

Sistemas de evaluación de tierras y elaboración de modelos de aptitud de uso agrícola, para distintos escenarios climáticos, en un sector de la subregión Pampa Arenosa (Provincia de Buenos Aires, Argentina)

Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires, Área Ciencias del Suelo.

Julieta Irigoín

Ingeniera Agrónoma - Universidad Nacional de Luján- 2004

Castelar; Instituto de Suelos



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires

COMITÉ CONSEJERO

Director de tesis

Marcelo Juan Massobrio

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Doctor en Calidad ambiental recursos vegetales y edáficos (Universidad de Vigo,
España)

Consejero de Estudios

Ramón E. Sobral

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Consejero de Estudios

Consejero de Estudios

Roberto Álvarez

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

JURADO DE TESIS

Director de tesis

Marcelo Juan Massobrio

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Doctor en Calidad ambiental recursos vegetales y edáficos (Universidad de Vigo, España)

JURADO

Héctor Francisco del Valle

Ingeniero Agrónomo, orientación en suelos (Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca,
Argentina)

Doctor en Agronomía (Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina)

JURADO

Sergio Montico

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de Rosario)

Doctor en Ingeniería (Universidad Nacional de Rosario)

Fecha de defensa de la tesis: 01 de DICIEMBRE de 2011

Agradecimientos

Quiero agradecer muy especialmente a mi familia por apoyarme en todo lo que emprendo...

A Mako, por apoyarme y darme el espacio para crecer profesionalmente...

A mis amigas Leti y Ani, por acompañarme y ayudarme con sus consejos...

A Marcelo, mi director, quiero agradecer muy especialmente, por su dedicación incondicional, acompañada de sus consejos y enseñanzas, y el tiempo brindado en este trabajo...

A Cristina por marcarme un camino y contagiarme el amor a la profesión....

A mis compañeros de trabajo, especialmente Ile, Gaby, Marquitos, Virginia y Laura, que compartieron cada paso de este largo camino...

Y finalmente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, especialmente al Instituto de Suelos, por la capacitación recibida.

A todos muchas gracias!!!!

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

.....
Julieta Irigoin

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	18
Conceptos y sistemas de evaluación de tierras	19
Antecedentes del comportamiento de las precipitaciones.....	23
Fragilidad y vulnerabilidad a la degradación de las tierras.....	23
Planteamiento del problema.....	24
Objetivos	25
CAPITULO 1 MATERIALES Y MÉTODOS	27
1.1 Caracterización del área de estudio.....	28
1.1.1 Localización del área de estudio	28
1.1.2 Geomorfología	28
1.1.3 Clima.....	29
1.1.4 Suelos	29
1.1.5 Uso de la tierra	29
1.2 Análisis climático de las precipitaciones	30
1.2.1 Análisis de series climáticas	30
1.2.1.1 Análisis exploratorio	30
1.2.1.2 Prueba de rachas.....	30
1.2.1.3 Prueba de cambios abruptos.....	31
1.2.1.4 Prueba de tendencias	32
1.2.2 Escenarios climáticos	32
1.3 Sistemas de evaluación de las tierras	33
1.3.1 Capacidad de uso de las tierras.....	33
1.3.2 Índice de productividad.....	34
1.3.3 Sistema automatizado de evaluación de tierras (ALES).....	35
1.3.3.1 Flujo de la información para la generación de modelos expertos.....	35
1.3.3.1.1 Objetivo de los modelos expertos.....	36
1.3.3.1.2 Definición de los tipos de utilización de las tierras (TUTs).....	36
1.3.3.1.3 Requisitos de los usos de la tierra	36
1.3.3.1.4 Definición de las unidades de tierra	37
1.3.3.1.5 Características de la tierra	37
1.3.3.1.6 Cualidades de la tierra	40
1.3.3.1.7 Etapa de confrontación.....	42
1.3.3.1.8 Aptitud física del tipo de utilización de las tierras (TUT).	42
1.3.3.1.9 Presentación de resultados	42
1.3.3.2. Construcción del modelo.....	42
1.4 Relación entre los sistemas de evaluación y el cambio en las precipitaciones	45
CAPITULO 2 RESULTADOS	46
2.1 Análisis climático.....	47
2.1.1 Estadística descriptiva de las precipitaciones	47
2.1.2 Prueba de rachas	47
2.1.3 Prueba de cambios abruptos.....	48
2.1.4 Prueba de tendencias	50
2.2 Propuesta de escenarios climáticos	51

2.3 Sistemas de clasificación de tierras.....	52
2.3.1 Capacidad de uso de las tierras.....	52
2.3.2 Índice de productividad	56
2.3.3 Sistema expertos de evaluación de tierras	60
2.3.3.1 Árboles de decisión: Cualidades de la tierra	60
2.3.3.2 Árboles de decisión: Aptitud de uso de las tierras	72
2.3.3.3 Aptitud de uso de las tierras	75
2.3.3.3.1 Tipo de utilización de las tierras: cultivo de soja.....	75
2.3.3.3.2 Tipo de utilización de las tierras: cultivo de maíz.....	91
2.3.3.3.3 Tipo de utilización de las tierras: cultivo de trigo.....	108
 CAPÍTULO 3 DISCUSIÓN.....	 127
3.1 Análisis de las precipitaciones	128
3.1.1 Propuesta de escenarios climáticos.....	128
3.2 Sistemas de evaluación de tierras.....	129
3.2.1 Capacidad de uso de las tierras.....	129
3.2.2 Índice de productividad	130
3.2.2.1 Efecto de la variación climática en el IP	131
3.2.3 Modelos expertos de aptitud de uso de las tierras.....	131
3.3 Comparación de los resultados de los distintos sistemas de evaluación de tierras en relación al incremento de las precipitaciones a nivel regional.....	133
 CAPITULO 4 CONSIDERACIONES FINALES	 140
 BIBLIOGRAFIA	 147
 APÉNDICE	 156

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1: Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas y serie histórica de precipitaciones.....	30
Cuadro 1.2: Conversión de las características climáticas a valores de coeficiente H (Maccarini 1990).....	34
Cuadro 1.3: Requerimientos de los cultivos: Soja, Maíz y Trigo	36
Cuadro 1.4: Características edáficas utilizadas en el ALES	39
Cuadro 1.5: Características climáticas utilizadas en el ALES.....	40
Cuadro 2.1: Estadística descriptiva de las precipitaciones anuales (1918-2005).....	47
Cuadro 2.2: Prueba de homogeneidad de la precipitación anual de la serie temporal 1918-2005.	48
Cuadro 2.3: Análisis de Pettitt para las series de precipitaciones según los partidos	48
Cuadro 2.4: Resultados del test de tendencias (Mann-Kendall) para los partidos del área de estudio	51
Cuadro 2.5: Valores zonales de los escenarios climáticos para los cultivos de Soja, Maíz y Trigo.....	51
Cuadro 2.6: Superficie y porcentaje del grado y tipo de limitación de las tierras del partido de Nueve de Julio según la clasificación de capacidad de uso.....	52
Cuadro 2.7 Superficie y porcentaje del grado y tipo de limitación de las tierras del partido de Carlos Casares según la clasificación de capacidad de uso	52
Cuadro 2.8: Superficie y porcentaje del grado y tipo de limitación de las tierras del partido de Pehuajó según la clasificación de capacidad de uso	53
Cuadro 2.9: Superficie y porcentaje del grado y tipo de limitación de las tierras del partido de Trenque Lauquen según la clasificación de capacidad de uso.....	53
Cuadro 2.10: Porcentaje de la superficie correspondiente a las ocho clases de capacidad de uso presentes en el área bajo estudio.....	56
Cuadro 2.11: Porcentaje de la superficie de las subclases de capacidad de uso presentes en el área bajo estudio	56
Cuadro 2.12: Resultados del Im por período climático y valor del coeficiente H para cada partido y área de estudio, con T media de 16°C	56
Cuadro 2.13: Clasificación de las tierras según el IP para el período después del cambio abrupto, por partido, expresadas en % de ocupación y km ²	57

Cuadro 2.14: Clasificación de las tierras según el IP para el período anterior al cambio abrupto, por partido, expresadas en % de ocupación y km ²	57
Cuadro 2.15: Clasificación cualitativa de los escenarios climáticos para los diferentes cultivos: soja, maíz y trigo, en períodos seco y húmedo.....	75
Cuadro 2.16: Superficie de los partidos del área bajo estudio, según las aptitudes de uso de las tierras para el TUT Soja en los escenarios climáticos correspondientes al período posterior al cambio abrupto (PH).....	80
Cuadro 2.17: Superficie de los partidos del área bajo estudio, según las aptitudes de uso de las tierras para el TUT Soja en los escenarios climáticos correspondientes al período anterior al cambio abrupto (PS).	89
Cuadro 2.18: Superficie de los partidos del área bajo estudio, según las aptitudes de uso de las tierras para el TUT Maíz correspondiente a los escenarios climáticos después del cambio abrupto (PH).	97
Cuadro 2.19: Superficie de los partidos del área bajo estudio, según las aptitudes de uso de las tierras para el TUT Maíz correspondiente a los escenarios climáticos antes del cambio abrupto (PS).....	106
Cuadro 2.20: Superficie de los partidos del área bajo estudio, según las aptitudes de uso de las tierras para el TUT trigo correspondiente a los escenarios climáticos después del cambio abrupto (PH).	114
Cuadro 2.21: Superficie de los partidos del área bajo estudio, según las aptitudes de uso de las tierras para el TUT trigo correspondiente a los escenarios climáticos antes del cambio abrupto (PS).....	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Localización del área de estudio de los partidos de la provincia de Buenos Aires: Nueve de Julio, Carlos Casares, Pehuajó y Trenque Lauquen.....	28
Figura 1.2: Diagrama del proceso de evaluación utilizando el sistema ALES.....	35
Figura 1.3: Modelos expertos de evaluación de tierras en ALES.....	43
Figura 1.4: Listas de Referencias definidas para los distintos TUT.....	43
Figura 1.5: Especificaciones de cada Tipo de Utilización de la Tierra.....	44
Figura 1.6: Carga externa de datos al programa ALES.....	44
Figura 2.1: Precipitación anual y valor de K anual según el test de Pettitt (1918-2005) para el partido de Nueve de Julio.....	49
Figura 2.2: Precipitación anual y valor de K anual según el test de Pettitt (1918-2005) para el partido de Carlos Casares.....	49
Figura 2.3: Precipitación anual y valor de K anual según el test de Pettitt (1918-2005) para el partido de Pehuajó.....	50
Figura 2.4: Precipitación anual y valor de K anual según el test de Pettitt (1918-2005) para el partido de Trenque Lauquen.....	50
Figura 2.5: Patrón de distribución de las clases de capacidad de uso de las tierras, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).....	54
Figura 2.6: Patrón de distribución de las subclases de capacidad de uso de las tierras, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).....	55
Figura 2.7: Patrón de distribución de las clases del índice de productividad de la tierras (IP), para el período posterior al cambio abrupto, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).....	58
Figura 2.8: Patrón de distribución de las clases del índice de productividad de la tierras (IP), para el período anterior al cambio abrupto, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).....	59
Figura 2.9: Árboles de decisión de la cualidad disponibilidad de oxígeno para los TUTs: a) soja, b) maíz y c) trigo.....	61
Figura 2.10: Árboles de decisión de la cualidad espacio para la exploración radical para los TUT: a) soja, b) maíz y c) trigo.....	62
Figura 2.11: Árbol de decisión de la cualidad disponibilidad de nutrientes para los TUT Soja.....	63

Figura 2.12: Árbol de decisión de la cualidad disponibilidad de nutrientes para los TUT Maíz.....	64
Figura 2.13: Árbol de decisión de la cualidad disponibilidad de nutrientes para el TUT Trigo.....	65
Figura 2.14: Árbol de decisión de la cualidad disponibilidad de agua para el TUT Soja	66
Figura 2.15: Árbol de decisión de la cualidad disponibilidad de agua para el TUT Maíz	67
Figura 2.16: Árbol de decisión de la cualidad disponibilidad de agua para el TUT Trigo.	68
Figura 2.17: Árboles de decisión de la cualidad anegamiento para los TUT: a) soja, b) maíz y c) trigo	69
Figura 2.18: Árboles de decisión de la cualidad alcalinidad para los TUT: a) soja, b) maíz y c) trigo	70
Figura 2.19: Árboles de decisión de la cualidad salinidad para los TUT: a) soja, b) maíz y c) trigo	71
Figura 2.20: Árbol de decisión de la aptitud del TUT Soja	72
Figura 2.21: Árbol de decisión de la aptitud del TUT Maíz	73
Figura 2.22: Árbol de decisión de la aptitud del TUT Trigo	74
Figura 2.23: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de soja bajo el escenario climático PH 20, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).....	77
Figura 2.24: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de soja bajo el escenario climático PH 50 y PH 80, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)	79
Figura 2.25: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de soja bajo el escenario climático PS 20, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).....	84
Figura 2.26: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de soja bajo el escenario climático PS 50, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).....	86
Figura 2.27: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de soja bajo el escenario climático PS 80, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).....	88

Figura 2.28: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz bajo el escenario climático PH 20, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).....	92
Figura 2.29: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz bajo el escenario climático PH 50, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).....	94
Figura 2.30: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz bajo el escenario climático PH 80, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).....	96
Figura 2.31: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz bajo el escenario climático PS 20, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).....	101
Figura 2.32: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz bajo el escenario climático PS 50, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).....	103
Figura 2.33: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz bajo el escenario climático PS 80, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).....	105
Figura 2.34: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de trigo bajo el escenario climático PH 20, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).....	109
Figura 2.35: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de trigo bajo el escenario climático PH 50, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).....	111
Figura 2.36: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de trigo bajo el escenario climático PH 80, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).....	113
Figura 2.37: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de trigo bajo el escenario climático PS 20, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).....	118
Figura 2.38: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de trigo bajo el escenario climático PS50, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).....	120
Figura 2.39: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de trigo bajo el escenario climático PS80, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).....	122

- Figura 3.1: Precipitación media mensual antes (PS) y después (PH) del cambio abrupto para los partidos de Nueve de Julio (NJ), Carlos Casares (CC), Pehuajó (PJO) y Trenque Lauquen (TL)..... 128
- Figura 3.2: Relación entre los valores de IP y la clasificación por Capacidad de uso de las series para el período posterior al cambio abrupto 134
- Figura 3.3: Relación entre los valores de IP y la clasificación por Capacidad de uso de las series para el período anterior al cambio abrupto..... 134
- Figura 3.4: Categorías comparables entre valores del IP y clase de capacidad de uso de las tierras 135
- Figura 3.5: IP y Aptitud de las unidades taxonómicas (series de suelo) presentes en el área de estudio, para el TUT Maíz en el PS 50, período anterior al cambio abrupto ... 136
- Figura 3.6: IP y Aptitud de las unidades taxonómicas (series de suelo) presentes en el área de estudio, para el TUT Maíz en el PH 50, período anterior al cambio abrupto... 136
- Figura 3.7: IP y Aptitud de las unidades taxonómicas (series de suelo) presentes en el área de estudio, para el TUT Soja en el PS 50, período anterior al cambio abrupto 137
- Figura 3.8: IP y Aptitud de las unidades taxonómicas (series de suelo) presentes en el área de estudio, para el TUT Soja en el PH 50, período anterior al cambio abrupto.... 137
- Figura 3.9: IP y Aptitud de las unidades taxonómicas (series de suelo) presentes en el área de estudio, para el TUT Trigo en el PS 50, período anterior al cambio abrupto... 138
- Figura 3.10: IP y Aptitud de las unidades taxonómicas (series de suelo) presentes en el área de estudio, para el TUT Trigo en el PH 50, período anterior al cambio abrupto.. 138

Resumen

Sistemas de evaluación de tierras y elaboración de modelos de aptitud de uso agrícola, para distintos escenarios climáticos, en un sector de la subregión Pampa Arenosa (Provincia de Buenos Aires, Argentina)

La Pampa Arenosa ha sido escenario de cambios en el uso del territorio que respondieron principalmente al aumento de las precipitaciones a partir de la década del 70. La evaluación de las tierras es una etapa crítica en la planificación del uso sustentable. Por este motivo, se analizaron distintos sistemas de evaluación de tierras y se desarrollaron modelos expertos que consideren los factores ambientales heredados y las variaciones climáticas, para el sector de dunas longitudinales de la Pampa Arenosa en la Provincia de Buenos Aires, a escala 1: 50.000, considerando a los partidos de Nueve de Julio, Carlos Casares, Pehuajó y Trenque Lauquen. Las tierras fueron clasificadas por Capacidad de Uso, Índice de productividad (IP) y se generaron sistemas expertos, utilizando el programa *ALES*, para los tipos de utilización de las tierras (TUTs): maíz, soja y trigo. La homogeneidad de las series climáticas de precipitaciones se determinó mediante el test de Rachas. La aplicación del test de Pettitt permitió identificar la existencia de un cambio abrupto en las precipitaciones y el test de Mann Kendall mostró una tendencia creciente en relación a la precipitación anual. Las tierras con severas (clase III) y muy severas limitaciones (clase IV), fueron las más frecuentes ocupando el 42,6 % y 29,8 % respectivamente del área. Se comprobó que el IP de las tierras se incrementó con el aumento de las precipitaciones, alcanzando su máxima expresión climática en el período posterior al cambio abrupto. Las tierras de moderada capacidad productiva con valores de IP entre 65-51 ocuparon la mayor superficie del área de estudio. Los modelos expertos según los TUTs presentaron una aptitud de uso de las tierras variable, condicionada por la capacidad de retención hídrica de los suelos. Los modelos expertos fueron sensibles a las variaciones climáticas y el cambio abrupto en las precipitaciones.

Palabras claves: *ALES, índice de productividad, capacidad de uso, cambio abrupto en las precipitaciones, tipos de utilización de las tierras.*

Abstract

Land evaluation systems and modeling suitability of agricultural land use, under to climate scenarios, in sub-sector of the Sandy Pampa (Buenos Aires, Argentina)

The Sandy Pampa has suffered changes in land use that has responded mainly to the increase in rainfall as from the 70's. Land evaluation is a critical stage in the planning of sustainable use. Therefore, different systems of land evaluation were analyzed and expert models that consider inherited environmental factors and climate variations in the area of the longitudinal dunes of Sandy Pampa in the Province of Buenos Aires, scale 1: 50.000, such as the districts of Nueve de Julio, Carlos Casares, Pehuajó and Trenque Lauquen, were developed. The lands were classified according to Land Capability, Productivity Index (PI) and expert systems were generated using the software *ALES*, for

the land utilization types (LUTs): corn, soybean and wheat. The homogeneity of the rainfall climate series was determined by test Runs. The application of the test Pettitt identified the existence of an abrupt change in annual precipitation and the Mann Kendall test showed an increasing trend in relation to annual precipitation. Soils with severe (Class III) and very severe limitations (class IV) were the most frequent, occupying 42.6 % and 29.8 % of the area, respectively. PI increased with the increase of the rainfalls, reaching its highest climatic expression in the period subsequent to the abrupt change. The lands of moderate productive capacity with values of 65-51 of PI, occupied the largest surface of study area. The expert models according to LUTs presented a variable suitability of land use, conditioned by the water retention capacity of the soils. The expert models were sensitive to climatic variations and the abrupt change of the precipitations.

Keywords: *ALES, productivity index, land capability, abrupt change in precipitation, land utilization types.*

INTRODUCCION

Conceptos y sistemas de evaluación de tierras

La evaluación de tierras es el proceso de valoración del comportamiento de áreas definidas del espacio cuando se destina a fines específicos (FAO 1985). El propósito de dicha evaluación es generar información demandada por los planificadores del uso de la tierra, para la toma de decisiones en la gestión del uso del territorio. En este sentido, reconocer que los recursos naturales son finitos en tiempo y espacio y que los efectos de las actividades humanas imponen costos a la sociedad; pone de manifiesto la importancia de la evaluación de diferentes tipos de utilización de las tierras en la planificación del uso sustentable de los recursos naturales (Massobrio 2004). Así, la evaluación de tierras se transforma en un instrumento fundamental para el diseño de la gestión ambiental de nuevos polos de desarrollo y en la valoración de cambios hacia nuevos usos.

La tierra es un conjunto multidimensional espacio temporal de los atributos del paisaje que intervienen en un acto productivo. El clima, el suelo, el sistema geológico subyacente, la hidrología, la flora, la fauna y los resultados de la actividad humana pasada y presente en la medida en que ejercen una importante influencia sobre los usos actuales y futuros del territorio, están comprendidos en el concepto tierra (Massobrio y Santanatoglia 2008, FAO 2007, Zonneveld y Forman 1990). De este modo, se plantea la necesidad de contar con criterios y métodos específicos de evaluación de tierras que consideren la complejidad de sus componentes y factores, a distintas escalas de percepción (Rossiter 1996).

Desde 1950, los sistemas de evaluación de tierras evolucionaron a valoraciones más cuantitativas y precisas y con una mayor repercusión de factores no edáficos (Wagenet y Bouma 1993, Van Diepen et al. 1991). Según Lang (1980) los modelos de evaluación son útiles al permitir ahorrar tiempo y dinero a través de la reducción en la recolección de datos. Por otro lado, Bennema (1983) sostiene que una de las tareas de la evaluación de tierras es la construcción de modelos sencillos del ambiente físico y los mismos deben ser el resultado de una síntesis de los datos y no la eliminación de aquellos de menor relevancia.

Sin embargo, el problema sustancial es encontrar como debe ser el sistema de evaluación. Según Smyth (1971) debe ser flexible y sencillo para la aplicación del modelo generado y propone una serie de *normas internacionales* que ofrezcan:

- Una mejor comunicación entre el encargado de reunir la información sobre el recurso tierra y el que la va a utilizar
- Una orientación de los inventarios y la interpretación de los mismos de aplicación general
- Fomentar la cooperación y el intercambio de información sobre los problemas de evaluación de tierras.

El esquema de evaluación de la aptitud de las tierras propuesto por FAO (2007, 1985, 1976) hizo un importante aporte al estandarizar las metodologías y la terminología entre los distintos sistemas de evaluación. En este esquema se establecen las directrices generales a partir de las cuales se puede construir un sistema de evaluación de tierras. El proceso crítico es la comparación de las cualidades de la tierra de cada unidad de terreno con los requerimientos de cada tipo de utilización (Beek 1978).

Existen diversas metodologías utilizadas en la elaboración de sistemas de evaluación de tierras en términos de adaptabilidad y/o vulnerabilidad (De la Rosa et al. 2004, Sobral 1998). Los sistemas desarrollados de acuerdo a la metodología empleada pueden clasificarse en relación al objetivo, metodología de aplicación y/o metodología de cálculo. Los sistemas indirectos y cualitativos se caracterizan por el empleo del

conocimiento experto y la utilización de pocos datos. Estas características permiten la generación de respuestas rápidas en desmedro de una mayor precisión. La subjetividad de cada evaluador al utilizar el sistema es mitigada a través de distintas presuposiciones propias de estos sistemas.

La clasificación de la Capacidad de Uso de las tierras fue desarrollada en el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (USDA) por Klingebiel y Montgomery (1961). Este sistema permite clasificar unidades cartográficas de suelos, de acuerdo a su capacidad para sostener tipos generales de uso, sin degradación o efectos significativos. La clasificación de Capacidad de Uso presupone cinco usos de la tierra predeterminados: 1-agricultura sin prácticas específicas de control de degradación, 2-agricultura con prácticas específicas de control de degradación, 3-pasturas mejoradas, 4-pastoreo de pastizales y uso forestal, y 5-recreación y conservación de la fauna silvestre.

Los fundamentos de la clasificación son la capacidad y las limitaciones permanentes. La *capacidad* se refiere al potencial de la tierra para un uso predeterminado. Las *limitaciones permanentes* restringen la capacidad de producción. Dichas limitaciones no pueden ser eliminadas con mejoras de menor cuantía.

