón de uso de suelo agropecuario del Valle Central de Catamarca. Imagen 1989.



Referencias. 1. Asociación de suelos Colonia del Valle; 2 Asociación de suelos Laguna Verde; 3 Asociación de suelos Río del Valle; 4. Pedemonte Ancasti
 a. Chumbicha; b. Capayán; c. Huillapima, Miraflores; d. Colonia del Valle; e. Colonia Nueva Coneta; f. Colonia Santa Cruz

Fig. 50. Patrón de uso de suelo agropecuario del Valle Central de Catamarca. Imagen 2006.

Las fotografías que se muestran a continuación, permiten relacionar los polígonos identificados en las imágenes y dan cuenta de la secuencia de cambio del paisaje, desde el monte original hasta plantaciones de 10 años. Puede observarse en ellas que luego de los desmontes sobreviene la pastura símil a una explotación ganadera, por ello el agrupamiento de estas, en una sola categoría. Por otro lado se pone de manifiesto la gran

proporción de suelo descubierto o cubierto con pasturas en los primeros años de cultivo, lo que explica que alguna porción de superficie con pocos años de cultivo pueda estar incluida en la categoría desmonte/ganadería. Fig. 51, 52 y 53.



Fig. 51. Condición original. Monte.



Fig. 52. Condición original. Cobertura de suelo con Monte



Fig. 53. Desmonte/Ganadería



Fig. 54. Cultivo de Olivo- Parcela recién implantada



Fig. 55. Cultivo de Olivo- Parcela de 2 años de cultivo.



Fig. 56. Cultivo de Olivo- Parcela de 9 años de cultivo.

ANEXO 3

**ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELOY AGUA.
PRUEBAS ESTADÍSTICAS**

ANÁLISIS DE SUELO Y AGUA. PRUEBAS ESTADÍSTICAS

El presente anexo muestra los resultados detallados de los análisis de las muestras de suelo, de las muestras de agua y el tratamiento estadístico de la información.

Tabla 1. Características físico químicas de los suelos- Caso de estudio, Año 2007

Años de Cultivo	Prof. cm	Muestra	Arena	Limo	Arcilla	Clase Text.	pH	Ce-	CO3=	Ca+Mg	Na sol.	K sol.	RAS	Clasificación
			(%)	(%)	(%)			(dS.m-1)	(%)	(meq.l-1)	(meq.l-1)			
0	0-40	R1/1	40,5	53,2	6,3	FrLi	8,2	0,29	1,21	4,3	0,7	1,08	0,5	Torrifluventes ústicos
		R2/1	67,2	26,5	6,3	FrAr	7,3	1,46	1,57	23,8	1,2	2,09	0,3	
		R3/1	40,1	53,4	6,5	FrLi	8,2	0,28	1,88	5,3	0,5	0,87	0,3	
		Media	Media	49,27	44,37	6,37		7,90	0,68	1,55	11,13	0,80	1,35	
	40-80	R1/2	31,8	61,2	7	FrLi	8,2	0,35	2,26	3,7	1,3	0,51	1	
		R2/2	71,5	22,9	5,6	FrAr	7,8	4,91	2,15	78,2	4,1	4,58	0,7	
		R3/2	44,1	48,2	7,7	Franco	8,2	0,84	2,37	8,5	4,2	0,49	2	
		Media	Media	49,13	44,10	6,77		8,07	2,03	2,26	30,13	3,20	1,86	
	80-120	R1/3	88,1	4,6	7,3	Ar	8,3	0,76	1,57	6,4	6,5	0,21	3,7	
		R2/3	61,8	32,4	5,8	FrAr	7,6	7,2	1,97	145	8,7	5,36	1	
		R3/3	59,5	34,4	6,1	FrAr	8,2	1,32	1,77	11,2	9,1	0,52	3,8	
		Media	Media	69,80	23,80	6,40		8,03	3,09	1,77	54,20	8,10	2,03	
2	0-40	R1/1	19	53,3	27,7	Fr Li	8,2	0,56	3,15	3,7	3,9	0,35	2,8	
		R2/1	24,4	57,4	18,2	Fr Li	8,2	0,5	2,44	3,2	3,7	0,89	2,9	
		R3/1	38,8	45,6	15,6	Franco	8,1	0,4	1,85	2,7	3,4	0,5	3	
		Media	Media	27,40	52,10	20,50		8,17	0,49	2,48	3,20	3,67	0,58	2,90
	40-80	R1/2	17,4	59,7	22,9	Fr Li	8,2	0,27	2,61	2,7	1,9	0,15	1,6	
		R2/2	32,2	54,4	13,4	Fr Li	8,1	0,25	2,1	2,7	1,8	0,72	1,5	
		R3/2	51,7	36,8	11,5	Franco	8,1	0,29	2,03	2,7	3	0,48	2,6	
		Media	Media	33,77	50,30	15,93		8,13	0,27	2,25	2,70	2,23	0,45	1,90
	80-120	R1/3	15,2	66,5	18,3	Fr Li	8,3	0,33	2,29	2,7	1,9	1,04	1,7	
		R2/3	24,4	60,4	15,2	Fr Li	8,3	0,21	2,38	2,7	1,8	0,62	1,5	
		R3/3	48,3	40,3	11,4	Franco	8,2	0,3	2,31	2,7	2,1	0,49	1,8	
		Media	Media	29,30	55,73	14,97		8,27	0,28	2,33	2,70	1,93	0,72	1,67

Continuación Tabla 1. Características físico químicas de los suelos- Caso de estudio, Año 2007