La estructura de la clasificación se asienta en tres niveles o categorías:

- Las *clases* son ocho y agrupan suelos con el mismo grado relativo de riesgo o limitación. Se dividen, generalmente, en tierras arables (clases I a IV) y no arables (clases V a VIII), y en la medida en que aumenta la clase disminuye la intensidad de uso y se incrementa el grado de limitación.
- Las *subclases* hacen referencia al tipo de limitación. Se reconocen las siguientes subclases *e*: erosión; *w*: exceso de agua; *s*: limitaciones en zona radical (incluye rocosidad, profundidad efectiva, alcalinidad, salinidad y baja fertilidad natural difícil de corregir) y *c*: limitaciones climáticas (precipitación y temperatura).
- Las *unidades* agrupan a una o más unidades de mapeo individuales que se asemejan por su potencialidad y sus limitaciones permanentes o riesgos. Bajo condiciones ambientales similares, las unidades de capacidad, definen áreas de tierras lo suficientemente uniformes para producir clases similares de cultivos, con tratamientos de manejo y requerimientos conservacionistas semejantes y productividad potencial comparable.

Los sistemas de evaluación de tierras basados en métodos cuantitativos requieren de equipamientos especializados y mayor precisión en los datos. En general, utilizan modelos computarizados, parámetros matemáticos y modelos de simulación; entre ellos se destacan los sistemas paramétricos, sistemas estadísticos, sistemas expertos, sistemas de análisis multicriterio, modelos de simulación dinámica, modelos híbridos, sistemas de lógica difusa y redes neuronales artificiales (Park et al. 2005, Nisar et al 2000, Davidson et al. 1994).

Los sistemas paramétricos de evaluación de tierras consideran los efectos numéricos inferidos de diversas características de la tierra o factores más significativos, sobre el comportamiento potencial de un determinado uso de la tierra. El índice de Storrie (1933) es un sistema multiplicativo y considera solamente cuatro factores, se utiliza para discriminar entre tierras y no como valor absoluto de la productividad de las mismas. También se destacan el índice desarrollado por Riquier, Bramao y Cornet (Boixadera y Porta 1991) y el índice de Pierce basado en las relaciones entre las variables del suelo y la productividad mediante curvas de respuesta (Pierce et al. 1983).

En Argentina, la clasificación indirecta cuantitativa más utilizada es el Índice de Productividad (IP). Este sistema fue desarrollado originalmente por la FAO (Riquier et

al 1970) y adaptado de acuerdo a las condiciones agroecológicas locales por el INTA, en donde se valoraron todas las unidades taxonómicas y unidades cartográficas de los Mapas de Suelos de la República Argentina a escala 1:1.000.000 y 1: 500.000 (INTA 1990). Asimismo, la provincia de Buenos Aires fue relevada y evaluada, en su mayoría, a escala de semidetalle (1:50.000).

El Índice de Productividad relaciona en forma multiplicativa los valores o niveles de propiedades que tienen cierta influencia sobre la productividad de la tierra (Tasi et al. 2010). Las propiedades que integran el IP son: Condición Macro climática (H); Drenaje (D); Profundidad Efectiva (Pe); Textura superficial (Ta); Textura subsuperficial (Tb); Salinidad (Sa); Sodicidad (Na); Materia Orgánica (Mo); Capacidad de Intercambio Catiónico (T); Erosión Actual y Erosión Potencial (E).

Los sistemas expertos, son programas informáticos que simulan las capacidades resolutorias de personas expertas en un campo determinado, proporcionando soluciones a un problema. Según Durkin (1996), un sistema experto es un programa de computación diseñado para modelar problemas con la habilidad de solucionarlos a través del conocimiento experto. Los árboles de decisión constituyen uno de los mecanismos de inferencia del conocimiento más utilizados al programar un sistema experto para la evaluación de tierras (De la Rosa 2005, Kilic et al. 2005). Éstos se definen como sistemas jerárquicos de múltiples caminos en los que las derivaciones se corresponden con los criterios de decisión y sus posibles opciones.

El Sistema Automatizado de Evaluación de Tierras - *ALES*, (Rossiter y Van Wambeke 1997, 1995) no es un sistema experto en sí mismo, sino una estructura dentro de la cual los investigadores pueden utilizar su propia experiencia y generar un sistema experto propio, de acuerdo con los criterios del esquema para la Evaluación de Tierras de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO 1985, FAO 1976).

El *ALES* fue desarrollado por el Departamento de Suelo, Cultivo y Ciencias Atmosféricas de la Universidad de Cornell, USA. Este programa (www.itc.nl/personal/rossiter/landeval/ales/ftp/index.html) consiste en distintos plantatos vacíos, por lo tanto no incluye bases de datos ni conocimientos acerca del uso de la tierra. Cada evaluador construye sus propios modelos con el fin de establecer la aptitud física de las unidades de tierra respecto a los tipos de utilización definidos (da Silva Chagas et al. 2006).

El modelo experto resultante de la aplicación del programa, se basa en un grupo de procedimientos de decisión y no en un modelo de proceso (modelos de simulación de cultivos), o modelo empírico (Rossiter 1995). El *ALES* permite construir sistemas expertos para la evaluación de tierras a diferentes escalas, regional y de proyecto (Stoorvogel 1995, Johnson et al. 1994).

Algunos conceptos básicos utilizados por el sistema *ALES* son:

- Tipo de utilización de la tierra (TUT): es una subdivisión de la clase principal de uso y representa una descripción más detallada en términos de tipo de cultivo y manejo del uso de la tierra propuesto. Corresponde a las posibles opciones de uso de la tierra que serán evaluados y que pueden afectar de manera diferencial a las distintas unidades de tierra. El TUT representa un uso actual o alternativo de la tierra.

- Requisitos o requerimientos del tipo de utilización de la tierra (RUT): expresan las condiciones de la tierra necesarias para la implementación exitosa y sustentable del tipo de uso a evaluar. En otras palabras, representan la demanda del uso específico.

Entre los requerimientos para los cultivos agrícolas se pueden mencionar los requerimientos de agua, nutrientes, temperatura, cama de siembra, humedad de suelo y transitabilidad, entre otros. Los requerimientos del TUT fijan en gran medida las propiedades de la tierra (calidades) que deberán estudiarse y a qué nivel de detalle (Beek 1978). La disponibilidad de información respecto a cada RUT es un factor restrictivo para la evaluación de tierras sobre todo en los países en desarrollo. Los requisitos del tipo de uso de la tierra deberán ser seleccionados de acuerdo a diferentes criterios: 1. Importancia para el uso específico; 2. Existencia de valores críticos; 3. Disponibilidad de datos; 4. Disponibilidad de conocimiento entre calidades de la tierra y requisitos de uso.

- Características de la tierra: son atributos simples de la tierra que pueden ser medidas a campo o en laboratorio y/o estimados directamente.

- Cualidades de la tierra: representan la oferta de la tierra para satisfacer los requisitos de los TUT. Se definen como atributos complejos de la tierra que actúan de manera distintiva a otras calidades, en cuanto a su influencia sobre la aptitud de la tierra para un uso determinado. En el proceso de evaluación de tierras, las calidades de la tierra son confrontadas con los requerimientos de los Tipos de utilización de las tierras (TUTs). Generalmente, las calidades son inferidas a partir un conjunto de características diagnósticas pero en algunos casos puede corresponderse con una sola característica.

- Unidad de tierra o de mapeo: es un área definida con valores y/o características específicas. Las unidades cartográficas de las cartas de suelo conforman las unidades de tierra que serán evaluadas por su aptitud para cada tipo de uso de la tierra.

- Árboles de decisión: son claves jerárquicas multidireccionales construidos por características de la tierra (o calidades) y criterios lógicos en base al conocimiento experto. Los árboles de decisión constituyen la herramienta fundamental del sistema experto para la evaluación de las calidades y la aptitud de la tierra. En el árbol de decisión, las hojas representan los resultados, tales como rangos de calidades de la tierra y los nodos interiores del árbol (puntos de las ramas) los criterios de decisión, es decir, los valores de la característica de la tierra. Estos árboles son elaborados por el constructor del modelo y revisados de acuerdo al resultado de la evaluación (Rossiter et al. 1993).

- Armonización: se refiere a la confrontación (matching) de los requisitos de los tipos de uso de la tierra (demanda) con las calidades de la tierra (oferta), para dar una predicción de la aptitud de uso de la misma (evaluación de tierras).

- Evaluación física: Indica el grado de aptitud de uso de la tierra, considerando los aspectos físicos relativamente permanentes como el clima y las condiciones edáficas. Dicha evaluación no considera las condiciones económicas. En la evaluación física, las unidades de tierra son clasificadas en clases de aptitud según la metodología FAO, en tierras muy aptas (1), moderadamente aptas (2), marginalmente aptas (3) y no aptas (4). En este sentido, la tierra no se define como buena o mala, sino como más apta o menos apta para cada tipo de uso en particular. La evaluación física se concentra en los riesgos o limitaciones que se presenten al considerar los distintos tipos de uso de las tierras en una determinada área.

Antecedentes del comportamiento de las precipitaciones

El Sudeste de América del Sur, es una de las regiones del Mundo donde se registraron los mayores cambios en el clima durante los últimos treinta años del siglo XX. En Argentina, el cambio climático produjo un incremento de las precipitaciones durante las décadas del 60 y 70 y también cambios de la temperatura superficial de la tierra (Vera 2009). El aumento de precipitaciones registrado en la Región Pampeana condujo a incrementos de los rendimientos de secano del orden de 38 % en soja, 18 % en maíz, 13 % en trigo y 12 % en girasol y contribuyó en forma contundente a la expansión de la frontera agrícola y del área sembrada con cultivos anuales (Magrin et al. 2005).

Específicamente, en la Región Pampeana, las lluvias de primavera-verano aumentaron entre un 10 % y un 50 % y las temperaturas mínimas subieron hasta 1,9 °C mientras que las máximas se redujeron hasta 2,0 °C (Bidegain et al. 2005, Barros et al. 2000, Castañeda y Barros 1994). Este suceso climático, sería considerado de carácter permanente y se debería a una mayor cantidad de energía del sistema climático provocada por el calentamiento global. Sin embargo, otros autores, indican la posibilidad de que la Región Pampeana se ubique en un ciclo hídrico de larga duración con fases húmedas y secas, separadas por fases de transición, relacionadas con las fluctuaciones de la radiación solar (Sierra y Pérez 2006). Además, del cambio climático o ciclo hídrico de larga duración, la Región Pampeana está sujeta a la variabilidad climática. Esta variación interanual de la precipitación surge de complejas interacciones entre los diferentes componentes del sistema climático, como ser los océanos, la tierra continental, los hielos y la atmósfera. La variabilidad climática tiene un fuerte efecto sobre la producción agropecuaria debido a períodos de sequías y grandes lluvias. El ENSO (oscilación sudoeste del Niño) resulta de la interacción del océano y la atmósfera en el Océano Pacífico tropical, y es la principal fuente de variabilidad a escala estacional e interanual en muchas partes del Mundo. Este fenómeno involucra dos fases extremas: El Niño o eventos cálidos y la Niña o eventos fríos; los años en los cuales no hay fases extremas se denominan neutrales. El origen de la variabilidad climática es diferente de aquel que produce el cambio climático, ya que este último está asociado a cambios externos al sistema climático, ya sean naturales o antropogénicos (Vera 2009).

El conocimiento del clima constituye, en la actualidad, una parte esencial de las evaluaciones ambientales, no solo como factor de riesgo sino también como recurso. El sector agropecuario, es el más vulnerable a los cambios y/o variaciones climáticas.

A escala regional, la precipitación es la variable climática que mayor influencia tiene en la producción de los cultivos de granos en secano, debido a su incidencia en los rendimientos e indirectamente en la economía del sistema productivo. En consecuencia, la precipitación es considerada una variable imprescindible en los distintos modelos de predicción (Bert et al. 2007, Penalba et al. 2007).

La formulación de distintos escenarios climáticos en modelos de evaluación de tierras, tiene como objetivo predecir el comportamiento de las tierras frente a variaciones en el clima con la finalidad de que los usuarios de las mismas, puedan atenuar los impactos en condiciones adversas y beneficiarse en condiciones favorables.

Fragilidad y vulnerabilidad a la degradación de las tierras

En las últimas décadas se tomó conciencia de la necesidad de abordar los problemas de degradación de las tierras por sus efectos en la disminución de la capacidad productiva de las mismas (FAO y PNUMA 1980). En este sentido, el

concepto de fragilidad al deterioro de las tierras posibilita una visión sistémica para el estudio de los procesos de degradación de los suelos. Se entiende por *fragilidad* al grado de deterioro como el resultado de la interacción de las características intrínsecas heredadas del sistema que facilitan o no los procesos de degradación o alteración del recurso. La información generada es perdurable en tiempo humano poniendo de manifiesto las limitaciones permanentes del sistema (Cendrero 1997). Los factores de resistencia edáfica (textura, CIC, tipo de arcilla entre otros) y de agresión climática (intensidad de las lluvias, cantidad de las lluvias, velocidad del viento, temperatura) conjuntamente con los factores condicionantes expresados por la pendiente y longitud de la misma reflejan la fragilidad a la degradación de las tierras en un agroecosistema.

Sin embargo, se producen cambios frecuentes en el uso de las tierras. El concepto de *vulnerabilidad de las tierras* considera las modificaciones del uso y su efecto en la degradación. Cendrero (1997) define a la vulnerabilidad como la expresión de la fragilidad a la degradación por el uso del territorio.

La incorporación de estos conceptos en los sistemas de evaluación de tierras, permitirá el desarrollo de modelos que ofrezcan resultados para el logro de una gestión del uso del territorio con distintos horizontes de planificación (Massobrio 2004).

Planteamiento del problema

La evaluación de tierras es una etapa crítica de la planificación del uso del territorio (Wang et al. 2004, Mc Bratney et al. 2000). La existencia de una gran cantidad de métodos de evaluación para predecir la capacidad o adaptabilidad de las tierras para un uso específico dificulta la elección del método más adecuado cuando la información disponible es limitante. En la República Argentina, los sistemas de evaluación de tierras aplicados de manera generalizada corresponden a la Clasificación por Capacidad de Uso de las Tierras Agrícolas de Secano (Klingebiel y Montgomery 1961) y al índice de productividad propuesto por Riquier y otros (1970) con modificaciones para las condiciones locales realizadas por Sobral y colaboradores (1988). Estas metodologías, por sus conceptos y tipo de limitaciones permanentes utilizadas, no poseen la capacidad de desarrollar una evaluación dinámica de la aptitud de uso de las tierras. Paralelamente, existen sistemas para usos específicos de la tierra aplicando la metodología FAO a distintas escalas de percepción (FAO 2007, Hennebert et al. 1996, FAO 1985).

Los sistemas expertos han posibilitado la generación de modelos de evaluación de tierras que permiten desarrollar una evaluación dinámica de la aptitud de uso de las mismas. Sin embargo la validez de estas nuevas herramientas es controversial. En este sentido, se plantea la necesidad de conocer la potencialidad de estas técnicas en relación a los sistemas de evaluación más frecuentemente utilizados, para un área determinada.

La Región Pampeana, ha sido escenario de importantes cambios relacionados al uso de la tierra. El cambio regional ocurrió por la conversión de tierras de pastizales a cultivo y una gradual intensificación de la agricultura en las tierras cultivables (Viglizzo et al. 1997). En la Subregión Pampa Arenosa, se observó un aumento de la superficie destinada a cultivos anuales del 4.1 % entre 1960 y 1988 y un incremento del 10 % entre 1988 y 2002. Así también, el porcentaje de superficie de pasturas cultivadas y de superficie destinadas a pasturas anuales disminuyeron, entre 1960 y 2002, un 9.3 % y 8.4 % respectivamente, según datos provenientes de los censos agropecuarios para los años mencionados (Viglizzo et al. 2005). Estos cambios de uso de la tierra responden principalmente al aumento de las precipitaciones hacia el oeste de la Región Pampeana, a partir de la década del 70 (Sierra y Pérez 2006, Magrin et al. 2005). Entre 1956-1990 fue evidente un considerable corrimiento (más de 100 km) de las isohietas de 500 y 750

mm (Sierra y Pérez 2006, Sierra et al. 1994) alcanzando el área subhúmeda, precipitaciones medias anuales entre 900 y 1000 mm (Servicio Meteorológico Nacional). Viglizzo y otros autores (1997) encontraron diferencias significativas en las correlaciones entre precipitaciones y el porcentaje de las tierras destinadas a cultivo, para distintos partidos ubicados en las áreas húmedas y subhúmedas de la Región Pampeana.

Otros factores además de las precipitaciones pueden explicar el cambio en el uso de la tierra y el crecimiento agrícola, tales como factores económicos referidos a precios favorables de los granos y mejoras en la tecnología como nuevos sistemas de labranzas y mejoramiento genético (Magrin et al. 2005, Satorre 2005). En la Región Pampeana, se comprobaron incrementos de 73 kg/ha/año entre 1959 y 1989 en maíz (Mella et al. 1984), 49 kg/ha/año entre 1970 y 1995 en girasol (López Pereira et al. 1999), 50 kg/ha/año durante los últimos 70 años en trigo (Calderini 1998) y 1.5 % anual durante los últimos 5 años para el cultivo de soja (Rossi 2003). Al analizar los censos agropecuarios 1988 y 2002, en el área de estudio, la superficie cultivada se duplicó entre los años 1988 y 2002 (INDEC).

En la Subregión Pampa Arenosa, las aptitudes de tierras determinadas por los sistemas tradicionales de evaluación, no fueron comprendidas por los usuarios de la tierra; debido a que los incrementos de las precipitaciones, en distintos geoambientes, disimularon la fragilidad heredada a los procesos de degradación de los suelos. En períodos húmedos, la mayor capacidad de producción de materia seca, mejoró el control de los procesos de erosión disminuyendo la vulnerabilidad del sistema. Según Viglizzo y otros (2003) en la Subregión, se modificaron los coeficientes relativos de erosión, de 0,16 en 1960 a valores de 0,12 en 1996, evidenciando una disminución en el riesgo de erosión. Estos efectos crearon un cambio en la percepción de la fragilidad del sistema y consecuentemente, aumentó la presión agrícola en ambientes de mayor fragilidad a la degradación de las tierras en la región bajo estudio.

Como se planteó con anterioridad la evaluación de tierras tiene como objetivo generar información de la aptitud de los distintos tipos de utilización de las mismas, antes que se decida el destino de uso de las tierras por los planificadores regionales de gestión (Satorre 2003). Por este motivo, establecer la aptitud de un tipo de utilización de la tierra ante variaciones climáticas propias de la Subregión Pampa Arenosa, es crucial para una planificación de uso sustentable.

Teniendo en cuenta las consideraciones expuestas con anterioridad, los objetivos de este trabajo son:

Objetivos

Objetivo general:

- Analizar y desarrollar modelos de evaluación de tierras que consideren los factores ambientales heredados y las variaciones climáticas, a través de metodologías cualitativas y cuantitativas para ser aplicados en el sector de dunas longitudinales de la Pampa Arenosa en la Provincia de Buenos Aires, a escala de semidetalle (1:50.000).

Objetivos específicos:

- Analizar el comportamiento histórico de las lluvias en el área bajo estudio. Definir diferentes escenarios climáticos para ser utilizados en el desarrollo de los modelos expertos.
- Clasificar las tierras agrícolas en función de sus capacidades y limitaciones permanentes (Capacidad de uso de las tierras) y generar una cartografía específica.
- Evaluar las tierras a través del índice de productividad y generar una cartografía específica.
- Desarrollar a través del sistema *ALES*, modelos de aptitud de tipos de utilización agrícola de las tierras: maíz, soja y trigo, presentes en el área bajo análisis.
- Analizar el efecto del cambio en las precipitaciones sobre los resultados de los sistemas de evaluación de tierras utilizados.

CAPÍTULO 1
MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Caracterización del área de estudio

1.1.1 Localización del área de estudio

En la provincia de Buenos Aires, la Subregión Pampa Arenosa se halla situada entre los paralelos 34° 20' y 36° 50' de latitud Sur y entre los meridianos 60° 45' y 63° 20' de longitud Oeste, ocupando una superficie de 5.500.000 hectáreas.

A pesar que sus límites naturales corresponden a dos cuencas de drenaje definidas, al Norte el Río Salado y al Sur los Arroyos Vallimanca y Saladillo, la región no presenta un sistema hidrológico típico lo que genera un patrón de escurrimiento superficial característico asociado a las dunas parabólicas y los médanos transversales (Cabral et al. 1996, Moscatelli 1991). Este patrón geomorfológico determina cuencas arreicas caracterizadas por lagunas permanentes y transitorias y amplias zonas afectadas por salinización (Zamolinski et al. 1994, Moscatelli 1991).

La escasa pendiente regional, los rasgos geomorfológicos, la gran capacidad de infiltración del terreno y la evaporación elevada, favorecen el movimiento vertical del agua (evaporación-infiltración) predominando sobre el movimiento horizontal.

El área de estudio comprende los partidos de Nueve de Julio, Carlos Casares, Pehuajó y Trenque Lauquen, localizados en la provincia de Buenos Aires en el sector de médanos longitudinales de la Pampa Arenosa (Figura 1.1).

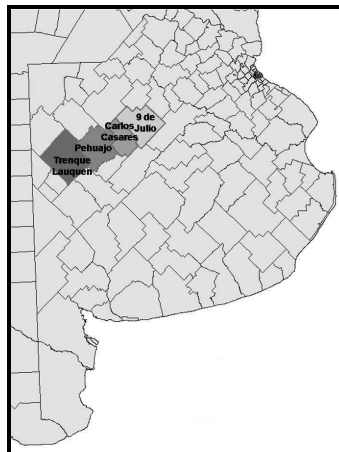


Figura 1.1: Localización del área de estudio de los partidos de la provincia de Buenos Aires: Nueve de Julio, Carlos Casares, Pehuajó y Trenque Lauquen

1.1.2 Geomorfología

Las dunas longitudinales conforman un sistema de lomadas estrechas y alargadas separadas entre sí por depresiones paralelas. Estas geoformas eólicas se hallan en el sector Noroeste de la provincia de Buenos Aires formando un gran arco con concavidad hacia el oeste (Moscatelli 1991). Las dunas longitudinales se caracterizan por exhibir dimensiones de longitud de onda (distancia entre crestas) de 4 a 5 km, longitudes de 100 y 150 km y un ancho variable en las áreas interdunas de 1 a 2 km. Durante los períodos de anegamiento e inundación, las áreas bajas son ocupadas por lagunas cuyas dimensiones dependen de la intensidad del evento indicado (Viglizzo y Frank 2006).

El tamaño y morfometría de las dunas longitudinales responden a condiciones de extrema aridez actuantes en el Pleistoceno-Holoceno y a un régimen de vientos con direcciones diferentes y de mayor energía a los que prevalecen en la actualidad (Malagnino 1989). Estas geoformas se encuentran mayormente estabilizadas como resultado de procesos fluviales, lacunares y eólicos.

Geográficamente, en la Provincia de Buenos Aires, estos médanos se ubican en los partidos de Rivadavia, Trenque Lauquen, Pehuajó, Carlos Tejedor, Carlos Casares, Nueve de Julio, Lincoln, General Viamonte, Florentino Ameghino y General Villegas.

1.1.3 Clima

El clima es templado con algunas características continentales. La temperatura media anual es de 16 °C. Las precipitaciones están desigualmente distribuidas durante el año y son variables entre años. Desde el comienzo de la década del '70, se advierte para la Subregión, el ingreso a un período más húmedo caracterizado por un marcado aumento de los registros pluviométricos y la concentración de grandes lluvias en cortos períodos de tiempo. El promedio histórico de lluvias es de 870 mm/año. La evapotranspiración potencial calculada según Penman es de 1092 mm/año resultando en un balance hídrico negativo; donde el mayor déficit hídrico ocurre en los meses de noviembre a febrero. La velocidad del viento es mínima en el otoño (13 km/h) y máxima entre septiembre y febrero, siendo aproximadamente de 16.8 km/h (Hall et al. 1992).

1.1.4 Suelos

En la Subregión, la relación suelo-paisaje está bien definida. Los suelos que ocupan las partes altas de las lomas presentan una ligera diferenciación de horizontes encontrándose los Hapludoles Enticos, y en las medias lomas y pendientes los Hapludoles Típicos. En algunas planicies y bajos no anegables, se encuentran los Hapludoles Tpto Argicos, que corresponden a suelos desarrollados sobre dos materiales eólicos superpuestos. En la depresión intermedana, se encuentran los suelos Hapludoles Tpto Nátricos y los Natracuoles Típicos con horizontes subsuperficiales más arcillosos, alcalinos y de baja permeabilidad (Moscatelli 1991).

La información edáfica utilizada, correspondiente al área de estudio, comprende las cartas de suelos a escala de semidetalle (1:50.000) realizadas por el INTA (1974-1997): 3560-19, 3560-20, 3560-25, 3560-26, 3560-27, 3560-31, 3560-32, 3563-28, 3563-29, 3563-30, 3563-34, 3563-35, 3563-36, 3760-1, 3763-4, 3763-5, 3763-6, 3763-10 y 3763-11. Dicha cartografía está validada por observaciones a campo y la descripción de calicatas durante el relevamiento en las décadas del 80 y 90. Recientemente, el Instituto de Suelos, realizó la actualización de las cartas de suelos del Oeste de Buenos Aires, al relevar los suelos que en el período de anterior se encontraban bajo agua (<http://www.inta.gov.ar/suelos/investiga/CartaSuelosProvBuenosAires.htm>).

1.1.5 Uso de la tierra

En la Subregión Pampa Arenosa, los principales sistemas de uso de la tierra son el agrícola, agrícola-ganadero (mixto) y ganadero, entre otros. Los cultivos agrícolas

producidos en el área de estudio son similares a los realizados en la Región Pampeana. Dentro de los cultivos anuales de verano se encuentran el girasol (*Helianthus annuus*), maíz (*Zea mays*), soja (*Glycine max*), y sorgo (*Sorghum vulgare*) y verdeos de verano; entre los cultivos invernales se producen trigo (*Triticum aestivum*), cebada (*Hordeum vulgare*), verdeos de invierno, principalmente avena (*Avena sativa*), centeno (*Secale cereale*) y triticale (X. *Triticosecale Wittmack*); y pasturas plurianuales a base de alfalfa (*Medicago sativa*) y festuca (*Festuca arundinacea*) (Diaz Zorita et al. 2002, Hall et al. 1992).

1.2 Análisis climático de las precipitaciones

1.2.1 Análisis de series climáticas

Los datos históricos de precipitaciones anuales y mensuales se obtuvieron de las estaciones meteorológicas ubicadas en el área bajo estudio (Cuadro 1.1) y los mismos fueron considerados como valores medios de cada partido¹.

Cuadro 1.1: Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas y serie histórica de precipitaciones.

Partido	Latitud (S)	Longitud (O)	Altura (msnm)	Serie de precipitaciones	Fuente
Nueve de Julio	35° 27'	60° 53'	76	1918-2009	Aero, SMN
Carlos Casares	35° 55'	61° 29'	88	1918-2009	Chacra Bellocq
Pehuajó	35° 48'	61° 54'	85	1918-2005	Aero, SMN
Trenque Lauquen	35° 56'	62° 43'	81	1918-2005	SMN

Referencias: S, Sur; O, Oeste; msnm, metros sobre el nivel del mar; SMN, Servicio Meteorológico Nacional; Aero, Aeródromo

1.2.1.1 Análisis exploratorio

Las series de precipitaciones anuales fueron analizadas mediante distintos análisis estadísticos descriptivos: media, desvío estándar, coeficiente de variación y amplitud.

1.2.1.2 Prueba de rachas

La prueba de rachas o alternancias (Thom 1966) permite evaluar la homogeneidad de una serie climática identificando si los datos provienen de la misma población (Back 2001). La ruptura de la homogeneidad puede deberse a:

¹ No se realizó la interpolación con otras estaciones u observatorios meteorológicos de partidos adyacentes, debido a la distancia geográfica entre éstas, la escasez de series de igual período de tiempo y a los errores generados en la interpolación, los cuales se acumulan al tratarse de series temporales (Comunicación personal, G. Rodríguez y T. Boca, Instituto de Clima y Agua, INTA).

- Cambios de localizaciones de una estación meteorológica
- Cambios de sensores o métodos de medición
- Cambios del entorno del observatorio (árboles, cambio de uso, edificios, crecimiento urbano, entre otros).

Este análisis consiste en determinar la distribución en el número de oscilaciones de los valores ubicados por encima o debajo de la mediana en una serie de datos ordenados naturalmente. Para la obtención del estadístico Z, se enumera la cantidad de rachas o secuencias que se ubican por encima y por debajo del valor central (R) y se considera el número de datos de la serie (n). De acuerdo a la siguiente ecuación se deduce el estadístico Z:

$$Z = \frac{R - \frac{n+2}{2}}{\sqrt{\frac{n*(n-2)}{4*(n-1)}}}$$

Considerando una distribución normal, la serie temporal resulta homogénea si $|Z| \leq 2,58$ ($p < 0.01$), ó $|Z| < 1,96$ ($p < 0.05$).

A partir de los datos de precipitación anual de la serie temporal 1918-2005 proveniente del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), se analizó la homogeneidad de los mismos, para los partidos de Nueve de Julio, Carlos Casares, Pehuajó y Trenque Lauquen, de acuerdo a la prueba de rachas. Esta prueba se realiza como un estudio exploratorio de los datos y su resultado brinda confiabilidad en la serie climática utilizada para los posteriores análisis (Pérez et al. 2009).

1.2.1.3 Prueba de cambios abruptos

La existencia de cambios abruptos en series históricas de precipitaciones ha sido detectada en diversas áreas geográficas durante el siglo XX y principalmente se han localizado en regiones semiáridas y áridas (Narisma et al. 2007).

Debido al efecto que poseen los cambios de precipitación sobre la actividad agropecuaria de la zona (Viglizzo et al. 1995), la detección de los mismos es un requisito imprescindible para adecuar los esquemas de uso de la tierra de manera que una excesiva presión productiva no exceda la capacidad de carga del ambiente causando un deterioro ambiental (Kessler 1994).

La prueba de Pettitt (1979) es una modificación de la prueba de Mann-Whitney. Es no paramétrica y es utilizada para identificar estadísticamente el instante temporal en el que se produce un cambio en la serie de tiempo (Pérez et al. 2009, Gutiérrez López et al. 2007, Lozada García y Barboza 2007).

La ausencia de un punto de cambio en la serie (x_i) de tamaño N constituye la hipótesis nula.

Se define la variable $U_{t,N}$

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N \text{sgn}(x_i - x_j)$$

Donde:

$$\text{Sgn}(x_i - x_j) = 1 \quad (x_i - x_j) > 0$$

$$\text{Sgn}(x_i - x_j) = 0 \quad (x_i - x_j) = 0$$

$$\text{Sgn}(x_i - x_j) = -1 \quad (x_i - x_j) < 0$$

La hipótesis nula se evaluó utilizando el estadístico KN definido por el máximo valor absoluto de $U_{t,N}$ para t variando de 1 a $N-1$. A partir de la teoría de rangos, Pettitt demuestra que si k representa el valor de KN de la serie de estudio, bajo la hipótesis nula, la probabilidad de superar el valor k está dada aproximadamente por:

$$\text{Prob}(KN > k) \approx 2 \exp[-6*k^2/(N^3 - N^2)]$$

Para un nivel de significación α , si la probabilidad estimada es inferior a α , la hipótesis nula es rechazada. En este caso, la serie entonces admite un punto de cambio localizado en el momento t donde es observado KN. El máximo valor de K expresa la existencia de un cambio abrupto en la serie temporal.

1.2.1.4 Prueba de tendencias

La prueba de Mann-Kendall, se utiliza a menudo para comprobar la existencia de tendencias crecientes o decrecientes en series de tiempo hidrológicas (Seoane y Callau 2009, Tosic y Unkasevic 2005, Salmi et al. 2002, Tarhule y Woo 1998). Según Hobbins et al. (2001), la prueba de Mann-Kendall no es unidimensional y no cuantifica la escala o la magnitud de la tendencia, pero sí muestra la dirección de la misma. Los valores positivos del estadístico Z_{MK} indican una tendencia creciente, mientras que valores de Z_{MK} negativos indican una tendencia decreciente.

El análisis de la tendencia para las series de precipitaciones fue examinada a través de la prueba de Mann-Kendall, utilizando la aplicación MAKESENS del programa Excel (www.emep.int/assessment/MAKESENS_1_0.xls).

1.2.2 Escenarios climáticos

Los escenarios climáticos representan diversas situaciones de oferta hídrica que serán utilizados en la evaluación de la aptitud de uso agrícola de las tierras en los modelos expertos desarrollados para maíz, soja y trigo.

Dichos escenarios se definieron utilizando las series temporales de precipitaciones correspondientes al período anterior, al que denominaremos período seco (PS) y posterior al cambio abrupto (1.2.1.3), denominado período húmedo (PH) para el área de estudio. Además se consideró la cantidad de precipitaciones durante el ciclo del cultivo y la cantidad de precipitaciones acontecidas en el período crítico del cultivo a distintas probabilidades acumuladas de ocurrencia: 20, 50 y 80 % en cada período climático. De este modo, dividir las series temporales por probabilidad de ocurrencia, permitió conocer la distribución y variabilidad de las lluvias en la serie histórica, mostrándose las menores precipitaciones en el 20 % de los años, las lluvias medias en el 50 % y las mayores en el 80 %.

El ciclo del cultivo transcurre desde la fecha de siembra hasta la fecha de cosecha. Para el cultivo de maíz se definió del 10 de octubre al 24 de febrero, para el

cultivo de soja de primera del 1 de noviembre al 16 de marzo y para el cultivo de trigo del 15 de junio al 6 de diciembre. El período crítico del cultivo comprende al período en el cual se define el rendimiento, principalmente el número de granos, y durante el cual las deficiencias hídricas y/o nutricionales afectan directamente a la producción. De acuerdo a los ciclos de los cultivos planteados en maíz, el período crítico ocurre durante el mes de diciembre, aproximadamente 30 días alrededor de floración (Hall et al. 1981), en soja en el mes de enero (R3-R6) y en trigo 20 días previos a floración y 10 días posteriores (Slafer et al. 2008, Fisher 1985) a lo largo del mes de octubre, según la Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA), para el oeste de la provincia de Buenos Aires (www.ora.gov.ar/riesgo_fenologia.php).

1.3 Sistemas de evaluación de las tierras

Los sistemas de evaluación de tierras utilizados en el área de estudio fueron capacidad de uso, índice de productividad y los modelos expertos desarrollados aplicando la metodología FAO.

1.3.1 Capacidad de uso de las tierras

La información edáfica necesaria para clasificar las tierras por el sistema de capacidad de uso, se extrajo de las cartas de suelo del INTA a escala de semidetalle (1:50.000).

Según la clasificación de Capacidad del suelo (Klingebiel y Montgomery 1961), el grado de capacidad se obtuvo a partir de la combinación de los siguientes factores:

- La capacidad del suelo para responder al uso y manejo, lo cual se evidencia por el contenido de materia orgánica, la facilidad con que mantenga una provisión adecuada de nutrientes vegetales, porcentaje de saturación de bases, capacidad de intercambio de cationes, tipo de minerales de arcilla, tipo de materiales originarios, capacidad de retención de humedad, respuesta de las plantas al agregado de nutrientes, u otras características y cualidades del suelo.
- Textura y estructura del suelo hasta una profundidad que tenga influencia sobre el desarrollo de las raíces y el movimiento del aire y del agua.
- Susceptibilidad a la erosión según las características del suelo (y de la pendiente) y el efecto de aquella sobre el uso y manejo de la tierra.
- Saturación del suelo con agua en forma continua o periódica provocada por la lenta permeabilidad del material subyacente, por una capa de agua a poca profundidad, o bien por efectos de inundaciones.
- Profundidad del suelo hasta capas que inhiben la penetración de las raíces.
- Sales tóxicas para el crecimiento de las plantas.
- Obstáculos físicos tales como rocas, cárcavas profundas, etc.
- Clima (temperatura y humedad efectiva)

El resultado de la clasificación se expresó por unidad cartográfica. Para ello, se realizó una primera aproximación a través de la clasificación de la capacidad de uso de las unidades taxonómicas a nivel de serie de suelo presentes en cada unidad cartográfica compuesta. Posteriormente se interpretó las limitaciones y grados de capacidad de uso de las series de suelos para lograr la integración a nivel de unidad cartográfica. Cabe aclarar que el resultado no es una ponderación por el grado de ocupación de las series

individuales en la unidad cartográfica, sino es la expresión del comportamiento de la unidad cartográfica como un todo respecto a sus limitaciones y grado de las mismas.

Finalmente se realizó la cartografía de la clasificación de las tierras por capacidad de uso a través de la utilización del programa ArcGIS 9.1.

1.3.2. Índice de productividad

El IP se obtuvo empleando las modificaciones realizadas por el INTA para la Región Pampeana (Sobral et al. 2010; Maccarini 1990; Sobral y Nakama 1988).

Las propiedades que integran este índice paramétrico son: Condición Macro climática (H); Drenaje (D); Profundidad efectiva (Pe); Textura superficial (Ta); Textura subsuperficial (Tb); Salinidad (Sa); Sodicidad (Na); Materia orgánica (Mo); Capacidad de intercambio catiónico (T); Erosión actual y erosión potencial (E).

La expresión cuantitativa del Índice de Productividad es la siguiente:

$$IP = H * D * Pe * Ta * Tb * Sa * Na * Mo * T * E$$

Los resultados del cálculo del IP son valores positivos cuyo valor máximo es igual a 100, representado el valor más alto la mayor capacidad productiva de las tierras.

Factor climático del IP

El factor climático H se calculó siguiendo la metodología INTA (Maccarini 1990; Sobral y Nakama 1988). Posteriormente, con el objetivo de valorar el efecto del cambio abrupto en el IP fue necesario calcular el factor H para el período anterior al cambio abrupto de las precipitaciones.

El factor climático se determinó a partir del índice de humedad global de Thornthwaite (Im), los regímenes de humedad edáfica (Moscatelli 1991, Van Wambeke y Scoppa, 1980) y la isoterma de 16 °C (Cuadro 1.2).

El Im (Thornthwaite 1948, 1955) se obtuvo por diferencia entre los excesos (índice de humedad, Ih) y las deficiencias hídricas anuales (índice de aridez, Ia) como resultado del balance hídrico para una capacidad máxima de almacenaje en el suelo de 100 mm y su relación con la evapotranspiración potencial (ETP) estimada por Thornthwaite, donde $Im = (Ih - Ia) / ETP$ (Castellví y Castillo 2001). El valor de Im para el área en su conjunto, se obtuvo del promedio de los valores de Im de cada partido.

Cuadro 1.2: Conversión de las características climáticas a valores de coeficiente H (Maccarini 1990).

Im	Temperatura anual (°C)	Coeficiente H
> 10	≥ 16	100
10 a 0	≥ 16	95
0 a -10	≥ 16	90
-10 a ustico/aridico	≥ 16	75

La información climática utilizada proviene de las estaciones meteorológicas ubicadas en cada uno de los partidos del área de estudio (SMN, SIIA y MAA Chacra Bellocq). Las series temporales de la precipitación media mensual corresponden a 1918-2009 y 1918-2005, según cada observatorio meteorológico.

La variable temperatura media mensual fue estimada a partir de la temperatura máxima y mínima media mensual, para todos los partidos con excepción de Carlos Casares que mide dicha variable. Las series temporales de temperatura fueron para Nueve de Julio de 1971-2009, Pehuajó de 1971-2009, Trenque Lauquen de 1971-2007 y Carlos Casares de 2004-2009.

Factores edáficos del IP

La información edáfica correspondiente a los distintos factores que componen el IP: drenaje, alcalinidad, salinidad, textura, capacidad de intercambio catiónico, contenido de materia orgánica, erosión actual y potencial, se obtuvieron de las cartas de suelo (INTA 1974-1997).

Para cada unidad taxonómica definida a nivel de serie se obtuvo el valor del IP a partir de la utilización de las tablas de conversión (Apéndice), en donde cada factor edáfico que participa en la ecuación paramétrica, se clasifica en categorías o rangos con sus respectivos coeficientes con valores entre 0 y 1 (Sobral et al. 2010, Sobral y Nakama 1988). El valor del IP de la unidad cartográfica se calculó mediante la ponderación de los IP de cada una de las unidades taxonómicas componentes y en relación al porcentaje de ocupación de las mismas.

Los valores de IP de las unidades cartográficas fueron agrupadas en seis categorías productivas: muy alta (> 80), alta (80-66), moderada (65-51), moderadamente baja (50- 36), baja (35-20) y muy baja (< 20).

1.3.3 Sistema automatizado de evaluación de tierras (ALES)

1.3.3.1 Flujo de la información para la generación de modelos expertos

A continuación se presenta el proceso de evaluación de tierras utilizado en el desarrollo de los sistemas expertos (Figura 1.2).

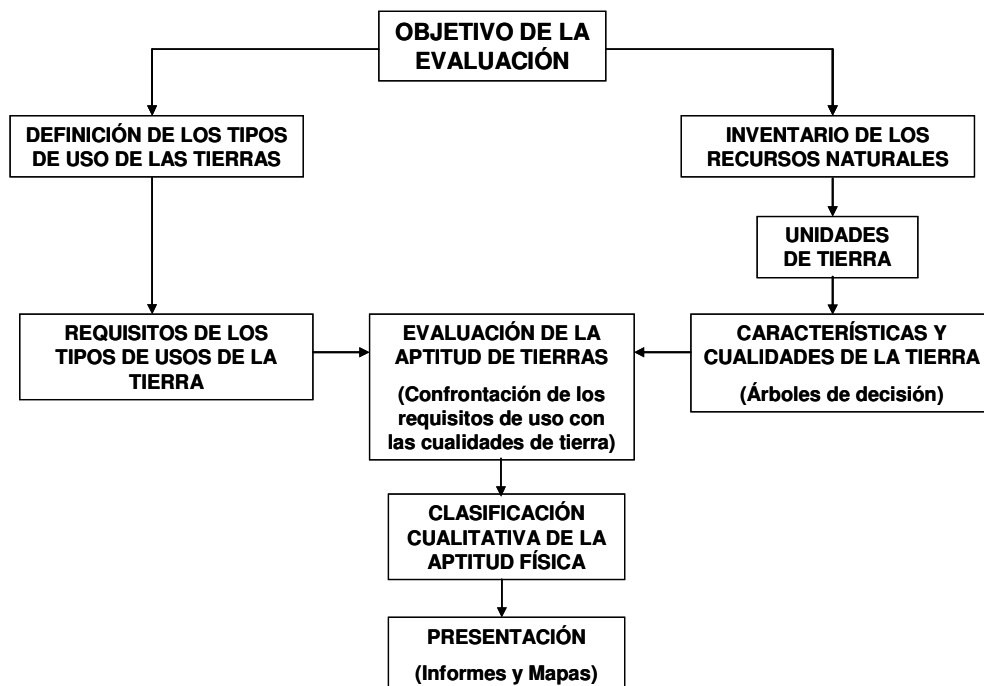


Figura 1.2: Diagrama del proceso de evaluación utilizando el sistema ALES.

1.3.3.1.1 Objetivo de los modelos expertos

Desarrollar los modelos expertos para los cultivos maíz, soja y trigo, en los partidos de Nueve de Julio, Carlos Casares, Pehuajó y Trenque Lauquen y analizar la respuesta de la aptitud de uso de las tierras frente al comportamiento climático regional, caracterizado por los escenarios climáticos propuestos (1.2.2).

1.3.3.1.2 Definición de los tipos de utilización de las tierras (TUTs)

- Tipo de Utilización de la Tierra: SOJA

El modelo a evaluar comprende el cultivo de soja de primera, grupo de madurez III ciclo corto, en secano. La fecha de siembra es el 1 de noviembre y de cosecha el 16 de marzo (ORA, www.ora.gov.ar). El nivel tecnológico de manejo es medio, con sistema de labranza cero, y fertilización fosforada (RIAN, rian.inta.gov.ar).

- Tipo de Utilización de la Tierra: MAÍZ

El cultivo de maíz se realiza en secano cuya fecha de siembra es el 10 de octubre y de cosecha el 24 de febrero (ORA, 2010). El nivel tecnológico de manejo es medio, con sistema de labranza cero, fertilización nitrogenada y fosforada (RIAN, rian.inta.gov.ar)

-Tipo de Utilización de la Tierra: TRIGO

El cultivo de trigo en secano, de ciclo intermedio, se siembra el 15 de junio y la cosecha se realiza el 6 de diciembre (ORA 2010). El nivel tecnológico de manejo es medio, con sistema de labranza cero, fertilización nitrogenada y fosforada (RIAN, rian.inta.gov.ar).

1.3.3.1.3 Requisitos de los usos de la tierra

En la siguiente Cuadro 1.3 se presentan los requerimientos de los cultivos analizados necesarios para el logro de rendimientos óptimos.

Cuadro 1.3: Requerimientos de los cultivos: Soja, Maíz y Trigo

REQUISITOS	SOJA	MAÍZ	TRIGO	FUENTE
T media ciclo (°C)	20-24	18-24	10-24	Moeletsi 2004
Heladas	Libre	Libre	Libre en floración y fin de ciclo	Otegui y López Pereira 2008
Requisitos de agua en el ciclo (mm)	450-600	550-600	350-450	Doorenbos y Pruitt 1976; Rivetti 2006; Otegui 2009
Requisitos de agua en el pc (mm)	145	185	120	Sys et al. 1993
Drenaje	Bien drenado	Bien drenado	Bien drenado	Sys et al. 1993
Profundidad efectiva (cm)	> 75	> 100	> 75	Sadras y Calviño 2001; Calviño et al. 2003

Continuación

REQUISITOS	SOJA	MAÍZ	TRIGO	FUENTE
pH	6.0-7.0	6.2-7.0	6.5-7.5	Bono et al 2008; Porta et al. 1994
Salinidad	0-4	0-2	0-6	Katerji et al. 2001; Porta et al. 1994
Alcalinidad (PSI)	0-5	0-5	0-8	Sys et al. 1993
Anegabilidad	No anegable	No anegable	No anegable	Sys et al. 1993

Referencias: T, temperatura; Req: requisitos; PSI: porcentaje de sodio intercambiable; pc: período crítico del cultivo.

1.3.3.1.4 Definición de las unidades de tierra

Las unidades de tierra evaluadas corresponden a las unidades cartográficas identificadas en las cartas de suelos a escala semidetallada, 1:50.000. En el área de estudio se presentan 129 unidades cartográficas de suelos distintas, sin embargo espacialmente, constituyen un total de 188 unidades de suelo.

1.3.3.1.5 Características de la tierra

Las características de la tierra y la selección de las cualidades representan la oferta ambiental de las distintas unidades de tierra para el tipo de uso que se va a evaluar.

En el *ALES*, se definieron las clases y los límites de cada característica de acuerdo a la información edáfica del área y a los valores críticos recopilados de la bibliografía (conocimiento experto). Algunas características presentan clases solamente cualitativas como por ejemplo la característica drenaje, textura, entre otras. A su vez, a cada clase se le asigna un código de identificación con su correspondiente nombre descriptivo. El número de clases establecidas por el usuario es variable, sin embargo hay que considerar que cuanto mayor es la cantidad de clases más dificultoso se hace la resolución de los árboles de decisión.

-Características edáficas

En el Cuadro 1.4 se presentan las clases y límites de las características edáficas ingresadas en los modelos expertos. Esta información representa o caracteriza a las unidades de tierras que serán evaluadas en función de los TUT. Dicha información proviene de la descripción y análisis químicos de los perfiles de suelos identificados en las cartas de suelos.

A partir de los contenidos de las fracciones texturales y el contenido de materia orgánica, se estimó la característica *agua útil* (AU) a través de distintas funciones de pedotransferencia (Damiano 2008, Damiano y Taboada 2000). Esta característica se refiere a la cantidad total de agua que el suelo almacena y que es aprovechable por el cultivo, el AU está definido por el agua retenida en el suelo a -33 kPa (límite superior o capacidad de campo) y el agua retenida a -1500 kPa (límite inferior o punto de marchitez permanente). Cuando se carece de valores a campo, el empleo de funciones de pedotransferencia (fpt) para predecir la capacidad de retención ha tenido una gran

aceptación. Álvarez (2009) empleó el modelo propuesto por Rawls para estimar la capacidad de retención para suelos de la región pampeana, mientras que Damiano y Taboada (2000), emplearon distintas funciones de pedotransferencia para estimar las constantes hídricas e identificaron aquellas que mejor se ajustan a cada Subregión de la Región Pampeana.