Años de Cultivo	Prof. cm	Muestra	Arena	Limo	Arcilla	Clase Text.	pH	Ce-	CO3=	Ca+Mg	Na sol.	K sol.	RAS	Clasificación
			(%)	(%)	(%)			(dS.m-1)	(%)	(meq.l-1)	(meq.l-1)			
3	0-40	R1/1	45,2	44,6	10,2	Franco	8	0,45	1,73	2,7	3,9	0,46	3,3	Torrifluventes ústicos
		R2/1	32,5	58,4	9,1	Fr. Li	8	0,73	1,94	6,4	4,8	1,3	2,7	
		R3/1	26,7	52,9	20,4	Fr. Li	8,3	0,3	2,46	2,1	3,3	0,57	3,2	
	Media	Media	34,80	51,97	13,23		8,10	0,49	2,04	3,73	4,00	0,78	3,07	
	40-80	R1/2	51,8	38,2	10	Franco	8	0,27	1,61	2,1	1,9	0,21	1,9	
		R2/2	33,3	56,6	10,1	Fr. Li	8,2	0,28	2,16	2,1	2,1	0,72	2,1	
		R3/2	36,1	54,9	9	Fr. Li	8,2	0,26	1,81	1,1	2	0,57	2,8	
	Media	Media	40,40	49,90	9,70		8,13	0,27	1,86	1,77	2,00	0,50	2,27	
	80-120	R1/3	41	48,4	10,6	Franco	8,4	0,29	2,31	3,2	2,7	1,12	2,1	
		R2/3	28,4	61,3	10,3	Fr. Li	8,2	0,34	1,89	2,1	2	0,77	1,9	
		R3/3	29,5	54,7	15,8	Fr. Li	8,2	0,28	2,7	1,6	2,2	0,32	2,4	
	Media	Media	32,97	54,80	12,23		8,27	0,30	2,30	2,30	2,30	0,74	2,13	
5	0-40	R1/1	33,3	55,3	11,4	Fr Li	8,8	0,4	2,68	2,7	3,6	0,47	3,1	Torrifluvente Torrehortente ústico
		R2/1	44,6	44,8	10,6	Franco	8,7	0,55	1,66	3,2	5,6	1,29	4,5	
		R3/1	23,1	56,4	20,5	FrLi	8,2	1,31	2,07	12,8	4	3,84	1,6	
	Media	Media	33,67	52,17	14,17		8,57	0,75	2,14	6,23	4,40	1,87	3,07	
	40-80	R1/2	24,4	67,1	8,5	Fr Li	8,8	0,34	2,71	3,7	3,1	0,25	2,3	
		R2/2	39,8	50,6	9,6	Fr. Li	8,8	0,29	2,01	2,7	2,9	0,4	2,5	
		R3/2	24,4	54,3	21,3	FrLi	8,3	0,65	2,6	4,8	5,9	0,54	3,8	
	Media	Media	29,53	57,33	13,13		8,63	0,43	2,44	3,73	3,97	0,40	2,87	
	80-120	R1/3	24,3	69,2	6,5	Fr Li	8,9	0,27	2,71	3,2	2,8	0,21	2,2	
		R2/3	20,1	68,1	11,8	Fr Li	8,8	0,32	2,02	2,7	3,4	0,69	3	
		R3/3	28,4	55,5	16,1	FrLi	8	1,07	2,94	18,1	6,5	0,16	2,2	
	Media	Media	24,27	64,27	11,47		8,57	0,55	2,56	8,00	4,23	0,35	2,47	

Continuación Tabla 1. Características físico químicas de los suelos- Caso de estudio, Año 2007

Años de Cultivo	Prof. cm	Muestra	Arena	Limo	Arcilla	Clase Text.	pH	Ce-	CO3=	Ca+Mg	Na sol.	K sol.	RAS	Clasificación
			(%)	(%)	(%)			(dS.m-1)	(%)	(meq.l-1)	(meq.l-1)			
6	0-40	R1/1	24.1	59.7	16.2	Fr. L	8,5	0,4	2,9	5,5	3,6	0,55	3,1	Torrifluvente Torrehortente ústico
		R2/1	24,7	57,7	17,6	Fr Li	8,7	1,67	2,9	16	10	1,42	4,2	
		R3/1	26,1	55,9	18	Fr Li	9,2	1,17	2,89	4,8	9,2	0,34	8,1	
	Media	Media	25,40	56,80	17,80		8,80	1,08	2,90	8,77	7,60	0,77	5,13	
	40-80	R1/2	51,7	34,1	14,2	Franco	8,4	1,71	2,52	11,7	9	1,04	3,7	
		R2/2	18,7	59,7	21,6	Fr Li	8,6	0,47	3,48	3,2	3,1	0,07	2,5	
		R3/2	19,5	62,5	18	Fr Li	8,6	0,58	3,11	1,6	8,3	0,16	9,3	
	Media	Media	29,97	52,10	17,93		8,53	0,92	3,04	5,50	6,80	0,42	5,17	
	80-120	R1/3	24,3	60,9	14,8	Fr Li	8,5	1,7	3,41	13,3	11	0,62	4,6	
		R2/3	17,2	61,7	21,1	Fr Li	8,7	0,35	3,59	3,2	3,4	0,77	2,7	
		R3/3	13,5	67,3	19,2	Fr Li	8,9	1,31	3,09	11	8,7	1,74	4,8	
	Media	Media	18,33	63,30	18,37		8,70	1,12	3,36	9,17	7,70	1,04	4,03	
9	0-40	R1/1	65,9	28,3	5,8	FrAr	8,4	0,44	1,4	3,2	4,1	0,25	3,3	Torrifluvente ústico
		R2/1	65,6	29,5	4,9	FrAr	8,7	0,41	1,56	2,7	5,7	0,42	4,9	
		R3/1	37,7	56,5	5,8	FrLi	9,3	0,64	1,53	2,7	7,8	0,59	6,8	
	Media	Media	56,40	38,10	5,50		8,80	0,50	1,50	2,87	5,87	0,42	5,00	
	40-80	R1/2	60,6	32,1	7,3	FrAr	8,4	0,37	1,46	2	3,9	0,06	2,7	
		R2/2	68,4	26,5	5,1	FrAr	8,8	0,39	1,56	2,5	3,7	0,4	1,4	
		R3/2	30,7	63,3	6	FrLi	8,8	0,55	1,68	2,7	6,1	0,31	5,3	
	Media	Media	53,23	40,63	6,13		8,67	0,44	1,57	2,40	4,57	0,26	3,13	
	80-120	R1/3	70,8	22	7,2	FrAr	8,5	0,49	1,75	2,7	5,4	0,06	4,7	
		R2/3	66,5	27	6,5	FrAr	8,6	0,4	1,6	3,2	3,8	0,21	3	
		R3/3	25,6	64,2	10,2	FrLi	8,6	0,35	1,83	2,7	3,5	0,04	3	
	Media	Media	54,30	37,73	7,97		8,57	0,41	1,73	2,87	4,23	0,10	3,57	

Tabla 2. Condiciones de fertilidad de los suelos- Caso de estudio, Año 2007

Años de Cultivo	Prof. cm	Carb.Org. (%)	Mat.Org. (%)	Nitrógeno (%)	Fósforo (ppm)	K int.	Na int. (meq.100g ⁻¹)	Ca int.	Mg int.	CIC	PSI
0	0-40	0,54	0,94	0,09	10,10	1,39	0,01	12,60	12,60	18,50	0,04
		0,72	1,24	0,09	18,10	0,84	0,00	8,00	14,60	20,60	0,00
		0,19	0,45	0,07	9,40	2,09	0,01	12,00	0,70	15,00	0,07
	Media	0,48	0,88	0,08	12,53	1,44	0,01	10,87	9,30	18,03	0,04
	40-80	0,63	1,08	0,08	10,30	1,56	0,00	16,60	16,60	22,10	0,00
		0,59	1,02	0,06	10,00	2,47	.01	17,30	3,30	20,80	#####
		0,34	1,00	0,09	9,20	1,34	0,52	13,30	4,00	16,20	2,71
	Media	0,52	1,03	0,08	9,83	1,79	0,26	15,73	7,97	19,70	#####
	80-120	0,68	1,18	0,06	11,50	0,36	1,17	14,60	14,60	20,90	3,81
		0,19	0,34	0,09	10,60	2,18	0,02	19,90	11,30	22,20	0,06
		0,07	0,12	0,04	8,00	0,80	1,62	8,60	4,70	14,10	10,31
	Media	0,31	0,55	0,06	10,03	1,11	0,94	14,37	10,20	19,07	4,72
2	0-40	1,59	2,74	0,23	22,90	2,68	0,91	26,60	6,60	25,40	2,47
		1,01	1,75	0,09	15,90	4,01	0,64	32,60	4,00	12,60	1,55
		0,87	1,50	0,10	17,00	2,32	0,54	18,60	8,00	22,00	1,83
	Media	1,16	2,00	0,14	18,60	3,00	0,70	25,93	6,20	20,00	1,95
	40-80	0,63	1,08	0,07	8,40	3,69	0,80	39,90	10,00	24,50	1,47
		0,44	0,76	0,05	12,00	2,54	0,00	22,60	5,30	18,66	0,00
		0,32	0,54	0,06	9,30	2,39	0,72	19,30	8,00	15,55	2,37
	Media	0,46	0,79	0,06	9,90	2,87	0,51	27,27	7,77	19,57	1,28
	80-120	0,33	0,57	0,00	9,00	4,21	0,04	23,30	6,60	19,22	0,12
		0,38	0,66	0,04	8,80	1,93	0,19	23,30	6,60	21,33	0,59
		0,49	0,84	0,04	6,40	2,72	0,00	19,30	9,30	10,20	0,00
	Media	0,40	0,69	0,03	8,07	2,95	0,08	21,97	7,50	16,92	0,24

Continuación Tabla 2. Condiciones de fertilidad de los suelos- Caso de estudio, Año 2007

Años de Cultivo	Prof. cm	Carb.Org. (%)	Mat.Org. (%)	Nitrógeno (%)	Fósforo (ppm)	K int. (meq.100g ⁻¹)	Na int. (meq.100g ⁻¹)	Ca int. (meq.100g ⁻¹)	Mg int. (meq.100g ⁻¹)	CIC	PSI
3	0-40	0,41	0,71	0,05	9,30	1,54	0,21	14,60	6,00	16,20	0,94
		0,41	0,71	0,09	10,00	3,32	0,86	18,60	2,40	16,00	3,42
		0,75	1,29	0,08	10,00	1,69	0,91	21,00	6,00	18,80	3,07
	Media	0,52	0,90	0,07	9,77	2,18	0,66	18,07	4,80	17,00	2,48
	40-80	0,35	0,60	0,11	6,70	1,79	0,76	18,00	4,00	14,00	3,10
		0,07	0,12	0,05	7,90	3,03	0,74	15,60	8,40	15,80	2,66
		0,18	0,30	0,04	6,20	1,69	0,00	14,40	4,20	29,80	0,00
	Media	0,20	0,34	0,07	6,93	2,17	0,50	16,00	5,53	19,87	1,92
	80-120	0,15	0,25	0,03	10,30	2,62	0,52	14,40	1,20	15,40	2,77
		0,25	0,43	0,03	6,70	2,91	0,52	18,60	5,40	22,50	1,90
		0,35	0,60	0,06	6,80	1,93	0,99	26,40	6,00	17,70	2,80
	Media	0,25	0,43	0,04	7,93	2,49	0,68	19,80	4,20	18,53	2,49
5	0-40	0,39	0,68	0,07	9,70	2,44	0,99	17,30	6,60	18,2	3,62
		0,35	0,61	0,06	12,60	3,44	0,43	16,60	3,30	21,80	1,81
		1,01	1,75	0,05	16,80	3,32	0,00	23,30	8,00	22,90	0,00
	Media	0,58	1,01	0,06	13,03	3,07	0,47	19,07	5,97	22,35	1,81
	40-80	0,25	0,43	0,09	11,10	1,70	0,74	18,00	8,60	17,5	2,55
		0,25	0,43	0,11	12,10	1,69	0,13	17,30	6,00	20,20	0,52
		0,80	1,38	0,14	7,10	2,16	1,85	25,90	13,30	21,10	4,28
	Media	0,43	0,75	0,11	10,10	1,85	0,91	20,40	9,30	20,65	2,45
	80-120	0,12	0,20	0,05	10,50	1,27	0,19	14,60	12,00	16,50	0,68
		0,16	0,28	0,06	10,80	3,11	0,62	26,60	6,00	18,40	1,71
		0,24	0,41	0,07	10,80	0,80	0,37	24,60	8,60	18,70	1,08
	Media	0,17	0,30	0,06	10,70	1,73	0,39	21,93	8,87	17,87	1,15

Continuación Tabla 2. Condiciones de fertilidad de los suelos- Caso de estudio, Año 2007.