En esta tesis, la característica *agua útil* fue estimada para cada horizonte del suelo como lámina de agua en mm hasta el metro de profundidad, salvo en los suelos donde la profundidad efectiva fue menor. El valor estimado de la característica AU se obtuvo a partir del promedio de los valores obtenidos de la aplicación de tres fpt, con excepción de suelos con elevados contenidos de arenas (mayor al 60 %) correspondientes a los subgrupos taxonómicos Udipsamment Típico y Hapludol Entico, en los cuales se descartó el modelo de Damiano ya que el mismo no fue ajustado para estas texturas (Damiano 2009, comunicación personal).

A continuación se presentan las constantes hídricas (capacidad de campo y punto de marchitez permanente) estimadas a partir de las funciones de pedotransferencia:

-Damiano y otros (1996):

$$\theta_{-33} = 0,3718 - 0,0029 * \text{arena } (\%) + 1,1836 * \text{arena } (\%)^{-1}$$

$$\theta_{-1500} = 0,0233 + 0,0042 * \text{arcilla } (\%) - 0,9636 * \text{arcilla } (\%)^{-1} + 0,1318 * \text{AA}$$

$$\text{AA} = (\text{CIC} - \text{CIC}_{\text{CO}}) * \text{arcilla } (\%)^{-1}$$

$$\text{CIC}_{\text{CO}} = \text{CO} * (2,9 + ((s/2)^{1/2})/3)$$

-Rawls y otros (1982):

$$\theta_{-33} = 0,2576 - 0,002 * \text{arena } (\%) + 0,0036 * \text{arcilla } (\%) + 0,0299 * \text{MO } (\%)$$

$$\theta_{-1500} = 0,026 + 0,005 * \text{arcilla } (\%) + 0,0158 * \text{MO } (\%)$$

-Saxton y otros (1986), a través del programa *Soil Water Characteristics (SWC)*

Este modelo considera para el cálculo de las constantes hídricas, el contenido de arcilla (%), arena (%) y materia orgánica (%), el grado de compactación y la salinidad.

Referencias:

θ , contenido de humedad volumétrico en cm^3/cm^3 a distintos potenciales (-33 y -1500 kPa); AA, actividad de la arcilla; s, espesor del horizonte en cm; CIC, capacidad de intercambio catiónico en $\text{cmol } +/\text{Kg}$ suelo; CIC_{CO} , capacidad de intercambio catiónico del CO en $\text{cmol } +/\text{Kg}$ suelo; CO, contenido de carbono orgánico y MO, contenido de materia orgánica.

- Características climáticas

La *precipitación en el ciclo del cultivo (C)* y la *precipitación en el período crítico del cultivo (PCr)*, constituyen las características climáticas previamente definidas en la determinación de los escenarios climáticos de los modelos expertos.

En el Cuadro 1.5 se muestran los códigos y límites ingresados en el ALES. Estos límites se establecieron de acuerdo los valores de lluvias que acontecen en el área de estudio para los dos períodos climáticos considerados (antes y después del cambio abrupto) y los requerimientos climáticos de cada cultivo (Sys et al. 1993).

La característica *C* está definida por las lluvias ocurridas durante los meses en los cuales se desarrolla los cultivos de trigo, maíz y soja, acotada a la fecha de siembra y cosecha de cada cultivo en particular.

La característica *PCr*, para el cultivo de trigo hace referencia a la precipitación correspondiente al mes de octubre (etapa encañazón), mientras que para el cultivo de maíz, corresponde a las lluvias del mes de diciembre (15 días antes y 10 posteriores a floración) y para el cultivo de soja, a las lluvias del mes de enero (correspondiente a R3 y R6) (Menéndez y Satorre 2007, Calviño et al. 2003, Sadras y Calviño 2001, Calviño y Sadras 1999, Fehr et al. 1971).

Cuadro 1.4: Características edáficas utilizadas en el ALES

Código	CaT	Límites y clases
AU	Agua útil (mm/m)	0-50 muy baja (mb) 50-75 baja (b) 75-100 media (m) 100-135 medianamente alta (mda)
Prof_ef	Profundidad efectiva (cm)	0-50 muy poco profundo (mppr) 50-75 poco profundo (ppr) 75-100 medianamente profundo (mdpr) 100-150 profundo (pr) > 150 muy profundo (mpr)
MO	Contenido de materia orgánica (%)	< 1 muy bajo (mb) 1-1.4 bajo (b) 1.4-2 medio (m) 2-3.5 alto (a) > 3.5 muy alto (ma)
CIC	Capacidad de intercambio catiónico (cmol+/Kg suelo)	< 16 bajo (b) 16-24 medio (m) > 24 alto (a)
pH	Reacción del suelo	5.1-5.5 fuertemente ácido (fac) 5.6-6.0 moderadamente ácido (mac) 6.1-6.5 ligeramente ácido (lac) 6.6-7.3 neutro (n) 7.4-7.8 ligeramente alcalino (lal) 7.9-8.4 moderadamente alcalino (mal) 8.5-10.0 fuertemente alcalino (fal)
PSI	Sodio intercambiable superficial de 0-20 cm y subsuperficial de 20-50 cm (%)	0-5 baja (b) 5-10 media (m) 10-15 medianamente alta (mda) > 15 alta (a)
CE	Conductividad eléctrica (dS/m)	0-2 baja (b) 2-4 media (m) 4-6 alta (a) 6-8 muy alta (ma)
DR	Clase de drenaje	excesivamente drenado (edr) algo excesivamente drenado (aedr) bien drenado (bdr) moderadamente bien drenado (mbdr) algo pobremente drenado (apdr) pobremente drenado (pdr) muy pobremente drenado (mpdr)
Aneg	Anegabilidad	no anegable (na) poco anegable (pa) anegable (a) muy anegable (ma)

Cuadro 1.5: Características climáticas utilizadas en el *ALES*

Código	CaT	Cultivo	Límites y clases
C	Precipitación en el ciclo del cultivo (mm)	Soja	250-350 baja (b) 350-450 media (m) 450-600 alta (a)
		Maíz	200-300 muy baja (mb) 300-400 baja (b) 400-500 media (m) 500-600 alta (a)
		Trigo	200-250 baja (b) 250-350 media (m) 350-500 alta (a)
PCr	Precipitación en el período crítico del cultivo (mm)	Soja	50-80 baja (b) 80-120 media (m) 120-170 alta (a)
		Maíz	< 70 muy baja (mb) 70-120 baja (b) 120-150 media (m) 150-225 alta (a)
		Trigo	30-60 baja (b) 60-75 media (m) 75-120 alta (a) 120-145 muy alta (ma)

Referencias:

AU, agua útil; **Prof_ef**, profundidad efectiva; **MO**, Materia orgánica; **pH**, reacción del suelo; **CIC**, capacidad de intercambio catiónico; **PSI**, porcentaje de sodio intercambiable; **CE**, conductividad eléctrica; **DR**, drenaje, **Aneg**, anegabilidad; **C**, precipitación en el ciclo del cultivo; **PCr**, precipitación en el período crítico del cultivo.

1.3.3.1.6 Cualidades de la tierra

El *ALES* permite por medio de los árboles de decisión construir las cualidades de la tierra a partir de una o varias características diagnósticas. Dichas cualidades, se evaluaron de acuerdo al nivel de limitación o severidad en cuatro clases a saber: *no limitante (*1)*, *limitación ligera (*2)*, *limitación moderada (*3)* y *limitación severa (*4)*.

Los árboles de decisión constituyen la herramienta fundamental del sistema experto *ALES* para la evaluación de las cualidades y la aptitud de la tierra (Bocco et al. 2005, Mantel et al. 2003). En el árbol de decisión, las hojas representan los resultados, tales como rangos de cualidades de la tierra y los nodos interiores del árbol (puntos de las ramas) los criterios de decisión, es decir, los valores de la característica de la tierra. Estos árboles son elaborados por el constructor del modelo y revisados de acuerdo al resultado de la evaluación (Rossiter y Van Wambeke 1995).

Teniendo en cuenta las características físico-ambientales del área bajo estudio y los requerimientos de los tipos de uso, las cualidades de la tierra a tener en cuenta en el desarrollo de los modelos son: *disponibilidad de agua*, *disponibilidad de oxígeno*, *disponibilidad de nutrientes*, *espacio para la exploración radical*, *alcalinidad*, *salinidad* y *anegabilidad*.

-Disponibilidad de agua:

La oferta de agua para los cultivos de secano depende del ambiente, la cantidad de precipitaciones y su distribución y el tipo de suelo (Otegui 2009, Dardanelli et al. 2008).

Dicha cualidad fue descrita en función de las características diagnósticas: *precipitaciones ocurridas durante el cultivo; precipitaciones en el mes de floración ó en el período crítico y agua útil.*

-Disponibilidad de oxígeno:

Se refiere a la mayor o menor presencia de aire en el sistema poroso, donde se produce el intercambio gaseoso entre las raíces y el ambiente edáfico. La aireación en el suelo permite el crecimiento radical, a la vez que favorece el desarrollo de la población microbiana y los procesos de mineralización. Si los poros se encuentran saturados con agua, el aire es desplazado presentándose condiciones de anaerobiosis y/o procesos de oxido-reducción. El efecto del déficit de oxígeno sobre el crecimiento de las plantas está directamente relacionado con la inhibición del desarrollo de las raíces, produciendo una influencia negativa en el suministro de agua y nutrientes y por lo tanto una disminución en la acumulación de materia seca.

La *clase natural de drenaje* del suelo es el método más recomendado para evaluar esta cualidad (FAO 1985).

-Disponibilidad de nutrientes:

Junto a la disponibilidad de oxígeno y de agua son las tres cualidades más importantes para la producción de los cultivos de secano (FAO 1985).

La materia orgánica del suelo (MO) es el principal reservorio de nutrientes para las plantas y contribuye fuertemente a la estabilización de la estructura edáfica. Contiene alrededor del 95 % del nitrógeno edáfico e influye favorablemente sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas, siendo fundamental para obtener rendimientos elevados y estables de los cultivos. A su vez, la capacidad de intercambio catiónico de un suelo indica la dinámica de intercambio de nutrientes entre la solución del suelo y la fracción coloidal, mientras que el pH del suelo expresa si los elementos están precipitados, acomplejados o en solución.

Esta cualidad será conformada por las características *materia orgánica, capacidad de intercambio catiónica y pH.*

-Espacio para la exploración radical

Esta cualidad depende de la *profundidad efectiva* del suelo y de la facilidad de la penetración de las raíces. La profundidad efectiva es la profundidad hasta aun horizonte limitativo o restrictivo para el desarrollo radical, por ejemplo, gravas, rocas, horizontes endurecidos (fragipan, duripan) o tóxicos (exceso de sales).

-Alcalinidad:

Los cultivos tienen distinto rango de tolerancia a la alcalinidad. Altos contenidos de sodio tienen efectos físicos adversos sobre el suelo afectando indirectamente a los cultivos y sus funciones. Esta cualidad está definida a nivel de semidetalle, por las características *porcentaje de sodio intercambiable (PSI) a nivel del horizonte superficial (0-20 cm) y del horizonte subsuperficial (20-50 cm)*

-Salinidad:

Los cultivos tienen distinto rango de tolerancia a la salinidad. Esta cualidad está definida a nivel de semidetalle por la característica edáfica *conductividad eléctrica*.

-Anegabilidad:

Se refiere a determinadas áreas inundadas o con cierto riesgo de *inundación o anegamiento*, donde la producción de los cultivos agrícolas no puede ser realizada.

1.3.3.1.7 Etapa de confrontación

La armonización o confrontación de los requisitos de los tipos de uso con las cualidades seleccionadas corresponde a la evaluación propiamente dicha. El modelo desarrollado confronta los requerimientos del uso de la tierra con las cualidades seleccionadas para evaluar cada TUT.

1.3.3.1.8 Aptitud física del tipo de utilización de las tierras (TUT).

Los métodos presentes en el *ALES* para obtener la aptitud física son:

- *Método de la máxima limitación*: estima la aptitud total en función del nivel de severidad de la cualidad más limitante.

- *Árboles de decisiones*: la aptitud se estima en base a reglas de decisión. Son combinaciones subjetivas.

- *Combinaciones matemáticas*: la aptitud se calcula en base a una fórmula, en la que se asigna un coeficiente o peso a las limitaciones o cualidades de las tierras.

Según Rossiter (1995), el mejor enfoque para realizar la evaluación de aptitud física de la tierra es usar el método de la máxima limitación y poner reglas especiales en los árboles de decisión. Este enfoque será el utilizado en este trabajo.

La salida del modelo exhibe la evaluación de las unidades de tierra en los distintos grados de aptitud seleccionados (muy apto, moderadamente apto, marginalmente apto y no apto) para los tipos de utilización de las tierras.

1.3.3.1.9 Presentación de resultados

La información generada se presenta en una cartografía temática de las distintas unidades de tierra para cada uno de los modelos expertos desarrollados. La base de datos del Instituto de Suelos cuenta con la espacialización de dichas unidades y la misma fue utilizada para realizar la cartografía de aptitud de uso de las tierras a través del programa ArcGIS 9.1.

1.3.3.2. Construcción del modelo

Para crear los modelos expertos en *ALES*, se ingresó en la opción *Construir modelos y evaluar*, ubicada en la primera pantalla desplegada por el programa (Figura 1.3).

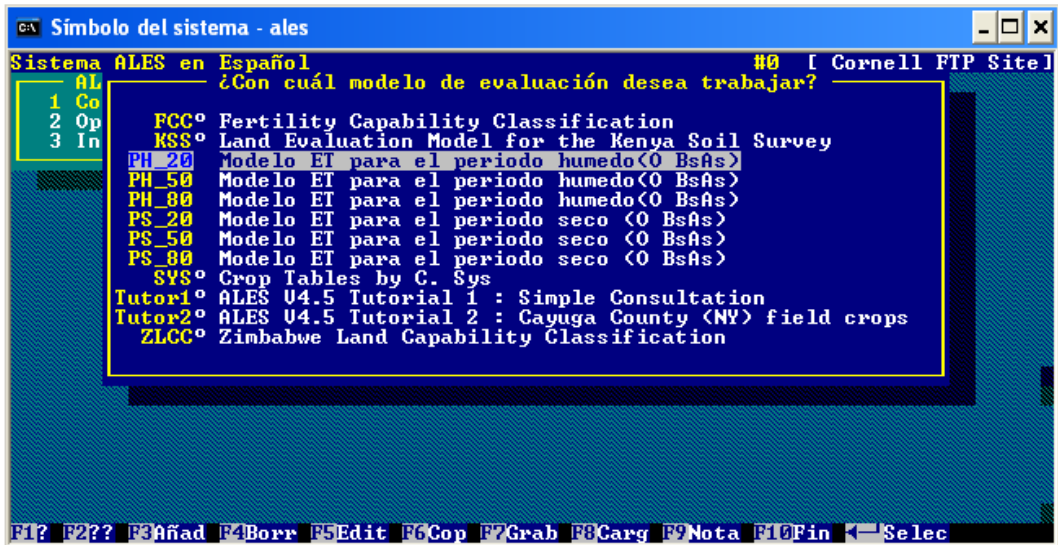


Figura 1.3: Modelos expertos de evaluación de tierras en ALES

Se ingresó, en la pantalla *Listas de referencias* componente de las Opciones principales, la información necesaria para realizar la evaluación de los distintos tipos de uso (Figura 1.4). Estas listas constituyen la base de datos relacionada a los requisitos de todos los TUT a analizar (código, nombre descriptivo y niveles de aptitud), los productos a obtener (código, nombre descriptivo y unidad de medida) y las características de la tierra involucradas en la evaluación de los distintos TUTs (código, nombre descriptivo, unidad de medida de la característica, abreviaturas y límites de clases).

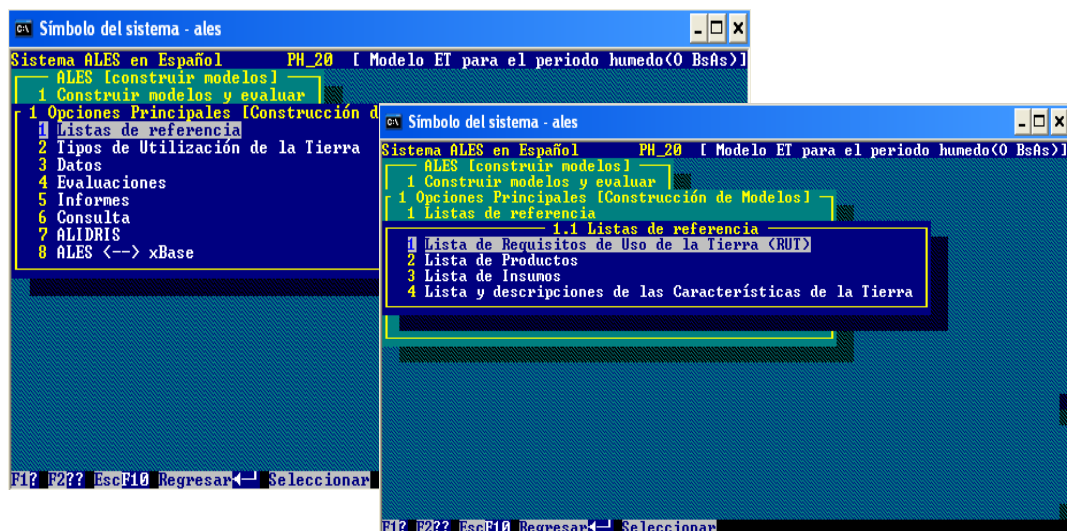


Figura 1.4: Listas de Referencias definidas para los distintos TUT

En la opción *Tipos de utilización de la tierra*, se describieron los usos de la tierra a evaluar. A cada TUT se identificó con un código y nombre descriptivo, se especificó la duración o el período de ocupación del cultivo (menos de un año), el producto a obtener (parte cosechable o productiva: grano) y los requisitos que caracterizan el uso de la tierra. En la pantalla referida a las especificaciones del TUT, también se encuentra la opción para realizar la evaluación de la aptitud física de la tierra mediante árboles de

decisión y/o limitación máxima siguiendo lo recomendado por Rossiter (1995), Figura 1.5.



Figura 1.5: Especificaciones de cada Tipo de Utilización de la Tierra

La carga de las unidades cartográficas y los datos correspondientes a cada característica de la tierra se realizó utilizando la interfase del programa *ALES-dBASE* (Figura 1.6).



Figura 1.6: Carga externa de datos al programa *ALES*

La salida del modelo presenta la clasificación de las unidades de tierra en los distintos grados de aptitud seleccionados para los tipos de utilización de las tierras. En general, no se obtiene un único valor dado que para unidades cartográficas son compuestas. El *ALES* expresa los resultados como una combinación de las subclases de aptitud de uso de las tierras, si la misma es diferente entre los suelos componentes de la unidad cartográfica.

1.4 Relación entre los sistemas de evaluación y el cambio en las precipitaciones

Se compararon los resultados de los distintos sistemas de evaluación para determinar las distintas potencialidades en relación al incremento de las precipitaciones para el área bajo estudio. En primer lugar se compararon los sistemas Capacidad de uso e IP y en segundo lugar los sistemas expertos *ALES* y el IP.

CAPÍTULO 2
RESULTADOS

2.1 Análisis climático

2.1.1 Estadística descriptiva de las precipitaciones

Los partidos de Trenque Lauquen, Pehuajó, Carlos Casares y Nueve de Julio componen una transecta oeste-este, donde las precipitaciones tienen un comportamiento similar al que ocurre a escala regional, registrándose las mayores lluvias hacia el este.

En el partido de Nueve de Julio, las precipitaciones tienen valores cercanos a los 1000 mm anuales, mientras que en el partido de Trenque Lauquen, ubicado al oeste de la provincia de Buenos Aires, alcanzan un promedio anual de 840.3 mm (Cuadro 2.1). Estos resultados ponen en evidencia que el área de estudio se encuentra en una zona de transición entre el clima templado húmedo, que el cual se extiende hacia el este y corresponde al clima C, según la clasificación de Köppen modificada por Trewartha, y el clima de estepa que se extiende hacia el oeste y que se corresponde con un clima BS según la misma clasificación, por lo cual resulta muy sensible a los cambios abruptos en el régimen de precipitaciones (Pérez et al. 2009).

Cuadro 2.1: Estadística descriptiva de las precipitaciones anuales (1918-2005).

	Nueve de Julio	Carlos Casares	Pehuajó	Trenque Lauquen
Media (mm)	966,5	867,2	891,8	840,3
Desvío estándar	189,3	185,9	196,9	241,2
Coefficiente de variación (%)	19,6	21,4	22,1	28,7
Valor mínimo (mm)	616,6	507,0	511,0	438,0
Valor máximo (mm)	1441,6	1432,0	1379,4	1485,0
Rango (mm)	825,0	925,0	868,4	1047,0

La precipitación es una característica climática que tiene una gran variabilidad espacio-temporal. Estadísticamente el coeficiente de variación expone valores cercanos al 20 %, siendo mayor el coeficiente en el partido de Trenque Lauquen. Pérez y otros (2009), determinaron para diferentes localidades de la provincia de La Pampa, valores entre 25 y 33 % en el coeficiente de variación para la precipitación anual durante el período 1921-2004. En este sentido, Viglizzo y otros (1997) sugieren que para la zona de transición de clima húmedo a semiárido en la Región Pampeana, existe a mayor longitud oeste un mayor incremento de la variabilidad (inestabilidad) respecto a la provisión de agua en el suelo (mm/año), estando dicha cualidad altamente relacionada a las precipitaciones y a la calidad de los suelos de la región. Sin embargo, un aumento de las precipitaciones en áreas relativamente secas, no necesariamente se traducen en mejores condiciones para el crecimiento de los cultivos.

2.1.2 Prueba de rachas

En la Cuadro 2.2 se presentan los valores del test de rachas de los partidos del área de estudio.

Cuadro 2.2: Prueba de homogeneidad de la precipitación anual de la serie temporal 1918-2005.

Partido	Mediana	Nº de Rachas	Z
Nueve de Julio	905	41	-0.86 *
Carlos Casares	891	34	-2.36 **
Pehuajó	900	39	-1.29 *
Trenque Lauquen	899	30	-2.57 **

*p<0.05, **p<0.01

Las series de precipitaciones anuales resultaron ser homogéneas para los cuatro partidos analizados, a distinto nivel de significación. Esta información nos da la certeza de la calidad de los datos a ser utilizados en las distintas pruebas planteadas.

2.1.3 Prueba de cambios abruptos

Para los partidos analizados este cambio abrupto en el régimen de precipitaciones ocurrió en el año 1962 y 1965, momento a partir del cual se incrementaron las lluvias (Cuadro 2.3). Según Pérez et al. (2009) para la región Noroeste de Buenos Aires y este de La Pampa, estos cambios en la media de la precipitación varían según las distintas localidades, pero en general acontecieron durante la década del 60.

Cuadro 2.3: Análisis de Pettitt para las series de precipitaciones según los partidos

PARTIDO	Valor K	Año	Precipitación media anual previo al cambio (mm)	Incremento de las lluvias en el período posterior al cambio (%)
Nueve de Julio	864	1962	893	16.8
Carlos Casares	1070	1965	787	22.5
Pehuajó	838	1965	820	19.3
Trenque Lauquen	1297	1962	708	38.3

En la Figura 2.1 se observa que la precipitación media anual para el partido de Nueve de Julio en el período 1918-1962, antes del cambio abrupto, fue de 893 mm, siendo para el período posterior (1963-2005) de 1043 mm (16.8 % superior).

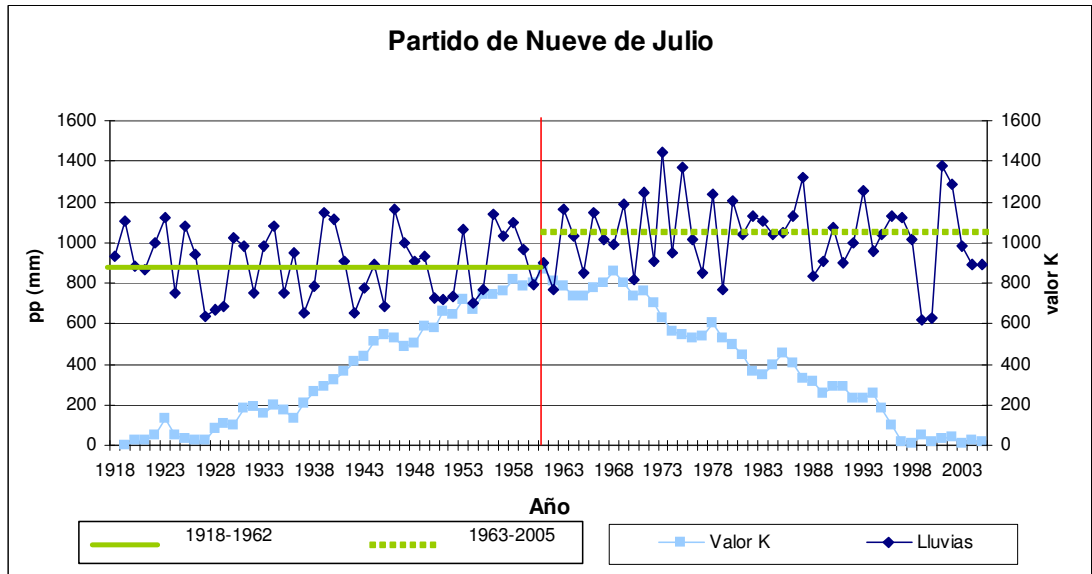


Figura 2.1: Precipitación anual y valor de K anual según el test de Pettitt (1918-2005) para el partido de Nueve de Julio.