Años de Cultivo	Prof. cm	Carb.Org. (%)	Mat.Org. (%)	Nitrógeno (%)	Fósforo (ppm)	K int.	Na int. (meq.100g ⁻¹)	Ca int.	Mg int.	CIC	PSI
6	0-40	0,54	0,94	0,03	8,60	3,16	1,68	17,30	6,00	16,80	5,97
		0,69	1,20	0,10	10,00	3,46	3,90	18,60	6,00	20,00	12,20
		0,96	1,65	0,13	9,40	2,16	7,51	15,30	6,00	20,60	24,25
	Media	0,73	1,26	0,09	9,33	2,93	4,36	17,07	6,00	19,13	14,14
	40-80	0,51	0,90	0,06	13,00	3,29	3,80	16,00	10,00	18,10	11,48
		0,79	1,36	0,09	11,20	1,92	1,54	24,60	4,70	23,70	4,70
		0,58	1,01	0,08	8,80	2,84	6,42	20,60	9,30	22,60	16,39
	Media	0,63	1,09	0,08	11,00	2,68	3,92	20,40	8,00	21,47	10,86
	80-120	0,29	0,50	0,07	11,50	1,69	5,09	14,60	8,00	18,50	17,32
		0,30	0,52	0,05	14,40	1,63	1,32	25,30	8,60	18,60	3,58
		0,36	0,61	0,08	12,30	6,24	3,84	26,60	6,00	24,70	9,00
	Media	0,32	0,54	0,07	12,73	3,19	3,42	22,17	7,53	20,60	9,97
9	0-40	0,34	0,59	0,04	9,40	0,39	0,00	11,30	2,00	15,90	0,00
		0,29	0,50	0,07	10,30	1,90	1,58	6,60	3,30	15,40	11,81
		0,32	0,55	0,06	11,50	2,39	3,98	13,30	4,00	16,20	16,81
	Media	0,32	0,55	0,06	10,40	1,56	1,85	10,40	3,10	15,83	9,54
	40-80	0,38	0,65	0,04	7,30	0,36	0,31	14,00	6,00	15,80	1,50
		0,17	0,80	0,10	8,60	1,36	0,66	13,30	2,70	14,60	3,66
		0,38	0,65	0,08	10,00	1,53	2,18	13,30	3,30	17,20	10,73
	Media	0,31	0,70	0,07	8,63	1,08	1,05	13,53	4,00	15,87	5,30
	80-120	0,10	0,18	0,04	8,30	0,16	0,52	9,30	4,00	15,00	3,72
		0,20	0,35	0,02	7,00	0,36	0,11	14,00	2,00	14,60	0,67
		0,62	1,07	0,06	10,00	0,72	0,95	21,30	6,00	26,30	3,28
	Media	0,31	0,53	0,04	8,43	0,41	0,53	14,87	4,00	18,63	2,56

Tabla 3. Intervalo de confianza para la variable pH

Intervalos de confianza: *Bilateral, Estimación por bootstrap (B=250)*

prof	Variable	Parámetro	Estimación	E.E.	n	LI(95%)	LS(95%)
1	pH	Media	7,90	0,24	3	7,30	8,17
2	pH	Media	8,07	0,11	3	7,80	8,19
3	pH	Media	8,04	0,18	3	7,60	8,28

Referencia: profundidad 1: 0-40 cm; profundidad .2: 40-80 cm; profundidad 3: 80-120 cm

Tabla 4. Intervalo de confianza para la variable conductividad eléctrica (deciSiemens por metro)

Intervalos de confianza: *Bilateral, Estimación por bootstrap (B=250)*

prof	Variable	Parámetro	Estimación	E.E.	n	LI(95%)	LS(95%)
1	Ce-	Media	0,67	0,34	3	0,28	1,30
2	Ce-	Media	1,92	1,17	3	0,35	3,85
3	Ce-	Media	3,11	1,75	3	0,76	6,18

Referencia: profundidad 1: 0-40 cm; profundidad .2: 40-80 cm; profundidad 3: 80-120 cm

Tabla 5. Intervalo de confianza para la variable carbonatos (porcentaje)

Intervalos de confianza: *Bilateral, Estimación por bootstrap (B=250)*

prof	Variable	Parámetro	Estimación	E.E.	n	LI(95%)	LS(95%)
1	Carbona-	Media	1,56	0,15	3	1,21	1,80
2	Carbona-	Media	2,26	0,05	3	2,15	2,35
3	Carbona-	Media	1,77	0,09	3	1,57	1,92

Referencia: profundidad 1: 0-40 cm; profundidad .2: 40-80 cm; profundidad 3: 80-120 cm

Tabla 6. Intervalo de confianza para la variable potasio soluble (miliequivalentes por litro)

Intervalos de confianza: *Bilateral, Estimación por bootstrap (B=250)*

prof	Variable	Parámetro	Estimación	E.E.	n	LI(95%)	LS(95%)
1	K sol.	Media	1,35	0,30	3	0,87	1,88
2	K sol.	Media	1,83	1,11	3	0,49	3,63
3	K sol.	Media	2,01	1,35	3	0,21	4,09

Referencia: profundidad 1: 0-40 cm; profundidad .2: 40-80 cm; profundidad 3: 80-120 cm

Tabla 7. Intervalo de confianza para la variable sodio soluble (miliequivalentes por litro)

Intervalos de confianza: *Bilateral, Estimación por bootstrap (B=250)*

prof	Variable	Parámetro	Estimación	E.E.	n	LI(95%)	LS(95%)
1	Na sol.	Media	0,81	0,18	3	0,50	1,14
2	Na sol.	Media	3,25	0,78	3	1,30	4,19
3	Na sol.	Media	8,15	0,67	3	6,50	9,05

Referencia: profundidad 1: 0-40 cm; profundidad .2: 40-80 cm; profundidad 3: 80-120 cm

Tabla 8. Intervalo de confianza para la variable calcio más magnesio soluble (miliequivalentes por litro)

Intervalos de confianza: *Bilateral, Estimación por bootstrap (B=250)*

prof	Variable	Parámetro	Estimación	E.E.	n	LI(95%)	LS(95%)
1	Ca+Mg	Media	11,11	5,03	3	4,30	19,93
2	Ca+Mg	Media	28,74	19,56	3	3,70	59,98
3	Ca+Mg	Media	51,61	36,84	3	6,40	110,02

Referencia: profundidad 1: 0-40 cm; profundidad .2: 40-80 cm; profundidad 3: 80-120 cm

Tabla 9. Intervalo de confianza para la variable materia orgánica (porcentaje)

Intervalos de confianza: *Bilateral; Estimación por bootstrap (B=250)*

prof	Variable	Parámetro	Estimación	E.E.	n	LI(95%)	LS(95%)
1	Mat.	Media	0,87	0,18	3	0,45	1,19
2	Mat.	Media	1,03	0,02	3	1,00	1,07
3	Mat.	Media	0,54	0,27	3	0,12	0,98

Referencia: profundidad 1: 0-40 cm; profundidad .2: 40-80 cm; profundidad 3: 80-120 cm

Tabla 10. Intervalo de confianza para la variable nitrógeno (porcentaje)

Intervalos de confianza: *Bilateral; Estimación por bootstrap (B=250)*

prof	Variable	Parámetro	Estimación	E.E.	n	LI(95%)	LS(95%)
1	Nitrógeno (%)	Media	0,08	0,01	3	0,07	0,09
2	Nitrógeno (%)	Media	0,08	0,01	3	0,06	0,09
3	Nitrógeno (%)	Media	0,06	0,01	3	0,04	0,08

Referencia: profundidad 1: 0-40 cm; profundidad .2: 40-80 cm; profundidad 3: 80-120 cm

Tabla 11. Intervalo de confianza para la variable fósforo (partes por millón)

Intervalos de confianza: *Bilateral; Estimación por bootstrap (B=250)*

prof	Variable	Parámetro	Estimación	E.E.	n	LI(95%)	LS(95%)
1	Fósforo	Media	12,78	2,34	3	9,40	16,24
2	Fósforo	Media	9,81	0,27	3	9,20	10,22
3	Fósforo	Media	9,95	0,87	3	8,00	11,26

Referencia: profundidad 1: 0-40 cm; profundidad .2: 40-80 cm; profundidad 3: 80-120 cm

Tabla 12. Intervalo de confianza para la variable potasio intercambiable (miliequivalentes por 100 gramos)

Intervalos de confianza: *Bilateral, Estimación por bootstrap (B=250)*

prof	Variable	Parámetro	Estimación	E.E.	n	LI(95%)	LS(95%)
1	K int.	Media	1,48	0,31	3	0,84	1,98
2	K int.	Media	1,83	0,29	3	1,34	2,32
3	K int.	Media	1,15	0,45	3	0,36	1,96

Referencia: profundidad 1: 0-40 cm; profundidad .2: 40-80 cm; profundidad 3: 80-120 cm

Tabla 13. Intervalo de confianza para la variable sodio intercambiable (miliequivalentes por 100 gramos)

Intervalos de confianza: *Bilateral, Estimación por bootstrap (B=250)*

prof	Variable	Parámetro	Estimación	E.E.	n	LI(95%)	LS(95%)
1	Na int.	Media	0,01	0,00	3	0,01	0,01
2	Na int.	Media	0,18	0,14	3	0,01	0,39
3	Na int.	Media	0,93	0,39	3	0,02	1,50

Referencia: profundidad 1: 0-40 cm; profundidad .2: 40-80 cm; profundidad 3: 80-120 cm

Tabla 14. Intervalo de confianza para la variable calcio intercambiable (miliequivalentes por 100 gramos)

Intervalos de confianza: *Bilateral, Estimación por bootstrap (B=250)*

prof	Variable	Parámetro	Estimación	E.E.	n	LI(95%)	LS(95%)
1	Ca int.	Media	10,82	1,15	3	8,00	12,39
2	Ca int.	Media	15,72	0,99	3	13,30	17,15
3	Ca int.	Media	14,43	2,67	3	8,60	18,79

Referencia: profundidad 1: 0-40 cm; profundidad .2: 40-80 cm; profundidad 3: 80-120 cm

Tabla 15. Intervalo de confianza para la variable magnesio intercambiable (miliequivalentes por 100 gramos)

Intervalos de confianza: *Bilateral, Estimación por bootstrap (B=250)*

prof	Variable	Parámetro	Estimación	E.E.	n	LI(95%)	LS(95%)
1	Mg int.	Media	9,32	3,63	3	0,70	14,08
2	Mg int.	Media	8,17	3,70	3	3,30	14,57
3	Mg int.	Media	10,33	2,38	3	4,70	14,07

Referencia: profundidad 1: 0-40 cm; profundidad .2: 40-80 cm; profundidad 3: 80-120 cm