En el partido de Carlos Casares (Figura 2.2), la precipitación media anual en el período posterior al año crítico (1966-2005) aumentó en promedio 177 mm anuales (22.5 %), mientras que para el partido de Pehuajó (Figura 2.3) el incremento promedio resultó de 158 mm (1966-2005).

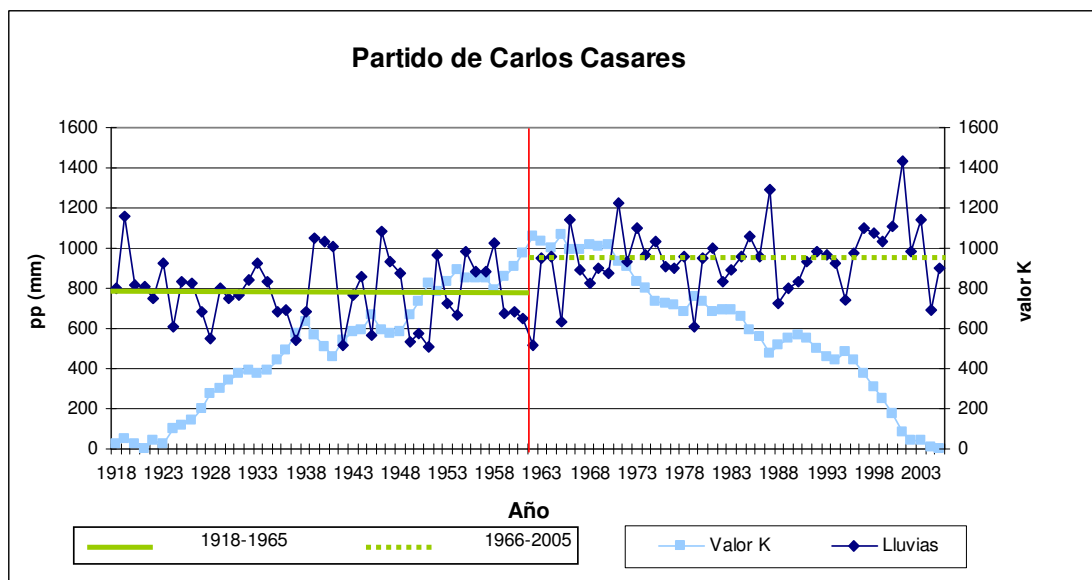


Figura 2.2: Precipitación anual y valor de K anual según el test de Pettitt (1918-2005) para el partido de Carlos Casares.

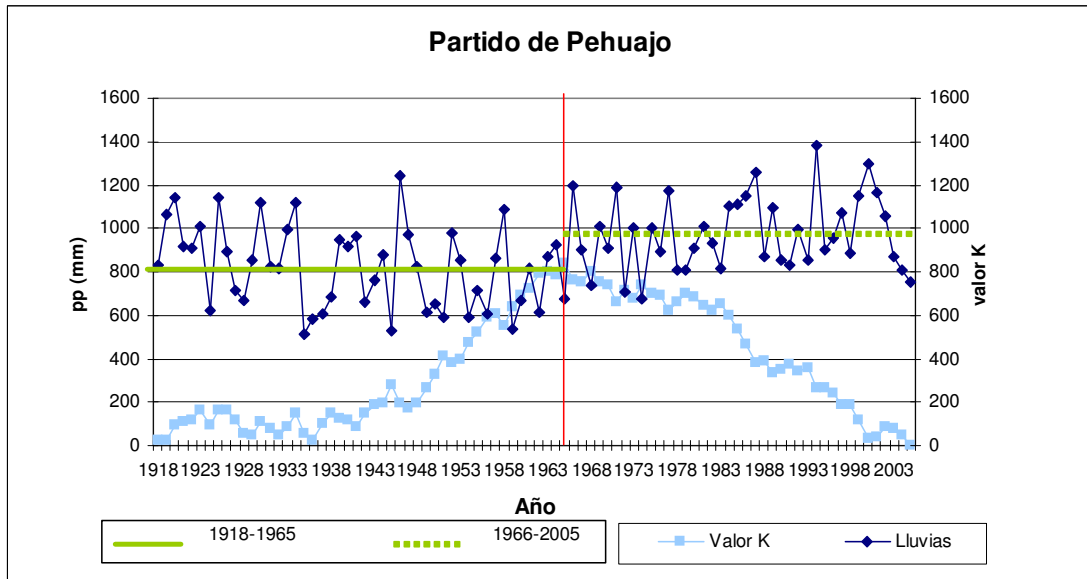


Figura 2.3: Precipitación anual y valor de K anual según el test de Pettitt (1918-2005) para el partido de Pehuajó

En la localidad de Trenque Lauquen (Figura 2.4) las precipitaciones anuales se incrementaron un 38.3 % en el período 1963-2005, alcanzando una media anual de 979 mm, valores similares a los registrados en los partidos de Carlos Casares (964 mm) y Pehuajó (978 mm) en el ciclo húmedo.

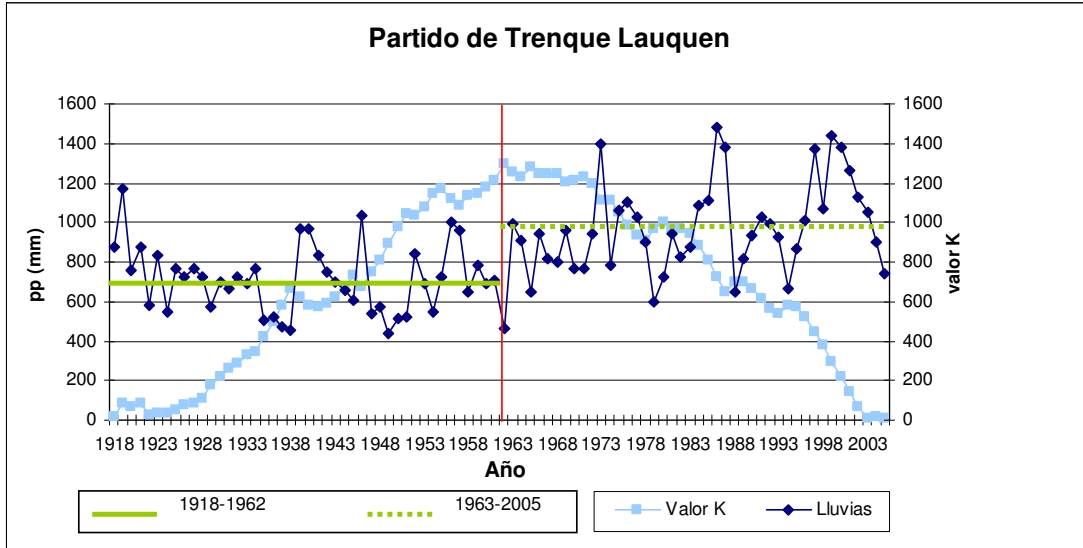


Figura 2.4: Precipitación anual y valor de K anual según el test de Pettitt (1918-2005) para el partido de Trenque Lauquen.

2.1.4 Prueba de tendencias

Para el área de estudio el comportamiento de las series climáticas manifiestan una tendencia creciente en relación a la variable estudiada (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4: Resultados del test de tendencias (Mann-Kendall) para los partidos del área de estudio

Partido	Primer Año	Último Año	n	Z _{MK}	Significancia
Nueve de Julio	1918	2005	88	2.73	**
Carlos Casares	1918	2005	88	4.01	***
Pehuajó	1918	2005	88	2.36	*
Trenque Lauquen	1918	2005	88	4.76	***

Siendo: * $p > 0.1$; ** $p > 0.05$ y *** $p > 0.01$

Los valores del estadístico $Z_{MK} > 0$ indican una tendencia positiva, a distintos niveles de significancia (Oguntunde et al. 2006).

2.2 Propuesta de escenarios climáticos

Teniendo en cuenta los análisis realizados a las series climáticas de precipitaciones se desarrolló una propuesta zonal de los distintos escenarios climáticos para la elaboración de los modelos expertos.

Estos escenarios climáticos se definieron de acuerdo a la probabilidad acumulada de precipitaciones (20, 50 y 80 %) para el área de estudio en su conjunto, a partir de la precipitación en el ciclo y en el período crítico de los cultivos para el período anterior y posterior del cambio abrupto de las precipitaciones (Cuadro 2.5).

Cuadro 2.5: Valores zonales de los escenarios climáticos para los cultivos de Soja, Maíz y Trigo

SOJA	PS (mm)		PH (mm)	
	C	PCr	C	PCr
P20	310	40	408	85
P50	376	68	509	127
P80	476	109	595	153
MAIZ	C	PCr	C	PCr
P20	268	58	360	58
P50	348	80	467	94
P80	462	131	630	163
TRIGO	C	PCr	C	PCr
P20	224	37	263	69
P50	298	72	352	98
P80	405	115	455	139

Referencias: P: Probabilidad acumulada de la precipitación al 20, 50 y 80 %; PS: período antes del cambio abrupto (bajas precipitaciones), PH: período después del cambio abrupto (altas precipitaciones); C: precipitación en el ciclo del cultivo y PCr: precipitación en el período crítico del cultivo.

En el cuadro precedente, se observa que el aumento de las precipitaciones después del cambio abrupto ocurre fundamentalmente en los meses de primavera-verano afectando a los cultivos de verano.

2.3 Sistemas de clasificación de tierras

2.3.1 Capacidad de uso de las tierras

En los cuadros 2.6, 2.7, 2.8 y 2.9 se muestra los resultados de la clasificación por capacidad de uso de las tierras presentes en los partidos bajo estudio.

Cuadro 2.6: Superficie y porcentaje del grado y tipo de limitación de las tierras del partido de Nueve de Julio según la clasificación de capacidad de uso.

Clase			Subclase		
Clase	Superficie (km ²)	Superficie (%)	Subclase	Superficie (km ²)	Superficie (%)
II	257,3	6,0	<i>s</i>	168,8	3,9
			<i>w</i>	88,5	2,1
III	2081,1	48,6	<i>es</i>	1019,0	23,8
			<i>ws</i>	1062,1	24,8
IV	647,4	15,1	<i>es</i>	28,4	0,7
			<i>ws</i>	618,9	14,4
VI	779,4	18,2	<i>ws</i>	779,4	18,2
VII	315,2	7,4	<i>ws</i>	315,2	7,4
VIII	117,0	4,1	<i>w</i>	117,1	4,1
M	28,4	0,7	M	28,4	0,7
Partido	4285,7	100,0	Partido	4285,7	100,0

Cuadro 2.7 Superficie y porcentaje del grado y tipo de limitación de las tierras del partido de Carlos Casares según la clasificación de capacidad de uso

Clase			Subclase		
Clase	Superficie (km ²)	Superficie (%)	Subclase	Superficie (km ²)	Superficie (%)
II	200,0	7,9	<i>s</i>	8,5	0,3
			<i>w</i>	191,5	7,6
III	859,5	34,1	<i>es</i>	806,3	32,0
			<i>e</i>	0,0	0,0
			<i>ws</i>	53,2	2,1
IV	950,7	37,7	<i>ws</i>	950,7	37,7
VI	167,9	7,4	<i>es</i>	0,8	0,0
			<i>ws</i>	167,1	6,6
VII	157,9	6,3	<i>ws</i>	157,9	6,3
VIII	167,6	6,7	<i>w</i>	167,6	6,7
M	15,0	0,6	M	15,0	0,6
Partido	2518,6	100,0	Partido	2518,6	100,0

Referencias 2.6 y 2.7: M, Misceláneas; II a VIII, clases de capacidad de uso o grado de limitación; *s*, *w*, *es*, *e* y *ws* subclase de capacidad de uso o tipo de limitación.

Cuadro 2.8: Superficie y porcentaje del grado y tipo de limitación de las tierras del partido de Pehuajó según la clasificación de capacidad de uso

Clase			Subclase		
Clase	Superficie (km ²)	Superficie (%)	Subclase	Superficie (km ²)	Superficie (%)
II	19,0	0,4	<i>s</i>	15,6	0,3
			<i>w</i>	3,4	0,1
III	1820,6	40,3	<i>es</i>	1059,9	23,4
			<i>s</i>	90,8	2,0
IV	1139,9	25,2	<i>ws</i>	669,9	14,8
			<i>es</i>	260,2	5,8
VI	738,8	16,3	<i>ws</i>	879,7	19,5
			<i>es</i>	14,7	0,3
VII	530,3	11,7	<i>ws</i>	724,1	16,0
			<i>es</i>	1,6	0,0
VIII	242,7	5,4	<i>w</i>	528,7	11,7
			<i>w</i>	242,7	5,4
M	28,8	0,6	M	28,8	0,6
Partido	4520,2	100,0	Partido	4520,2	100,0

Cuadro 2.9: Superficie y porcentaje del grado y tipo de limitación de las tierras del partido de Trenque Lauquen según la clasificación de capacidad de uso

Clase			Subclase		
Clase	Superficie (km ²)	Superficie (%)	Subclase	Superficie (km ²)	Superficie (%)
III	2347,1	42,9	<i>es</i>	1759,3	32,1
			<i>s</i>	31,3	0,6
			<i>ws</i>	556,5	10,2
IV	2231,2	40,8	<i>es</i>	170,2	3,1
			<i>ws</i>	2061,0	37,7
VI	507,0	9,2	<i>es</i>	188,0	3,4
			<i>ws</i>	319,0	5,8
VII	94,6	1,7	<i>es</i>	13,2	0,2
			<i>ws</i>	81,4	1,5
VIII	270,8	5,0	<i>w</i>	270,8	5,0
M	17,0	0,3	M	17,0	0,3
Partido	5467,8	100,0	Partido	5467,8	100,0

Referencias de los Cuadros 2.8 y 2.9. M, Misceláneas; II a VIII, clases de capacidad de uso o grado de limitación; *s*, *w*, *es* y *ws* subclase de capacidad de uso o tipo de limitación.

Para conocer la distribución espacial de la capacidad de uso de las tierras, en las Figuras 2.5 y 2.6 se presentan las clases y subclases, respectivamente de las unidades cartográficas presentes en los partidos bajo estudio.

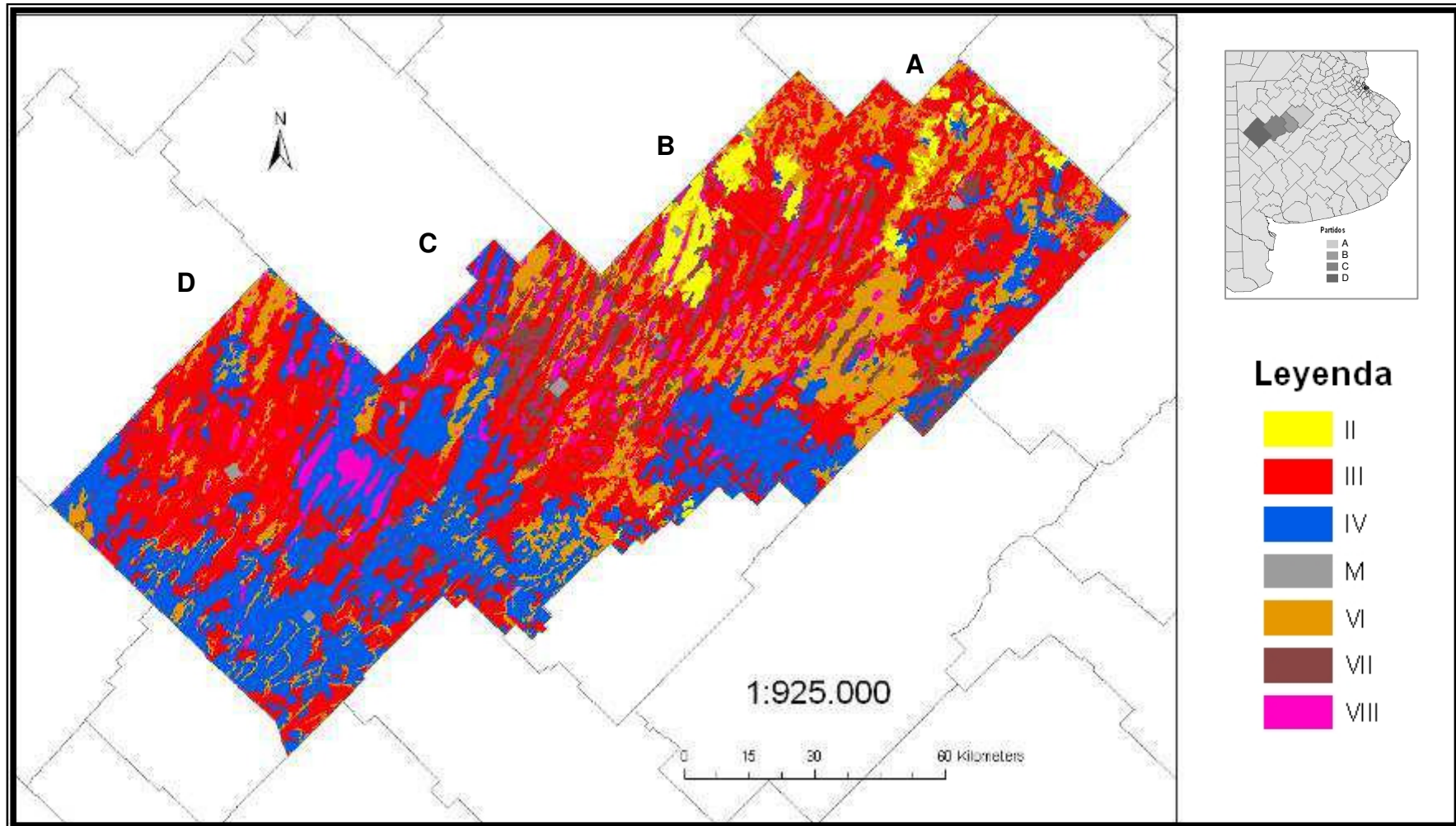


Figura 2.5: Patrón de distribución de las clases de capacidad de uso de las tierras, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)

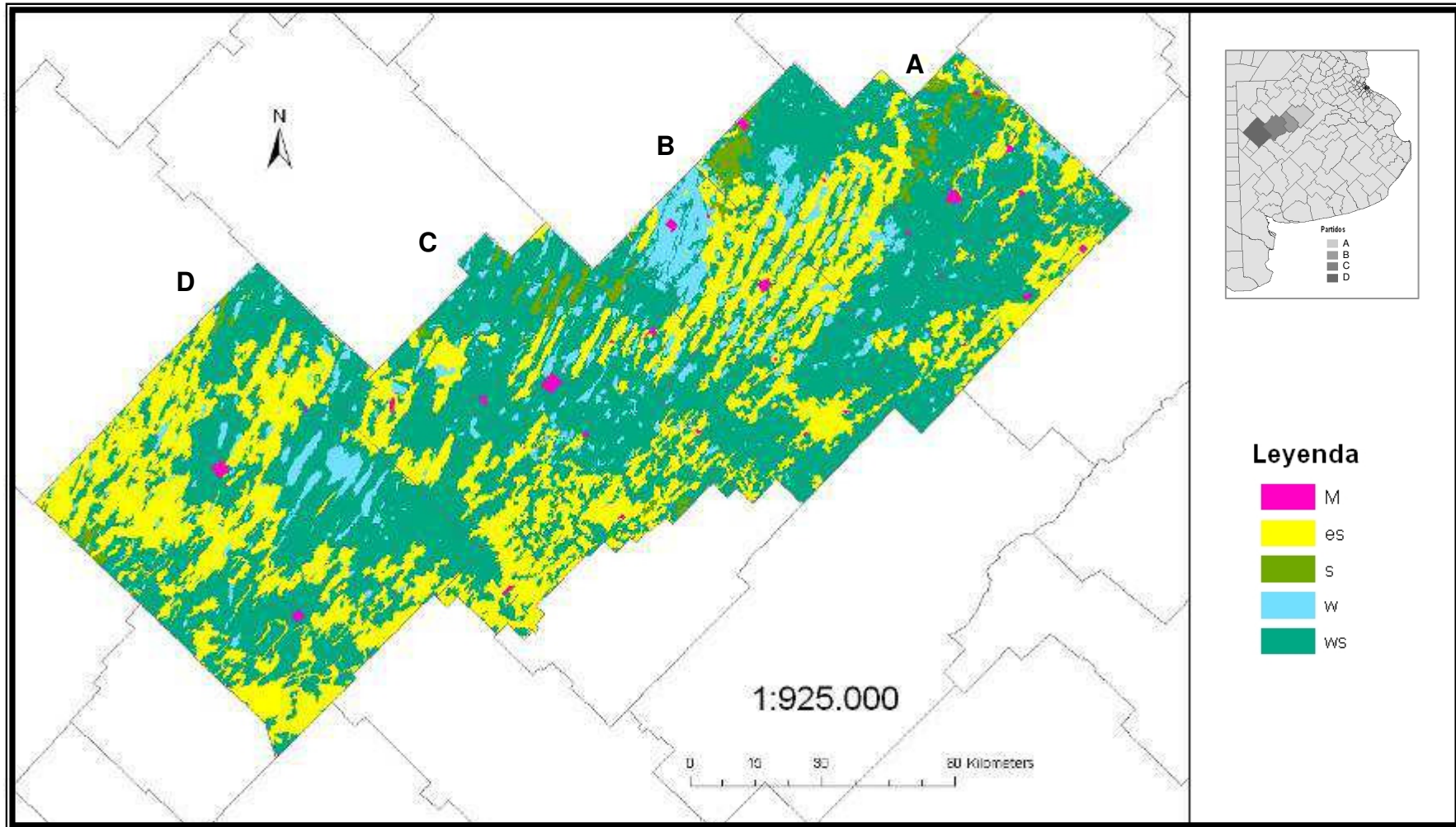


Figura 2.6: Patrón de distribución de las subclases de capacidad de uso de las tierras, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)

A continuación se muestra, para la región bajo estudio, el porcentaje de la superficie de ocupación del grado de las limitaciones y el tipo de limitaciones de las tierras (Cuadros 2.10 y 2.11).

Cuadro 2.10: Porcentaje de la superficie correspondiente a las ocho clases de capacidad de uso presentes en el área bajo estudio

Clase de capacidad de uso	I	II	III	IV	VI	VII	VIII
% superficie de ocupación	0,0	2,9	42,6	29,8	13,1	6,6	5,1

Cuadro 2.11: Porcentaje de la superficie de las subclases de capacidad de uso presentes en el área bajo estudio

Subclase de capacidad de uso	w	s	es	ws
% superficie de ocupación	6,8	1,9	31,9	59,4

2.3.2 Índice de productividad

En el Cuadro 2.12 se presentan para los partidos bajo estudio, los valores de Im para el período anterior y posterior al cambio abrupto, la temperatura media anual de 16 °C y el valor de coeficiente climático (H) correspondiente.

Cuadro 2.12: Resultados del Im por período climático y valor del coeficiente H para cada partido y área de estudio, con T media de 16°C

	Im para PS	Coeficiente H	Im para PH	Coeficiente H
Nueve de Julio	9	95	27	100
Carlos Casares	-4	90	16	100
Pehuajó	-1	90	21	100
Trenque Lauquen	-15	75	13	100
Área en estudio	-3	90	20	100

Referencias: **Im**, Índice hídrico de Thornthwaite; **PH**, período después del cambio abrupto; **PS** período antes del cambio abrupto; **H**, factor climático del Índice de productividad.