Tabla 16. Intervalo de confianza para el indicador RAS

Intervalos de confianza: *Bilateral, Estimación por bootstrap (B=250)*

prof	Variable	Parámetro	Estimación	E.E.	n	LI(95%)	LS(95%)
1	RAS	Media	0,37	0,06	3	0,30	0,46
2	RAS	Media	1,25	0,34	3	0,71	1,87
3	RAS	Media	2,92	0,73	3	1,05	3,79

Referencia: profundidad 1: 0-40 cm; profundidad .2: 40-80 cm; profundidad 3: 80-120 cm

Tabla 17. Intervalo de confianza para el indicador PSI

Intervalos de confianza: *Bilateral, Estimación por bootstrap (B=250)*

prof	Variable	Parámetro	Estimación	E.E.	n	LI(95%)	LS(95%)
1	PSI	Media	0,04	0,02	3	0,00	0,06
2	PSI	Media	0,94	0,78	3	0,00	2,20
3	PSI	Media	4,70	2,50	3	0,07	9,07

Referencia: profundidad 1: 0-40 cm; profundidad .2: 40-80 cm; profundidad 3: 80-120 cm

Tabla 18. Análisis de suelo de los sitios de verificación, 2007. Muestras compuestas

Años de cultivo	Sitio de Verific.	Profundidad cm	pH	Ce ⁻	Ca+Mg sol	Na sol.	K sol.	RAS	Carb.org.	Mat.org.	K int.	Na int.	Ca int.	Mg int.	PSI
				(dS.m ⁻¹)	(meq.l ⁻¹)				(%)	(%)	(meq/100gr)				
0	E2	0-40	8,00	0,35	4,40	1,00	0,56	0,70	0,38	0,65	1,30	0,70	14,70	4,90	3,24
		40-80	7,70	1,28	19,20	3,40	0,12	1,10	0,38	0,66	0,40	1,20	18,90	2,80	5,15
		80-120	7,90	1,09	14,40	3,20	0,06	1,20	0,48	0,82	0,30	1,20	18,20	7,70	4,38
	E3	0-40	7,90	0,32	2,00	1,20	1,44	1,20	0,78	1,35	3,80	1,70	28,00	1,40	4,87
		40-80	7,30	3,27	36,40	15,20	1,58	3,60	1,05	1,82	3,70	5,00	39,90	9,10	8,67
		80-120	7,40	4,19	48,00	17,60	2,19	3,60	0,53	0,92	2,60	4,30	27,30	7,70	10,26
6	E2	0-40	9,00	0,86	2,40	11,00	0,08	10,10	0,56	0,97	0,60	3,30	13,30	0,70	18,44
		40-80	8,80	0,97	4,40	12,00	0,34	8,10	0,37	0,63	0,80	2,10	14,00	3,50	10,29
		80-120	9,30	1,03	4,80	12,80	0,26	8,30	0,20	0,35	0,70	3,70	12,60	4,90	16,89
	E3	0-40	9,20	0,88	2,40	11,50	0,22	10,50	0,66	1,13	1,50	20,70	12,60	10,50	45,70
		40-80	9,50	1,97	4,00	19,10	0,11	13,50	0,51	0,87	0,70	8,60	11,90	2,80	35,83
		80-120	9,30	6,28	12,00	106,10	0,48	43,30	0,20	0,35	1,20	28,70	16,80	7,70	52,76
9	E2	0-40	9,10	0,51	2,00	7,90	-	8,00	0,61	1,05	0,70	2,30	18,20	4,20	9,06
		40-80	8,70	1,42	6,00	14,40	0,58	8,30	0,59	1,02	1,70	16,80	25,90	5,60	33,60
		80-120	9,00	1,03	4,00	12,40	1,39	8,80	0,48	0,83	0,40	6,00	10,50	0,70	34,09
	E3	0-40	9,20	0,38	1,20	6,30	0,01	8,10	0,35	0,60	0,30	7,00	9,80	7,00	29,05
		40-80	9,20	0,41	2,00	6,30	0,08	6,30	1,30	0,22	3,20	10,90	9,80	4,20	38,79
		80-120	9,30	0,47	2,00	7,70	0,01	7,70	0,07	0,12	0,20	11,10	8,40	7,00	41,57

Referencia: E2: sitio de verificación 1; E3: sitio de verificación 2

Tabla 19. Superficie y marcos de plantación de la muestra encuestada

Empresa encuestada	Edad de las Parcelas (años)										Sup.Tota Ha	Dens. Plant.	Marco Plant.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
E1	25	137	40		42	100	87		248		679	250	8x5
AA									180	180	360	334	7x 4
EB								133	100		233	233	6x 4.5
E3						240			260		500	428	x5- 7x2.
MI						250					250	312	8 x4
BD	150										150	334	7x 4
T						48		60	8	64	180	334	7x 4
NC	250	250									500	416	8x4
B							300		300		600	334	7x 4
E2			45		65	60			60		230	357	7x 4
D			50	14				130	100	100	394	357	7x 4
CG				23	23			200		100	446	312	8 x4
AF							30	100	120		250	286	7 x5
E				25	26			45		155	251	312	8 x4
Total (Ha)	425	387	135	62	156	698	747	438	1476	499	5023		
%	8	8	3	1	3	14	15	9	29	10	100		

Tabla 20. Dosis de Nitrógeno en función del tiempo de cultivo, utilizada por las Empresas de la muestra (kilos por hectárea por año de cultivo)

Empresa encuestada	Edad de las Parcelas (años)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E1	18	37	55	73	91	110	128	128	128	
AA									0	0
EB								75	75	
E3						90			90	
ML						100				
BD	7									
T							140	187	210	233
NC	25	50								
B							42		42	
E2			75		125	150			150	
D			86	107			54	54	54	
CG				125	156		90		90	90
AF							90	90	90	
E				125	156			90		90
Promedio Kg/Ha año	17	43	72	107	132	118	81	104	93	103

Tabla 21. Dosis de Potasio en función del tiempo de cultivo, utilizada por las Empresas de la muestra (kilos por hectárea por año de cultivo)

Empresa encuestada	Edad de las Parcelas (años)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E1					69	69	69	69	85	
AA									0	0
EB								40	40	
E3						30			50	
MI						25				
BD	7									
T						100				100
NC	0	0								
B							32		32	
E2			54		89	107			107	
D			0	0			0	0	0	
CG				75	94		40		40	40
AF							40	40	40	
E				75	94			40		40
Promedio Kg/Ha año	7	0	54	75	86	66	45	47	56	60

Tabla 22. Dotación de riego en función del tiempo de cultivo, utilizada por las Empresas de la muestra (milímetros de lámina por hectárea y año de cultivo)

Empresa encuestada	Edad de las Parcelas (años)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E1	341	341	511	681	852	1003	1003	1003	1003	
AA									1011	
EB								839	944	
E3						950			1200	
ML						668				
BD	504									
T						1657				2449
NC	414	414								
B							996		996	
E2			430		800		1018		1018	
D			823	823			1234	1234	1234	
CG				449	562		786		1011	1123
AF							786	899	1011	
E				449	562			899		1123
Promedio mm/Ha año	420	378	588	601	694	1069	971	974	1047	1565

Tabla 23. Características físico-químicas de aguas del Valle Central de Catamarca.

Localización	Empresa	C. E.	pH	Ca	Mg	Na	K	CO3	CO3H	SO4	Cl	RAS	RAS °
		dS/m		meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
R33	SJF	0,834	8,20	1,95	1,48	4,26	0,20	0,0	3,5	2,40	1,44	3,25	3,58
R33	LL P2	1,310	7,90	2,35	0,99	8,52	0,20	0,0	4,4	3,19	3,87	6,60	7,90
R33	CG P2	1,070	7,40	3,6	1,48	5,43	0,20	0,0	5,3	1,78	3,31	3,41	4,39
R33	LP	0,554	7,20	0,6	0,25	4,39	0,20	0,0	4,4	0,66	0,23	6,75	7,05
R33	E1 P1	0,377	7,65	1,2	0,28	2,17	0,12	0,0	3,1	0,65	0,59	2,52	2,68
R33	E1 P2	0,376	7,70	1,3	0,48	2,00	0,15	0,0	4,7	0,72	0,48	2,12	2,47
R33	E1 P3	0,394	7,58	1,4	0,48	2,17	0,18	0,0	3,3	0,67	0,42	2,24	2,43
R33	E1 P4	0,436	7,64	1,25	0,40	2,70	0,18	0,0	7,6	0,88	0,42	2,97	3,82
R33	E1 P5	0,446	7,54	2,09	0,64	1,83	0,17	0,0	3,5	0,63	0,42	1,57	1,83
R33	E1 P6	0,806	7,80	0,75	0,41	6,00	0,20	0,0	3,1	3,27	0,51	7,87	7,71
R33	AP	0,527	7,00	1,33	0,67	5,02		0,4	2,1	1,79	0,70	5,02	4,86
R33	E. P3	1,780	7,80	1,8	0,58	14,00	0,20	0,0	4,7	7,33	5,03	12,84	14,86
R33	E3 P1	1,441	7,7	2,1	1,00	12,43	0,26	0,0	5,16	7,86	2,74	9,98	11,93
R33	E 3 P2	1,288	8,15	1,85	0,92	11,65	0,23	0,0	4,57	6,42	2,20	9,90	11,48
R33	IM P1	0,460	8,00	0,95	0,66	3,00	0,10	0,0	3,3	0,81	0,51	3,35	3,45
R33	CA e	1,580	8,10	1,05	0,66	13,00	0,30	0,0	7,6	5,28	2,66	14,07	16,45
R33	CA c	0,974	7,90	1,45	1,48	6,30	0,20	0,0	5,5	2,71	1,10	5,21	5,86
R33	NE	0,483	7,90	2	0,66	2,09	0,20	0,0	3,5	0,68	0,51	1,81	2,11
R38	D P3	1,120	6,80	1,75	1,40	8,00	0,20	0,0	3,4	4,70	3,31	6,38	6,85
R38	NC P1	0,784	7,20	1,4	1,07	5,00	0,10	0,0	3,4	1,22	2,77	4,50	4,80
R38	B P3	1,050	7,60	2,8	1,40	6,00	0,10	0,0	3,5	1,88	4,97	4,14	4,78
R38	AGI P1	0,678	7,20	4,15	1,07	2,00	0,10	0,0	3,9	0,68	2,77	1,24	1,62
R38	Y P1	0,820	7,40	1,55	0,82	2,00	0,20	0,0	3,3	0,93	0,40	1,84	1,99
R38	AH P2	0,464	7,70	0,8	0,41	1,00	0,10	0,0	1,5	0,27	0,40	1,28	1,10
R38	LB P1	0,335	8,00	0,95	0,49	2,00	0,10	0,0	2,5	0,50	0,56	2,35	2,30
R38	DC P1	0,446	7,60	0,7	0,49	3,00	0,10	0,0	2,6	0,91	0,48	3,88	3,80
R38	FO P3	0,644	8,10	0,75	0,33	4,74	0,20	0,0	2,4	2,07	1,05	6,45	5,95
R38	AdF P1	0,663	7,60	1,25	0,66	4,00	0,20	0,0	4,2	0,93	0,45	4,09	4,58
R38	FO P1	0,668	7,6	1,25	0,25	4,57	0,20	0,0	4,2	1,03	0,54	5,28	6,00
R38	E2 P2	0,556	8,1	1,7	0,36	3,48	0,15	0,0	2,9	1,66	0,59	3,43	3,73
R38	E2 P1	0,551	7,77	1,5	0,28	3,78	0,09	0	2,6	1,72	0,76	4,01	4,15
R38	LP P1	1,540	8,0	4,85	1,65	7,48	0,20	0,0	2,6	7,57	4,18	4,15	4,74

Fuente: Información propia valores en negrita y Secretaría del Agua y el Ambiente. Gobierno de la Provincia de Catamarca, 2008.
Referencias: Valores en negrita, corresponden a perforaciones del caso de estudio y sitios de verificación; Localización: R 33: Ruta Prov. N° 33; R 38: Ruta Nac. N° 38.