Los valores del Im en el período posterior al cambio abrupto, coinciden con lo reportado por Falasca y Forte Lay (2004) para el área durante el período 1961-2003, clasificando el clima en subhúmedo (Im 0-20) a húmedo (Im 20-40). El valor de la temperatura media anual es de aproximadamente 16 °C, atravesando dicha isoterma toda el área de estudio (Viglizzo et al. 2004).

Los resultados del IP para ambos períodos climáticos se exponen en los Cuadro 2.13 y 2.14. A su vez, en las Figuras 2.7 y 2.8 se presentan la distribución espacial de las categorías del IP. El rango de IP < a 20, incluye la superficie ocupada por lagunas permanentes y transitorias y el área urbana.

Cuadro 2.13: Clasificación de las tierras según el IP para el período después del cambio abrupto, por partido, expresadas en % de ocupación y km²

Período posterior al cambio abrupto de pp		Índice de Productividad					
		100-81	80-66	65-51	50-36	35-21	20-0
Nueve de Julio	(km ²)	172,5	321,2	1952,7	215,2	1009,1	614,9
	(%)	4,0	7,5	45,6	5,0	23,5	14,3
Carlos Casares	(km ²)	191,5	8,5	840,3	401,1	666,6	410,6
	(%)	7,6	0,3	33,4	15,9	26,5	16,3
Pehuajó	(km ²)	3,4	0	1492,9	1355,7	586,3	1081,8
	(%)	0,1	0	33,0	30,0	13,0	23,9
Trenque Lauquen	(km ²)			2165,8	1939,2	985,12	377,8
	(%)			39,6	35,5	18,0	6,9

Referencia: pp, precipitaciones

Cuadro 2.14: Clasificación de las tierras según el IP para el período anterior al cambio abrupto, por partido, expresadas en % de ocupación y km²

Período anterior al cambio abrupto de pp		Índice de Productividad					
		100-81	80-66	65-51	50-36	35-21	20-0
Nueve de Julio	(km ²)		478,3	1811,8	329,7	974,4	691,6
	(%)		11,2	42,3	7,7	22,7	16,1
Carlos Casares	(km ²)		200,0	756,1	102,5	943,5	516,5
	(%)		7,9	30,0	4,1	37,5	20,5
Pehuajó	(km ²)		3,4	913,9	1533,2	987,8	1081,8
	(%)		0,1	20,2	33,9	21,9	23,9
Trenque Lauquen	(km ²)				2451,7	2595,9	420,3
	(%)				44,8	47,5	7,7

Referencia: pp, precipitaciones

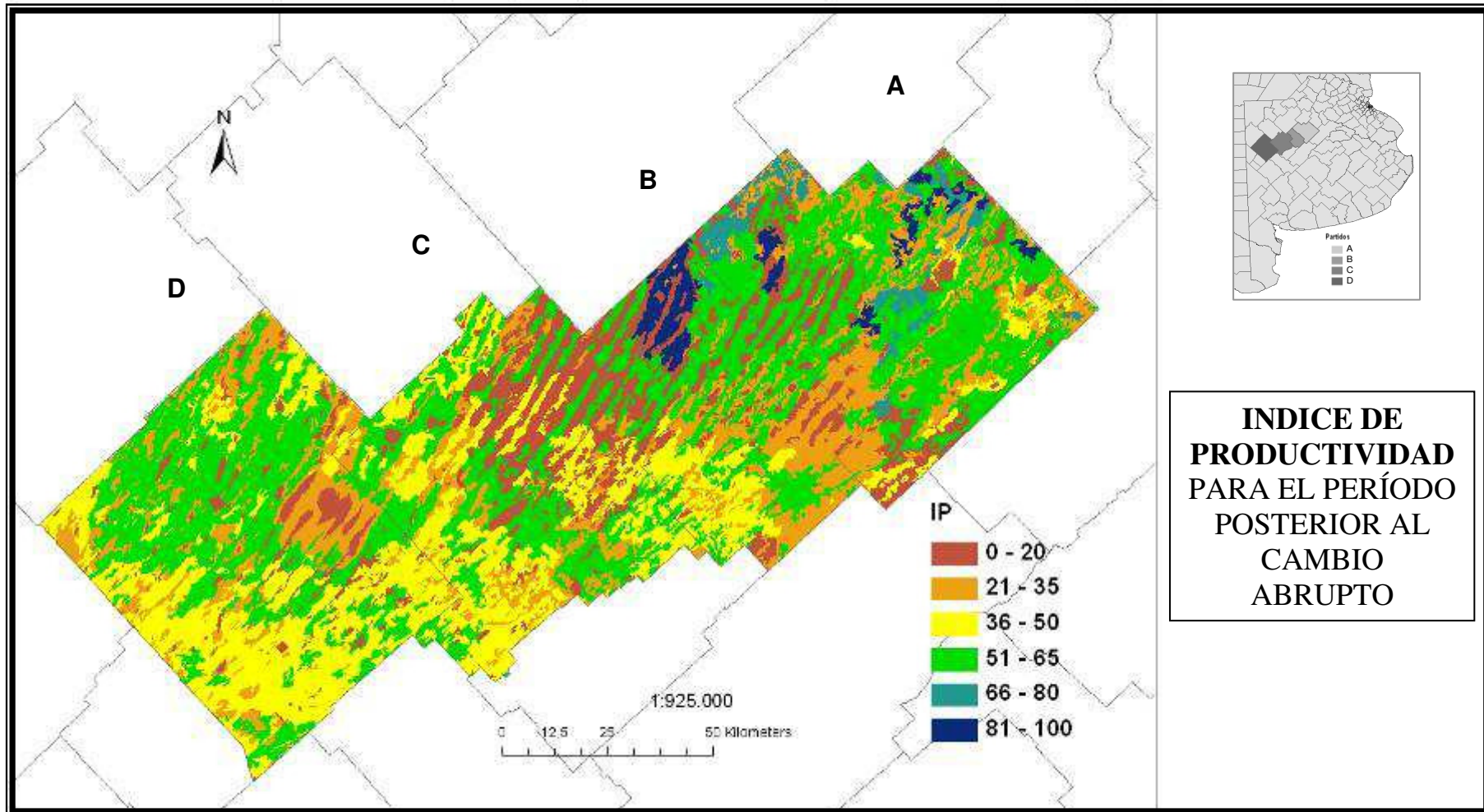


Figura 2.7: Patrón de distribución de las clases del índice de productividad de la tierras (IP), para el período posterior al cambio abrupto, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)

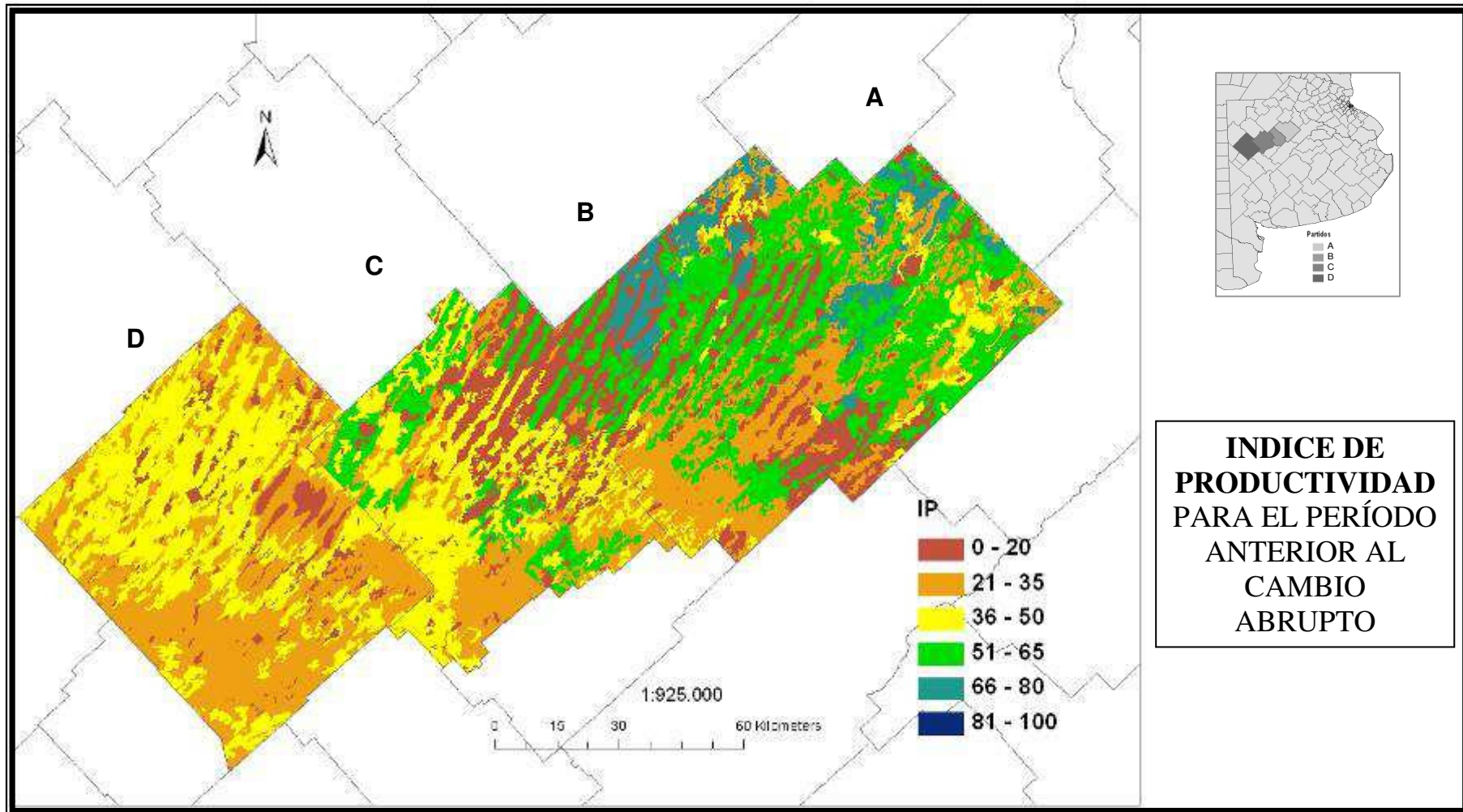


Figura 2.8: Patrón de distribución de las clases del índice de productividad de la tierras (IP), para el período anterior al cambio abrupto, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)

De acuerdo a los valores de IP para ambos períodos climáticos y a su correspondiente distribución espacial, se observa una variación en la productividad de las tierras como consecuencia de cambios en el factor climático.

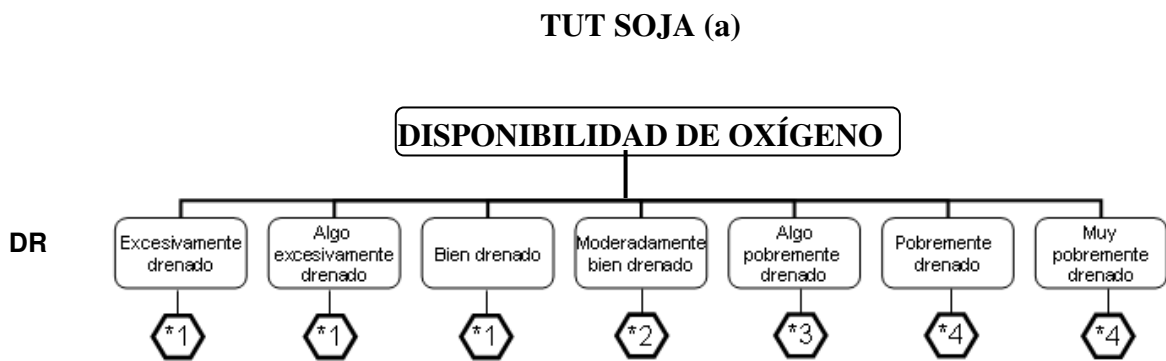
El IP promedio ponderado obtenido para el período posterior al cambio abrupto, para el partido de Nueve de Julio fue de 48,5, para Carlos Casares de 43,7, Pehuajó 39,9 y Trenque Lauquen de 46,1. Por otro lado, los valores de IP para el período anterior fueron de 39,4, 36,1, 36,9 y 34,4, de acuerdo a la transecta de los partidos de este a oeste. De esta manera, las tierras resultaron de moderadamente baja capacidad productiva (50-36), tanto para el período posterior al cambio abrupto como en el anterior, revelando que dichas tierras poseen limitaciones edáficas permanentes para la producción de cultivos comunes. El índice de productividad se interpreta como una proporción del rendimiento máximo potencial de los cultivos más comunes de la región, ecotípicamente adaptados, bajo un determinado nivel de manejo (Tasi et al. 2010).

2.3.3 Sistema expertos de evaluación de tierras

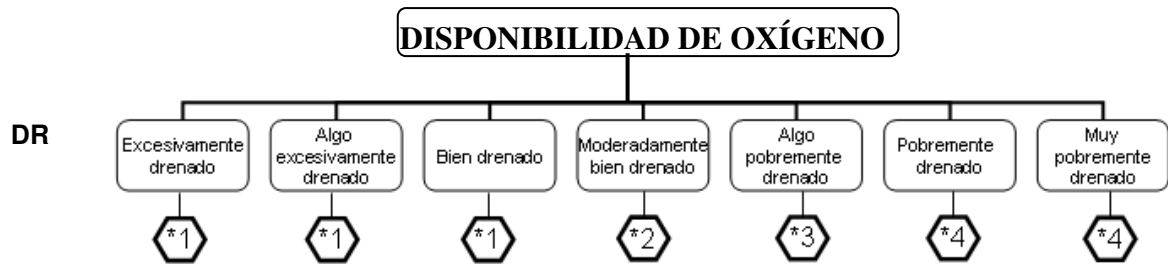
En el proceso de desarrollo de los modelos expertos, se definieron los árboles de decisión de las cualidades de las tierras y se realizó la evaluación de aptitud de uso de las unidades cartográficas, empleando los arboles de decisión y el factor de máxima limitación.

2.3.3.1 Árboles de decisión: Cualidades de la tierra

A continuación se presentan los árboles de decisión de las cualidades de la tierra inferidas a partir de las características de las tierras diagnósticas y evaluadas en los modelos expertos desarrollados para cada TUT. Las Cualidades de la tierra se miden en *niveles de severidad, valoraciones de factor simple o grados de limitación* (Rossiter 1996).



TUT MAÍZ (b)



TUT TRIGO (c)

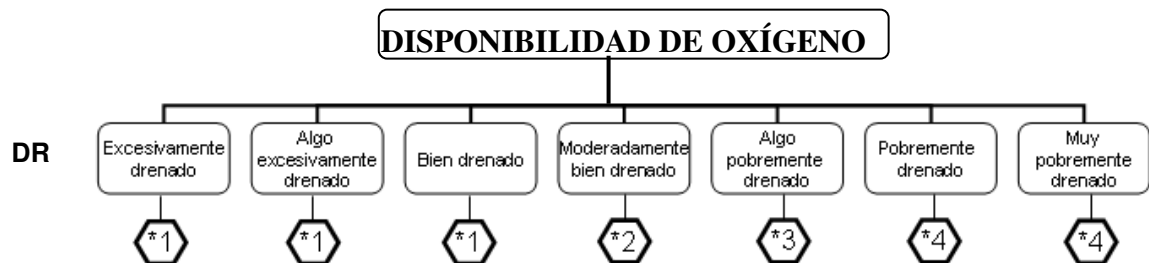



Figura 2.9: Árboles de decisión de la cualidad disponibilidad de oxígeno para los TUTs: a) soja b) maíz y c) trigo

Referencias:

 Resultado del árbol de decisión cuyo valor corresponde al nivel de severidad de la cualidad, donde 1= No limitante, 2= Ligera limitación, 3=Moderada limitación y 4= Severa limitación. **DR:** Drenaje (clases de la característica)

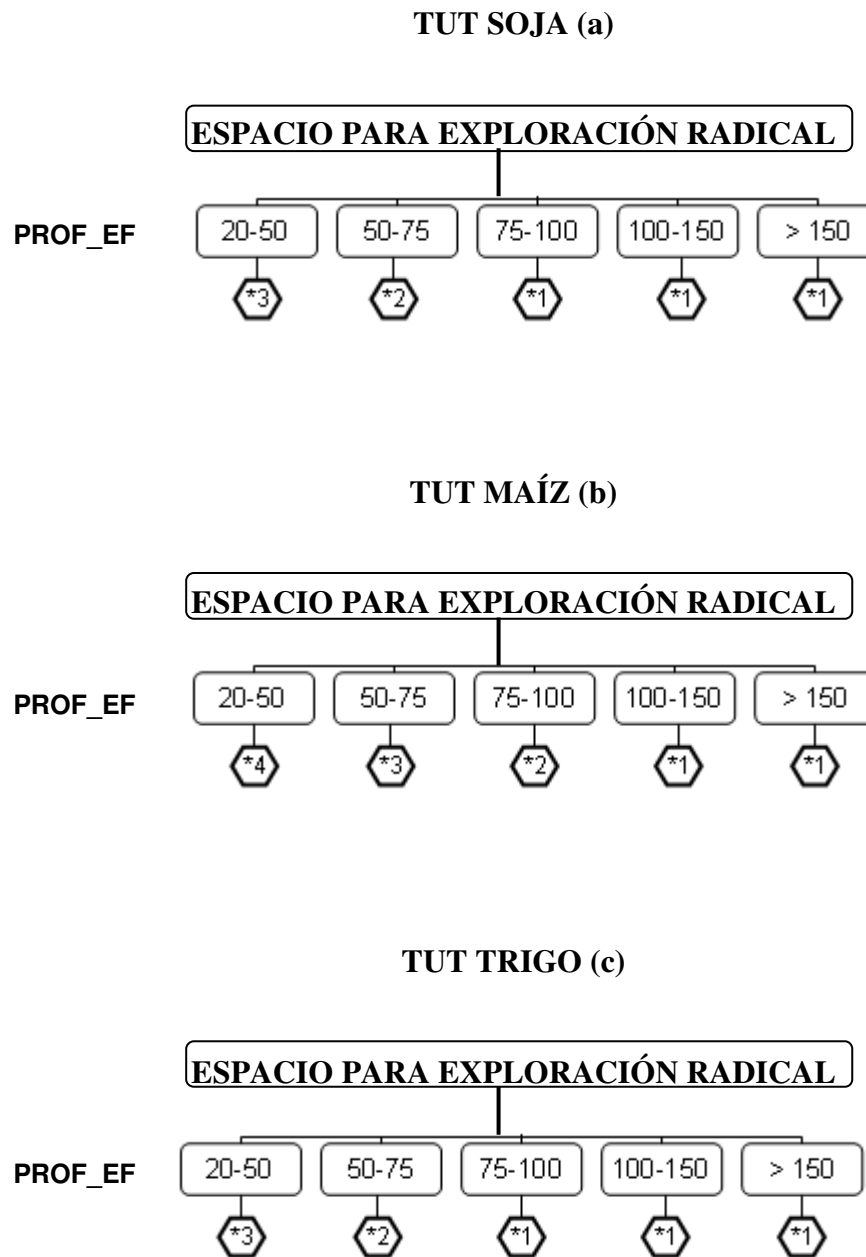



Figura 2.10: Árboles de decisión de la calidad espacio para la exploración radical para los TUT: a) soja b) maíz y c) trigo

Referencias:

 Resultado del árbol de decisión cuyo valor corresponde al nivel de severidad de la calidad, donde 1= No limitante, 2= Ligera limitación, 3=Moderada limitación y 4=Severa limitación. **PROF_EF:** Profundidad efectiva (clases de la característica expresadas en cm)

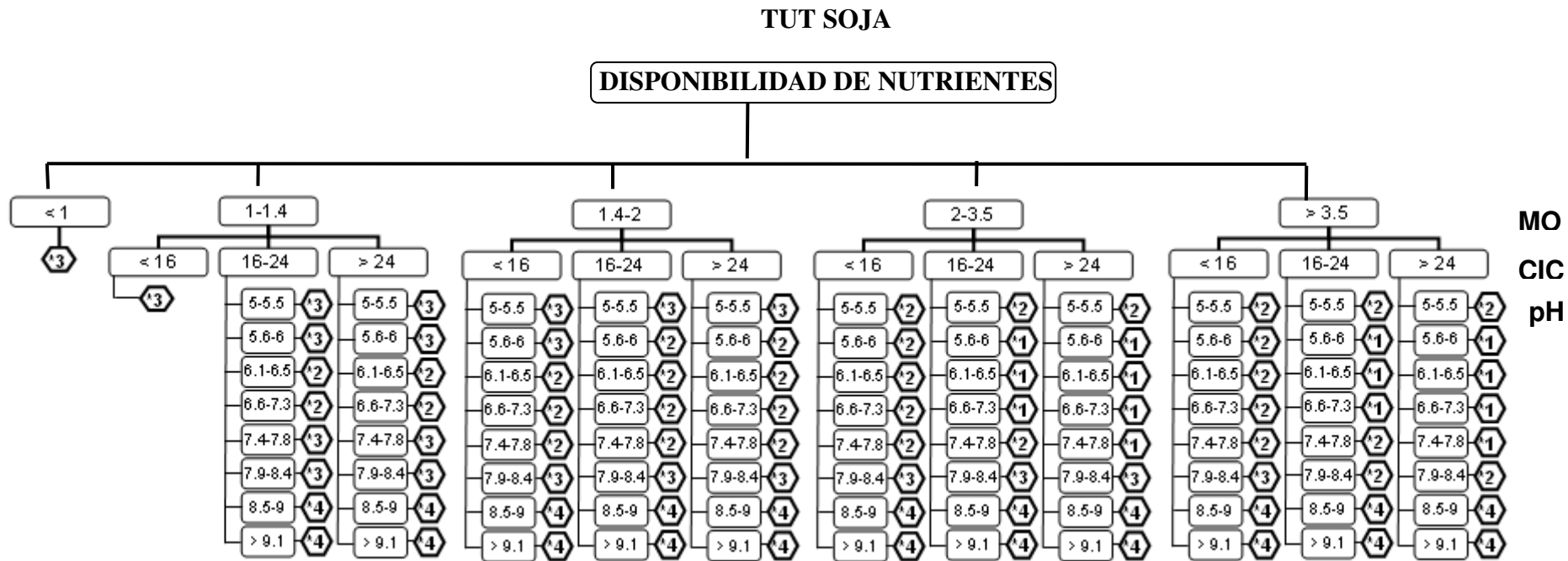


Figura 2.11: Árbol de decisión de la calidad disponibilidad de nutrientes para los TUT Soja

Referencias:

Resultado del árbol de decisión cuyo valor corresponde al nivel de severidad de la calidad, donde 1= No limitante, 2= Ligera limitación, 3=Moderada limitación y 4=Severa limitación. **MO:** Contenido de Materia Orgánica (clases de la característica expresada en %), **CIC:** Capacidad de Intercambio Catiónico (clases de la característica expresada en cmol+/kg), **pH:** reacción del suelo (clases de la característica).

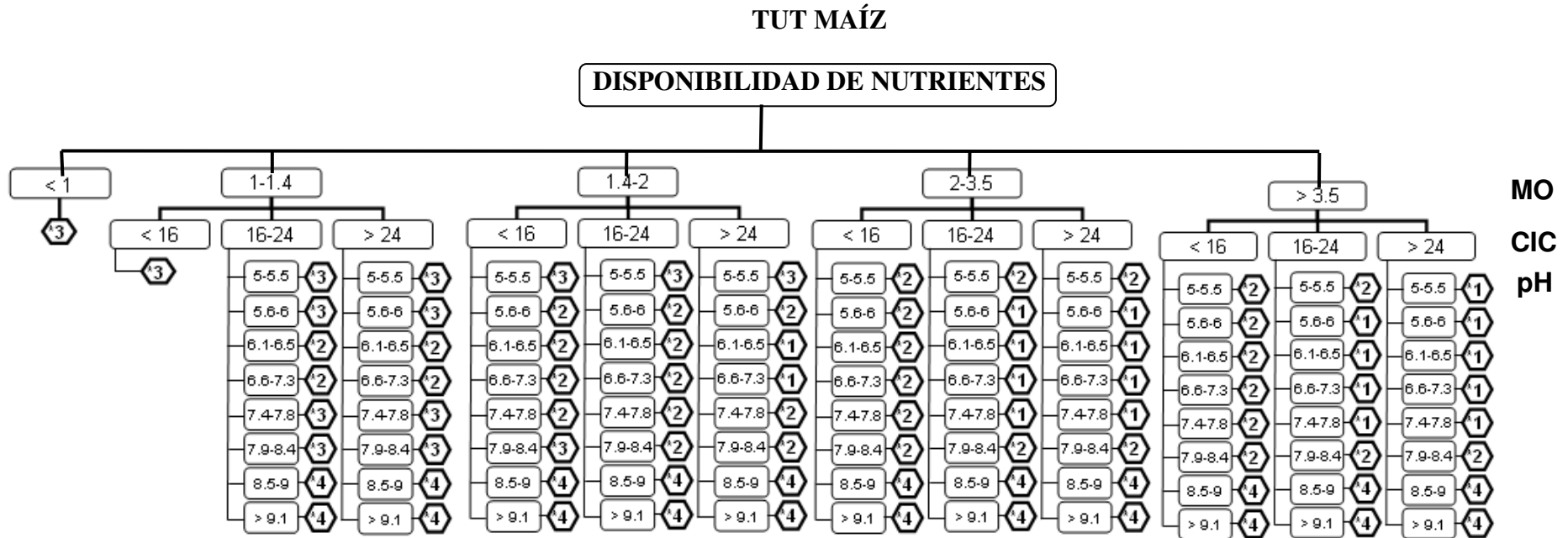


Figura 2.12: Árbol de decisión de la calidad disponibilidad de nutrientes para los TUT Maíz

Referencias:

Resultado del árbol de decisión cuyo valor corresponde al nivel de severidad de la calidad, donde 1= No limitante, 2= Ligera limitación, 3=Moderada limitación y 4=Severa limitación. **MO:** Contenido de Materia Orgánica (clases de la característica expresada en %), **CIC:** Capacidad de Intercambio Catiónico (clases de la característica expresada en cmol+/kg), **pH:** reacción del suelo (clases de la característica).

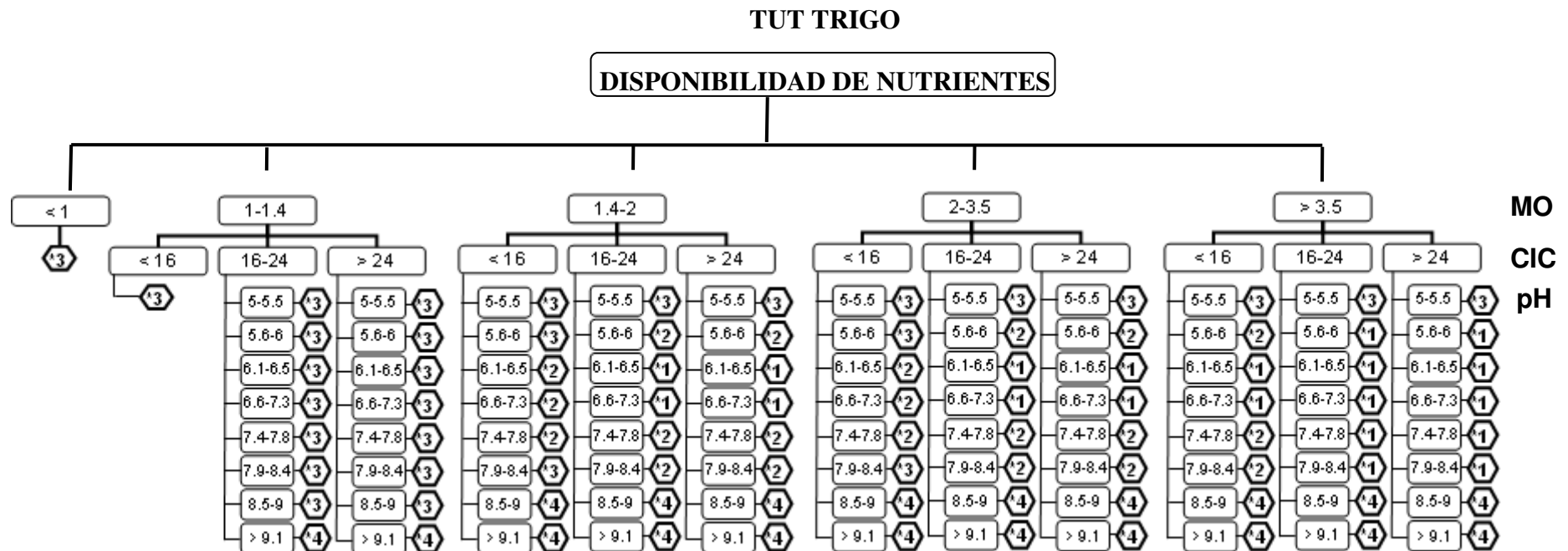


Figura 2.13: Árbol de decisión de la calidad disponibilidad de nutrientes para el TUT Trigo

Referencias:

Resultado del árbol de decisión cuyo valor corresponde al nivel de severidad de la calidad, donde 1= No limitante, 2= Ligera limitación, 3=Moderada limitación y 4=Severa limitación. **MO:** Contenido de Materia Orgánica (clases de la característica expresada en %), **CIC:** Capacidad de Intercambio Catiónico (clases de la característica expresada en cmol+/kg), **pH:** reacción del suelo (clases de la característica).

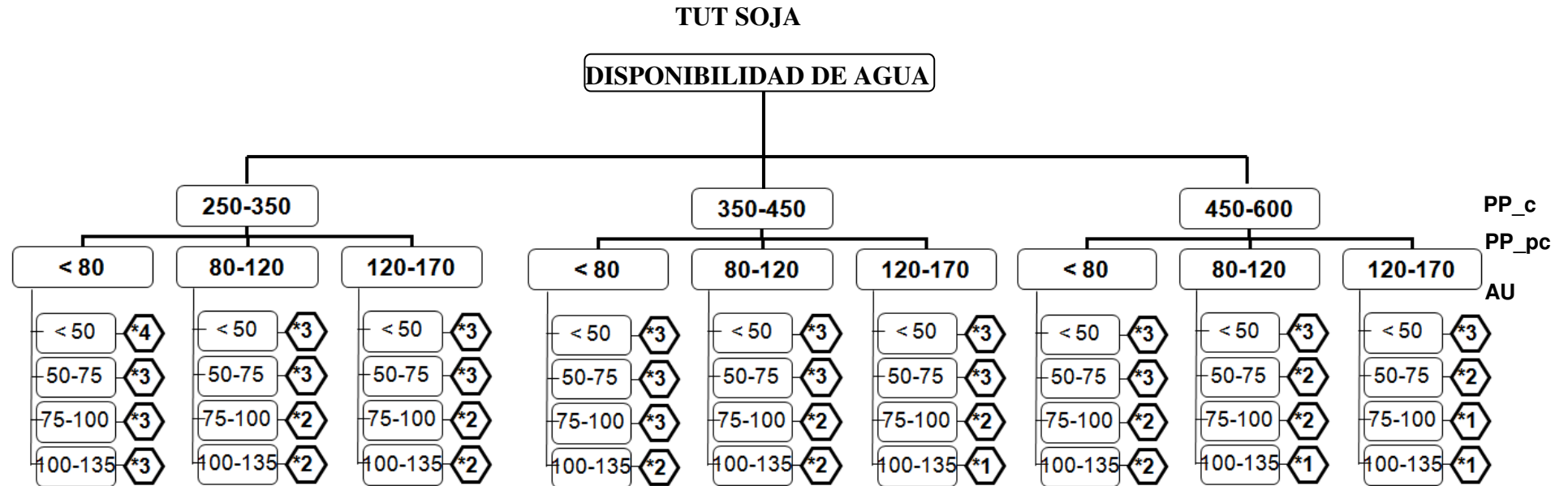



Figura 2.14: Árbol de decisión de la calidad disponibilidad de agua para el TUT Soja

Referencias:

 Resultado del árbol de decisión cuyo valor corresponde al nivel de severidad de la calidad, donde 1= No limitante, 2= Ligera limitación, 3=Moderada limitación y 4=Severa limitación. **PP_c**: Precipitación en el ciclo del cultivo (clases de la característica expresada en mm), **PP_pc**: Precipitación en el período crítico del cultivo (clases de la característica expresada en mm), **AU**: Agua útil (clases de la característica expresada en mm/m)

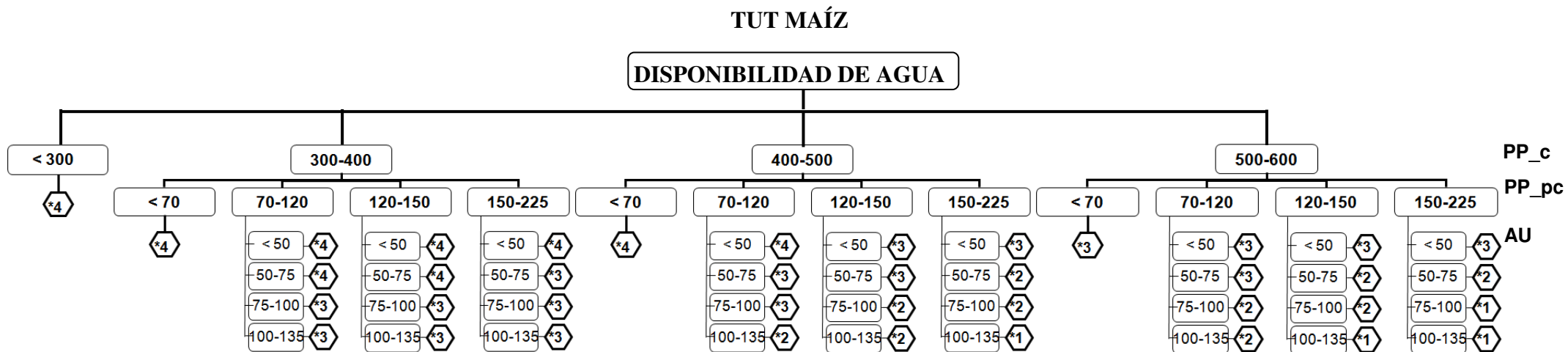



Figura 2.15: Árbol de decisión de la cualidad disponibilidad de agua para el TUT Maíz

Referencias:

 Resultado del árbol de decisión cuyo valor corresponde al nivel de severidad de la cualidad, donde 1= No limitante, 2= Ligera limitación, 3=Moderada limitación y 4=Severa limitación. **PP_c**: Precipitación en el ciclo del cultivo (clases de la característica expresada en mm), **PP_pc**: Precipitación en el período crítico del cultivo (clases de la característica expresada en mm), **AU**: Agua útil (clases de la característica expresada en mm/m).

TUT TRIGO

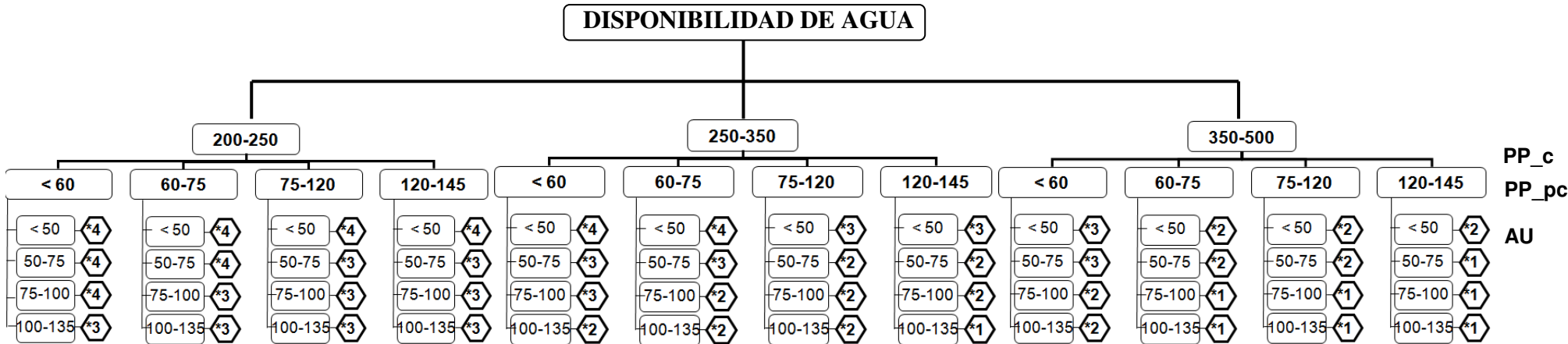


Figura 2.16: Árbol de decisión de la cualidad disponibilidad de agua para el TUT Trigo

Referencias:

Resultado del árbol de decisión cuyo valor corresponde al nivel de severidad de la cualidad, donde 1= No limitante, 2= Ligera limitación, 3=Moderada limitación y 4=Severa limitación. **PP_c**: Precipitación en el ciclo del cultivo (clases de la característica expresada en mm), **PP_pc**: Precipitación en el período crítico del cultivo (clases de la característica expresada en mm), **AU**: Agua útil (clases de la característica expresada en mm/m).

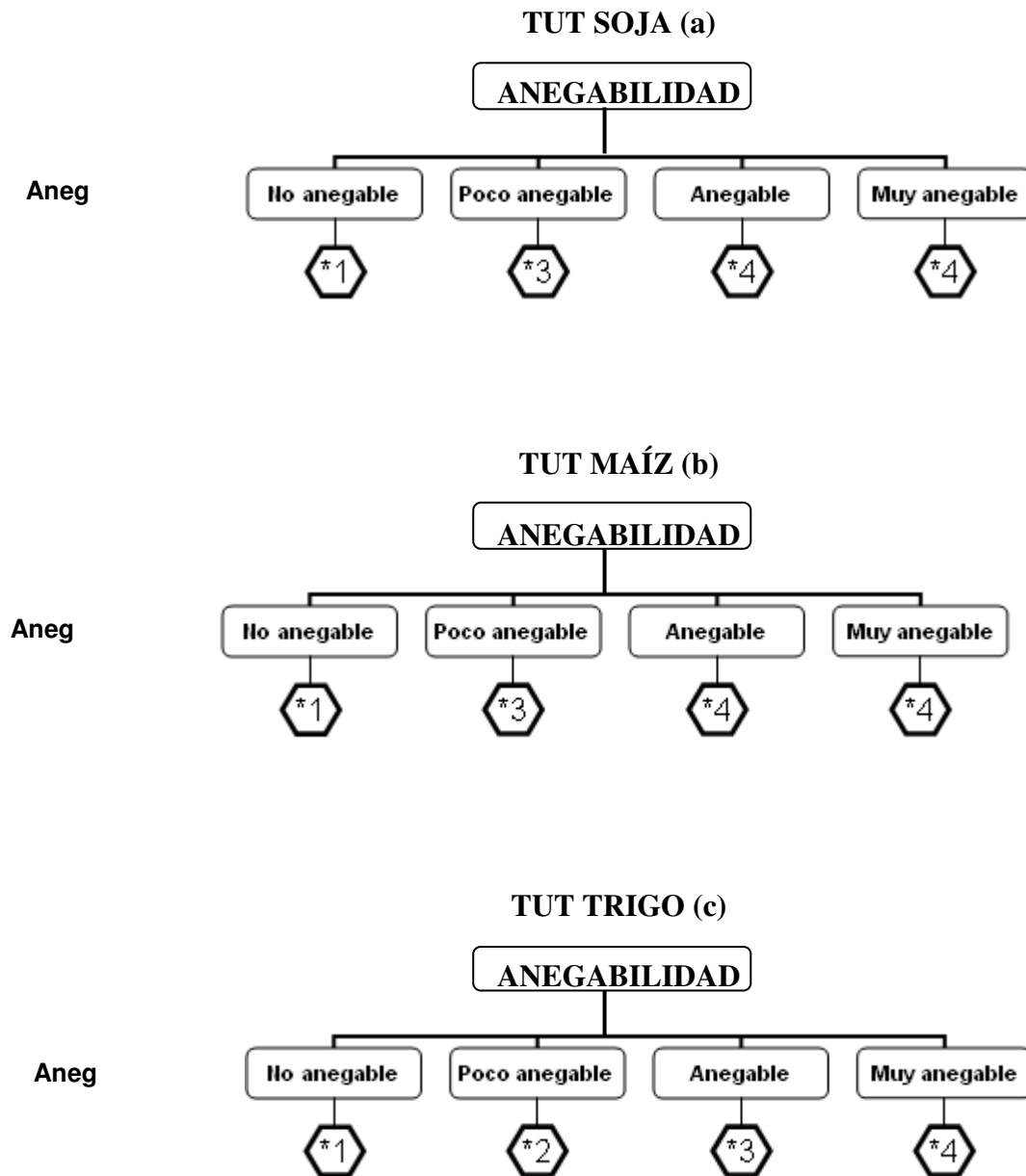

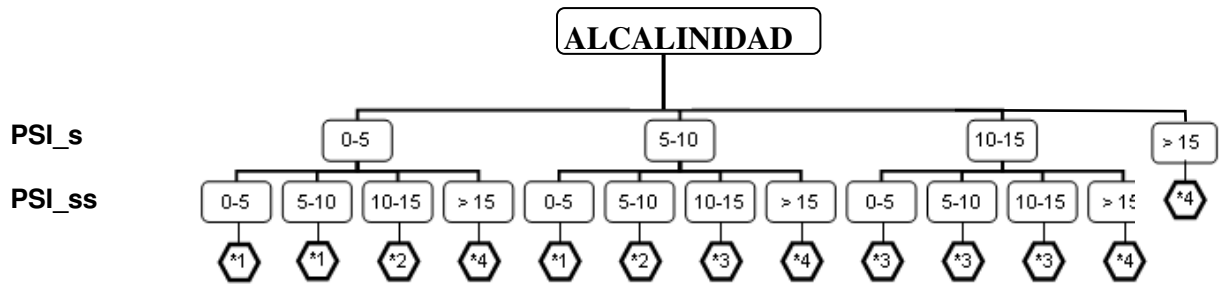


Figura 2.17: Árboles de decisión de la calidad anegamiento para los TUT: a) Soja, b) Maíz y c) Trigo.

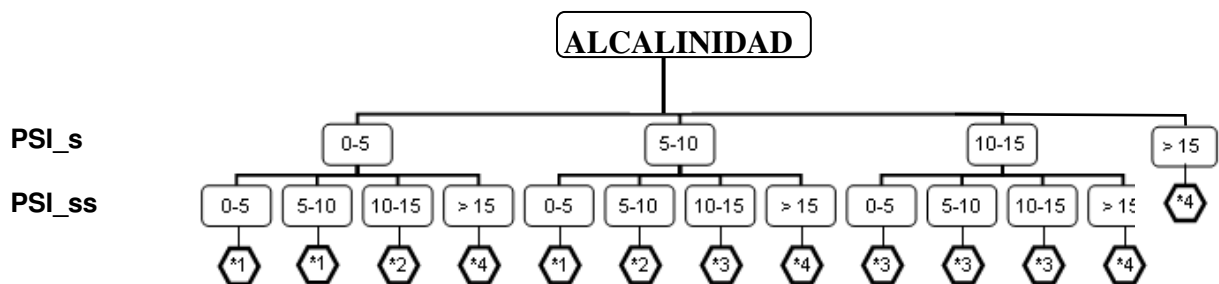
Referencias:

 Resultado del árbol de decisión cuyo valor corresponde al nivel de severidad de la calidad, donde 1= No limitante, 2= Ligera limitación, 3=Moderada limitación y 4=Severa limitación. **Aneg:** Anegabilidad (clases de la característica)

TUT SOJA (a)



TUT MAÍZ (b)



TUT TRIGO (c)

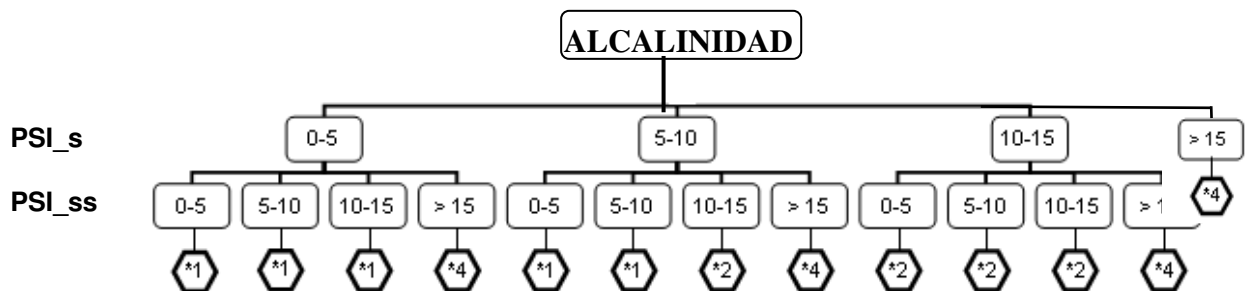



Figura 2.18: Árboles de decisión de la calidad alcalinidad para los TUT: a) Soja, b) Maíz y c) Trigo.

Referencias:

 Resultado del árbol de decisión cuyo valor corresponde al nivel de severidad de la calidad, donde 1= No limitante, 2= Ligera limitación, 3=Moderada limitación y 4=Severa limitación. **PSI_s**: Porcentaje de sodio intercambiable en el horizonte superficial (clases de la característica expresada en %), **PSI_{ss}**: Porcentaje de sodio intercambiable en el horizonte subsuperficial (clases de la característica expresada en %).

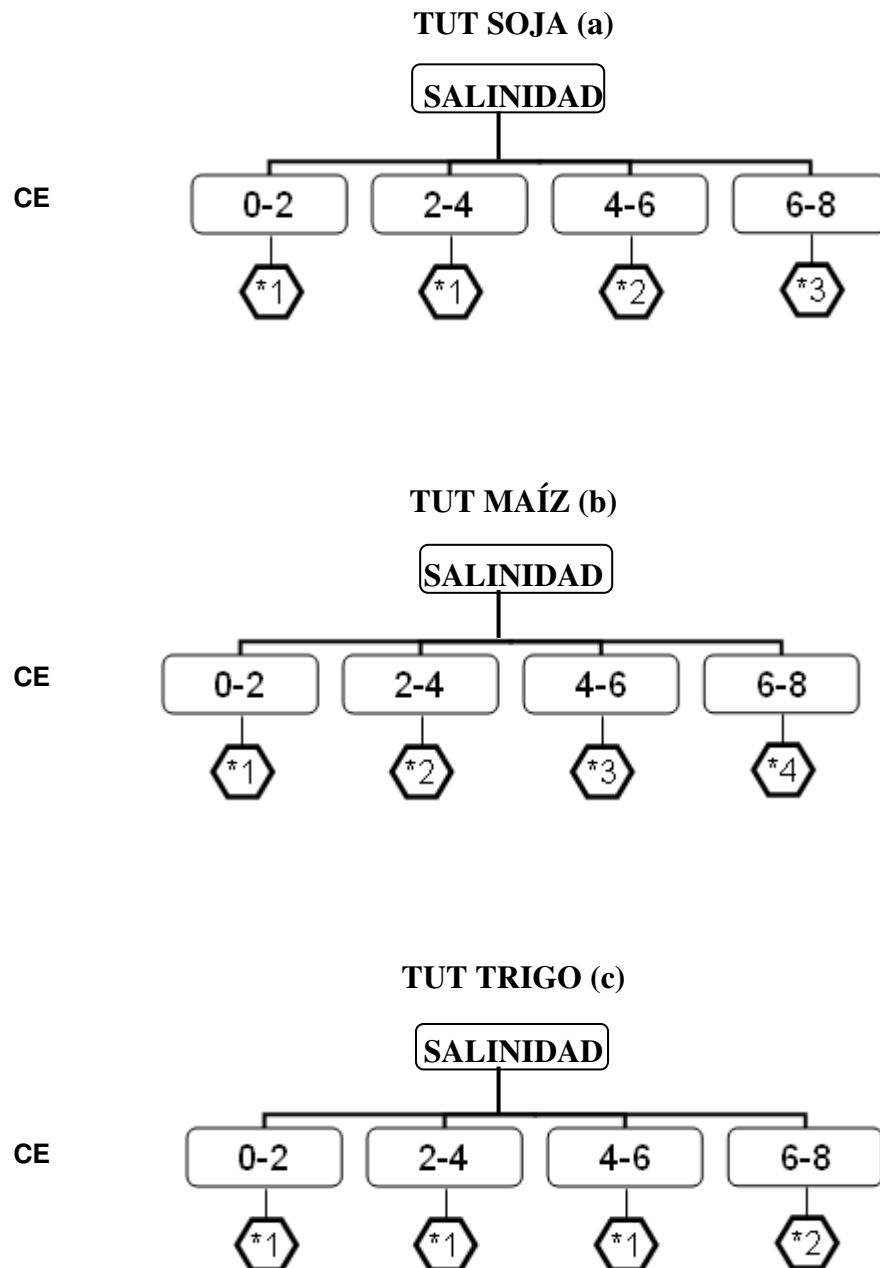



Figura 2.19: Árboles de decisión de la calidad salinidad para los TUT: a) Soja, b) Maíz y c) Trigo.