Tabla 24. Concentración del calcio corregida por la conductividad eléctrica y la relación bicarbonato/calcio del agua de riego.

Relación HCO_3^-/Ca	Salinidad del Agua de Riego											
	Ce en dS m^{-1}											
	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
0,05	13,2	13,6	13,9	14,4	14,8	15,3	15,9	16,4	17,3	18,0	19,1	19,9
0,10	8,31	8,57	8,77	9,07	9,31	9,62	10,02	10,35	10,89	11,32	12,01	12,56
0,15	6,34	6,54	6,69	6,92	7,11	7,34	7,65	7,90	8,31	8,64	9,17	9,58
0,20	5,24	5,40	5,52	5,71	5,87	6,06	6,31	6,52	6,86	7,13	7,57	7,91
0,25	4,51	4,65	4,76	4,92	5,06	5,22	5,44	5,62	5,91	6,15	6,52	6,82
0,30	4,00	4,12	4,21	4,36	4,48	4,62	4,82	4,98	5,24	5,44	5,77	6,04
0,35	3,61	3,72	3,80	3,94	4,04	4,17	4,35	4,49	4,72	4,91	5,21	5,45
0,40	3,30	3,40	3,48	3,60	3,70	3,82	3,98	4,11	4,32	4,49	4,77	4,98
0,45	3,05	3,14	3,22	3,33	3,42	3,53	3,68	3,80	4,00	4,15	4,41	4,61
0,50	2,84	2,93	3,00	3,10	3,19	3,29	3,43	3,54	3,72	3,87	4,11	4,30
0,75	2,17	2,24	2,29	2,37	2,43	2,51	2,62	2,70	2,84	2,95	3,14	3,28
1,00	1,79	1,85	1,89	1,96	2,01	2,09	2,16	2,23	2,35	2,44	2,59	2,71
1,25	1,54	1,59	1,63	1,68	1,73	1,78	1,86	1,92	2,02	2,10	2,23	2,33
1,50	1,37	1,41	1,44	1,49	1,53	1,58	1,65	1,70	1,79	1,86	1,97	2,07
1,75	1,23	1,27	1,30	1,35	1,38	1,43	1,49	1,54	1,62	1,68	1,78	1,86
2,00	1,13	1,16	1,19	1,23	1,26	1,31	1,36	1,40	1,48	1,54	1,63	1,70
2,25	1,04	1,08	1,10	1,14	1,17	1,21	1,26	1,30	1,37	1,42	1,51	1,58
2,50	0,97	1,00	1,02	1,06	1,09	1,12	1,17	1,21	1,27	1,32	1,40	1,47
3,00	0,85	0,89	0,91	0,94	0,96	1,00	1,04	1,07	1,13	1,17	1,24	1,30
3,50	0,78	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90	0,94	0,97	1,02	1,06	1,12	1,17
4,00	0,71	0,73	0,75	0,78	0,80	0,82	0,86	0,88	0,93	0,97	1,03	1,07
4,50	0,66	0,68	0,69	0,72	0,74	0,76	0,79	0,82	0,86	0,90	0,95	0,99
5,00	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,80	0,83	0,88	0,93
7,00	0,49	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,64	0,67	0,71	0,74
10,00	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,45	0,47	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58
20,00	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,35	0,37
30,00	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28

Fuente: Prieto y Angueira. 1996. En "Métodos de Riego". INTA-PROCADIS. Buenos Aires
Referencias: CE: conductividad eléctrica del agua de riego; HCO_3^-/Ca : relación bicarbonatos/Ca del agua de riego.

Tabla 25. Parámetros estadísticos del Modelo 1, PSI en función de la Relación de Adsorción de Sodio corregida y el tiempo de cultivo

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP
PSI	43	0,85	0,84	40,66

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
const	-11,19	2,12	-15,47	-6,91	-5,29	<0,0001	
Años	1,29	0,36	0,55	2,03	3,54	0,0010	14,25
RAS °	3,97	0,32	3,33	4,61	12,55	<0,0001	155,59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7273,71	2	3636,85	111,87	<0,0001
Años	407,34	1	407,34	12,53	0,0010
RAS °	5116,98	1	5116,98	157,40	<0,0001
Error	1300,38	40	32,51		
Total	8574,08	42			

Tabla 26. Parámetros estadísticos del Modelo 2, PSI en función de la Proporción de Sodio Soluble del agua de riego y el tiempo de cultivo

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP
PSI	43	0,88	0,87	22,31

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
const	-77,10	5,18	-87,57	-66,64	-14,89	<0,0001	
Años	0,65	0,30	0,04	1,27	2,15	0,0373	6,55
PSS	1,49	0,10	1,29	1,69	15,26	<0,0001	229,13

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5310,11	2	2655,05	142,41	<0,0001
Años	86,48	1	86,48	4,64	0,0373
PSS	4339,98	1	4339,98	232,79	<0,0001
Error	745,75	40	18,64		
Total	6055,85	42			

Tabla 27. Parámetros estadísticos del Modelo 3, PSI en función de la Proporción de Sodio del agua de riego y el tiempo de cultivo

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP
PSI	43	0,90	0,90	26,20

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
const	-15,75	1,77	-19,33	-12,16	-8,88	<0,0001	
Años	1,18	0,29	0,59	1,77	4,04	0,0002	17,91
PS	13,61	0,83	11,94	15,29	16,44	<0,0001	265,71

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7746,78	2	3873,39	187,28	<0,0001
Años	336,77	1	336,77	16,28	0,0002
PS	5590,05	1	5590,05	270,28	<0,0001
Error	827,30	40	20,68		
Total	8574,08	42			