Referencias:

 Resultado del árbol de decisión cuyo valor corresponde al nivel de severidad de la calidad, donde 1= No limitante, 2= Ligera limitación, 3=Moderada limitación y 4=Severa limitación. CE: Conductividad eléctrica (clases de la característica expresada en dS/m).

2.3.3.2 Árboles de decisión: Aptitud de uso de las tierras

En las Figuras 2.20, 2.21 y 2.22 se presentan los árboles de decisión de las aptitudes de los modelos expertos.

TUT SOJA

APTITUD

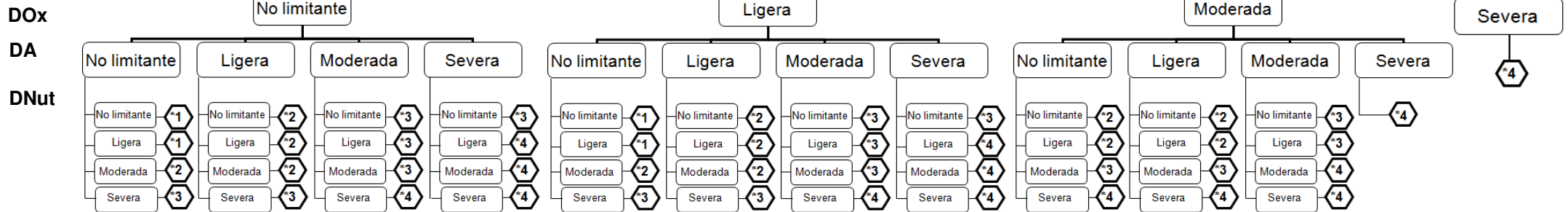


Figura 2.20: Árbol de decisión de la aptitud del TUT Soja

Referencias:

Resultado del árbol de decisión cuyo valor corresponde al nivel de aptitud, donde 1= Muy apto, 2= Moderadamente apto, 3= Marginalmente apto y 4= No apto.

DOx: Disponibilidad de oxígeno (calidad expresada según los niveles de limitación: No limitante, Ligera limitación, Moderada limitación y Severa limitación)

DA: Disponibilidad de agua oxígeno (calidad expresada según los niveles de limitación: No limitante, Ligera limitación, Moderada limitación y Severa limitación)

DNut: Disponibilidad de nutrientes oxígeno (calidad expresada según los niveles de limitación: No limitante, Ligera limitación, Moderada limitación y Severa limitación).

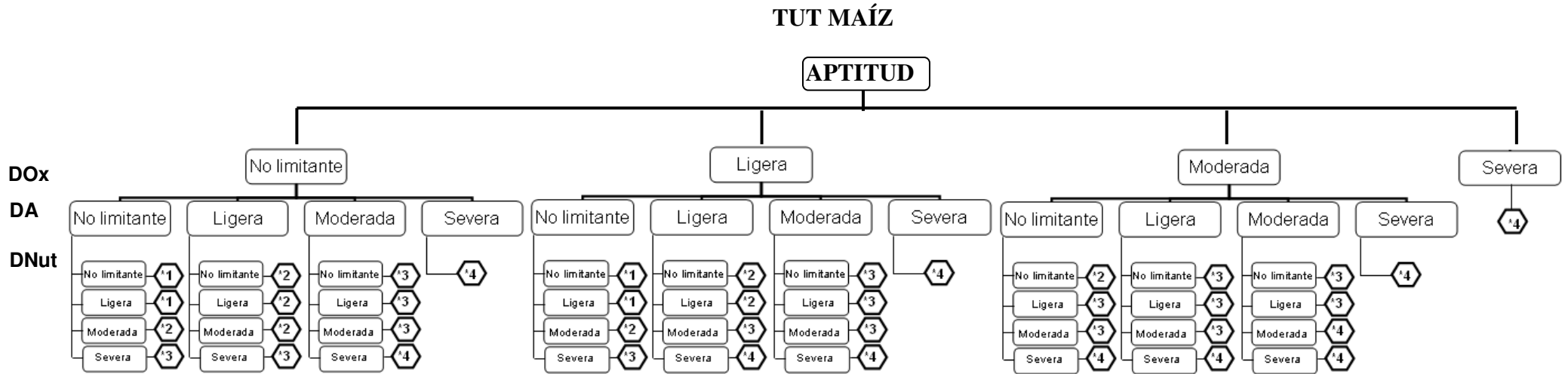



Figura 2.21: Árbol de decisión de la aptitud del TUT Maíz

Referencias:

-  Resultado del árbol de decisión cuyo valor corresponde al nivel de aptitud, donde 1= Muy apto, 2= Moderadamente apto, 3=Marginalmente apto y 4=No apto.
DOx: Disponibilidad de oxígeno (calidad expresada según los niveles de limitación: No limitante, Ligera limitación, Moderada limitación y Severa limitación);
DA: Disponibilidad de agua (calidad expresada según los niveles de limitación: No limitante, Ligera limitación, Moderada limitación y Severa limitación);
DNut: Disponibilidad de nutrientes (calidad expresada según los niveles de limitación: No limitante, Ligera limitación, Moderada limitación y Severa limitación)

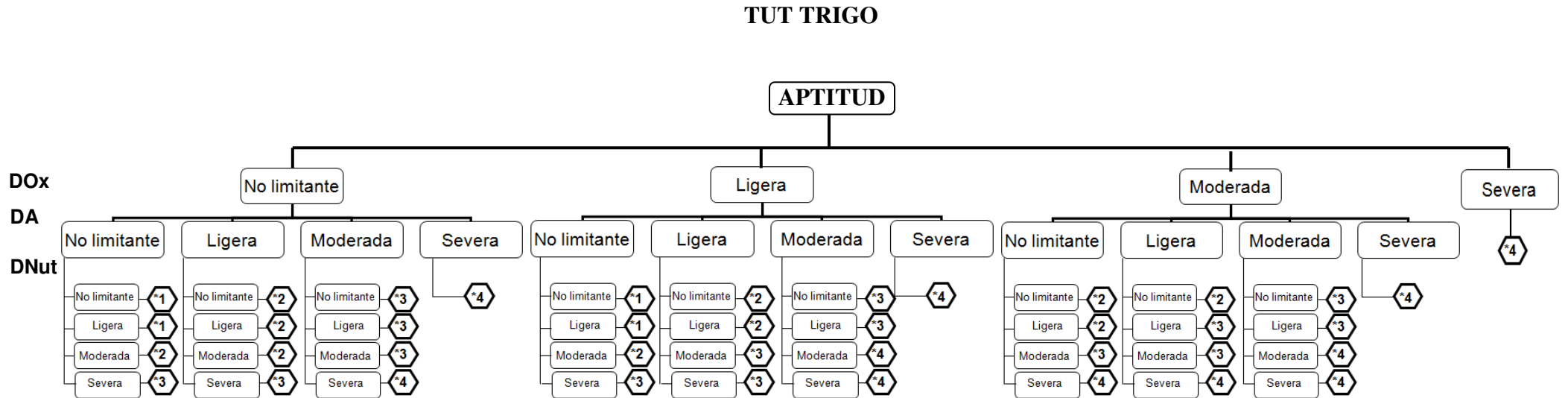



Figura 2.22: Árbol de decisión de la aptitud del TUT Trigo

Referencias:

-  Resultado del árbol de decisión cuyo valor corresponde al nivel de aptitud, donde 1= Muy apto, 2= Moderadamente apto, 3= Marginalmente apto y 4= No apto.
- DOx:** Disponibilidad de oxígeno (calidad expresada según los niveles de limitación: No limitante, Ligera limitación, Moderada limitación y Severa limitación).
- DA:** Disponibilidad de agua (calidad expresada según los niveles de limitación: No limitante, Ligera limitación, Moderada limitación y Severa limitación).
- DNut:** Disponibilidad de nutrientes (calidad expresada según los niveles de limitación: No limitante, Ligera limitación, Moderada limitación y Severa limitación).

2.3.3.3 Aptitud de uso de las tierras

La aptitud de uso de las tierras se obtiene como resultado de la aplicación de los modelos expertos generados para los distintos tipos de utilización de las tierras con distintos escenarios climáticos. En la Cuadro 2.15 se presenta la clasificación cualitativa de la información correspondiente a los escenarios climáticos mencionados en el Cuadro 2.5.

Cuadro 2.15: Clasificación cualitativa de los escenarios climáticos para los diferentes cultivos: soja, maíz y trigo, en períodos seco y húmedo.

Probabilidad	SOJA				MAÍZ				TRIGO			
	PS		PH		PS		PH		PS		PH	
	C	PCr	C	PCr	C	PCr	C	PCr	C	PCr	C	PCr
20	b	b	m	m	mb	mb	b	mb	b	b	m	m
50	m	b	a	a	b	b	m	b	m	m	a	a
80	a	m	a	a	m	m	a	a	a	a	a	ma

Referencias: **20, 50** y **80**, probabilidad de precipitación acumulada en %; **PS:** período antes del cambio abrupto (bajas precipitaciones); **PH:** período después del cambio abrupto (altas precipitaciones), **C:** precipitación en el ciclo del cultivo y **PCr:** precipitación en el periodo crítico del cultivo; **mb:** muy baja; **b:** baja; **m:** media; **a:** alta y **ma:** muy alta.

Los árboles de decisión construidos para evaluar la aptitud de las tierras fueron una de las herramientas utilizadas para obtener la aptitud de las unidades cartográficas para los distintos TUTs. Las demás cualidades de la tierra que limitan la factibilidad de la producción de los cultivos, tales como la alcalinidad, salinidad, profundidad efectiva y anegabilidad, fueron consideradas en la evaluación de la aptitud de uso de las tierras como factores de limitación máxima.

2.3.3.3.1 Tipo de utilización de las tierras: cultivo de soja

- Resultados del modelo experto bajo el escenario climático PH 20

Este escenario corresponde a lluvias medias en el período crítico y lluvias medias durante todo el ciclo del cultivo, para el período climático posterior al cambio abrupto. Precipitaciones menores a 408 mm se presentan durante el ciclo del cultivo y en el período crítico, menores a 85 mm para los cuatro partidos del oeste de Buenos Aires, con una probabilidad de ocurrencia de una vez cada cinco años.

En la Figura 2.23 se presenta la distribución espacial de las unidades cartográficas de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de soja.

En el escenario PH 20, no se clasifican tierras muy aptas como clase dominante de la unidad cartográfica para el cultivo de soja. La mayor proporción de las unidades de cartográficas del área de estudio son moderadamente aptas como clase de aptitud dominante; en este sentido se destaca el partido de Carlos Casares con un 41 % de su superficie bajo esta única clase de aptitud. El partido de Nueve de Julio presenta el 33 % de su superficie con tierras moderadamente aptas como unidad dominantes asociada a

tierras no aptas, Pehuajó el 33,2 % y Trenque Lauquen el 39 %. Tierras marginalmente aptas asociadas a tierras moderadamente aptas y a tierras no aptas para el cultivo de soja se presentan en el partido de Trenque Lauquen en aproximadamente el 20 % de la superficie.

Las tierras no aptas como clase dominante dentro de las distintas unidades cartográficas ocupan el 36 % de la superficie del partido de Nueve de Julio, el 38,7 % del partido de Carlos Casares, el 31,9 % del partido de Pehuajó y el 7,8 % del partido de Trenque Lauquen. Las mayores limitaciones de estas tierras para el cultivo de soja se refieren principalmente a la alcalinidad y anegabilidad y en muy pocos casos a la salinidad y profundidad del espacio radical (Cuadro 2.16).

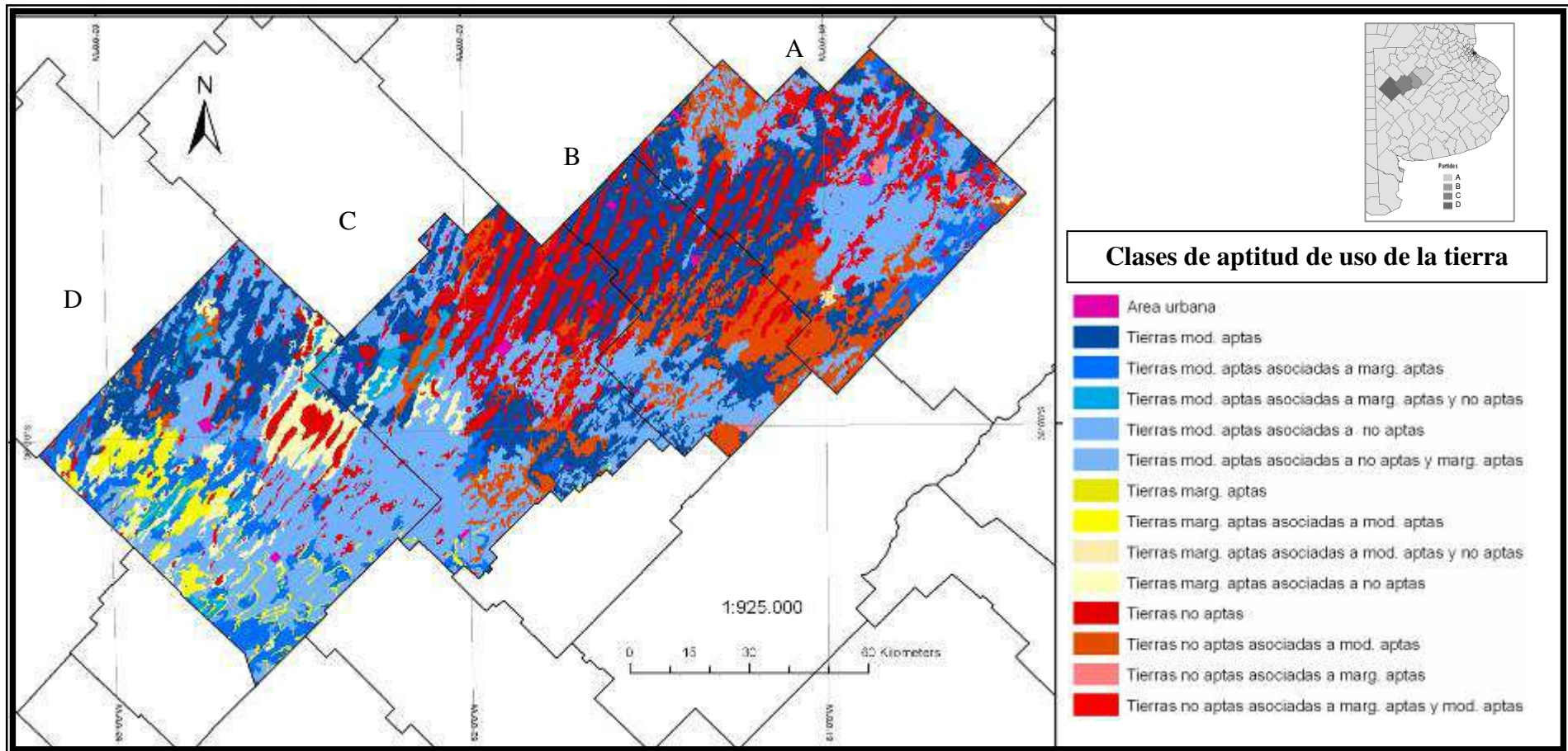


Figura 2.23: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de soja bajo el escenario climático PH 20, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D).

-Resultados del modelo experto bajo el escenario climático PH 50

Este escenario corresponde a lluvias altas en el período crítico y lluvias altas durante todo el ciclo del cultivo de soja, para el período climático posterior al cambio abrupto. La probabilidad acumulada del 50 %, una vez cada dos años, representa precipitaciones menores a 509 mm durante el ciclo del cultivo y en el período crítico lluvias menores a 127 mm para el área de estudio.

En la Figura 2.24 se presenta la distribución espacial de las unidades cartográficas de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de soja.

Bajo el escenario de lluvias altas en el ciclo y período crítico, se presentan tierras muy aptas asociadas a otras aptitudes para los cuatro partidos del área de estudio. Por lo tanto, en estas unidades de tierras la limitante para el cultivo ha sido corregida con el incremento de la oferta hídrica. Esto se observa principalmente en los partidos de Nueve de Julio y Carlos Casares, donde todas las tierras clasificadas en moderadamente apta para el cultivo se convierten en tierras muy aptas. La clase de aptitud dominante corresponde a tierras muy aptas asociadas a tierras no aptas en el área de estudio con excepción del partido de Carlos Casares donde la mayor superficie corresponde a tierras muy aptas (32,8 %).

Las tierras no aptas como clase única de aptitud de las tierras mantiene la misma superficie de ocupación independientemente al incremento de las precipitaciones, expresando como principales limitantes la alcalinidad y la anegabilidad (Cuadro 2.16).

-Resultados del modelo experto bajo el escenario climático PH 80

El escenario climático PH 80 responde a la probabilidad acumulada de precipitaciones tanto en el ciclo como en el período crítico del 80 %, luego del cambio abrupto. Esto representa que cuatro de cada cinco años las lluvias son menores a 595 mm durante el ciclo del cultivo de soja y en el período crítico lluvias menores a 153 mm para el área de estudio. Esta situación climática se corresponde con lluvias altas en el ciclo y en el período crítico, según las clases de las características de la tierra definidas en el Capítulo correspondiente. Por lo tanto, la salida de aptitud de las unidades de tierra del modelo experto resulta igual al modelo anterior, PH 50 (Figura 2.24 y Cuadro 2.16).

A continuación se presenta en el Cuadro 2.16, las aptitudes de uso de las tierras para el TUT Soja correspondiente a los escenarios climáticos después del cambio abrupto (PH) de los partidos bajo estudio.

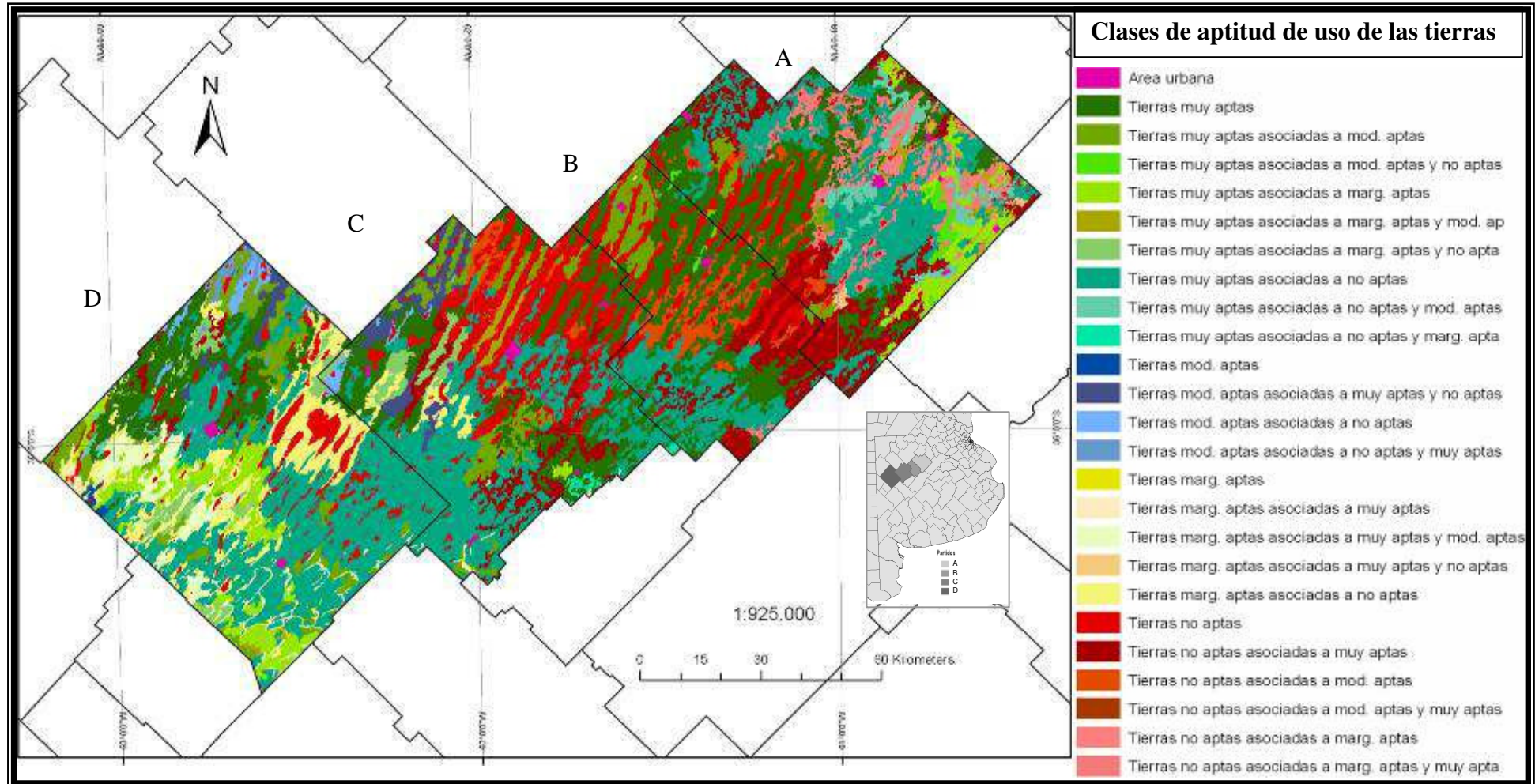


Figura 2.24: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de soja bajo el escenario climático PH 50 y PH 80, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)

Ctinuación Cuadro 2.16

Escenario climático	PH 20				PH 50				PH 80			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Partido	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)
Grados de aptitud												
Tierras mod. aptas asociadas a no aptas	1398,8 (33)	490,3 (19)	1500,8 (33,2)	2134,5 (390,0)			38,5 (0,9)	88,2 (1,6)			38,5 (0,9)	88,2 (1,6)
Tierras mod. aptas asociadas a no aptas y muy aptas								56,0 (1,0)				56,0 (1,0)
Tierras mod. aptas asociadas a no aptas y marg. aptas		1,2 (0)	29,8 (0,7)	17,8 (0,3)								
Tierras marg. aptas			1,6 (0)	13,2 (0,2)			1,6 (0,0)	13,2 (0,2)			1,6 (0,0)	13,2 (0,2)
Tierras marg. aptas asociadas a muy aptas						0,8 (0)		16,2 (0,3)		0,8 (0)		16,2 (0,3)
Tierras marg. aptas asociadas a muy aptas y mod. aptas							14,7 (0,3)	392,4 (7,2)			14,7 (0,3)	392,4 (7,2)
Tierras marg. aptas asociadas a mod. aptas		1,2 (0)	14,7 (0,3)	408,6 (7,5)								
Tierras marg. aptas asociadas a muy aptas y no aptas					19,6 (0,5)				19,6 (0,5)			
Tierras marg. aptas asociadas a no aptas			104,2 (2,3)	653,5 (12,0)			104,2 (2,3)	653,5 (12,0)			104,2 (2,3)	653,5 (12,0)
Tierras marg. aptas asociadas a mod. aptas y no aptas	19,6 (0)											
Tierras no aptas	304,8 (7,1)	369,5 (14,7)	1019,2 (22,5)	352,3 (6,4)	304,8 (7,1)	369,5 (14,7)	1019,2 (22,5)	352,3 (6,4)	304,8 (7,1)	369,5 (14,7)	1019,2 (22,5)	352,3 (6,4)
Tierras no aptas asociadas a muy aptas					635,8 (14,8)	358,6 (14,2)	328,8 (7,3)	69,1 (1,3)	635,8 (14,8)	358,6 (14,2)	328,8 (7,3)	69,1 (1,3)
Tierras no aptas asociadas a mod. aptas	731,4 (17)	607,8 (24)	424,5 (9,4)	78,5 (1,4)	95,6 (2,2)	249,3 (9,9)	95,8 (2,1)		95,6 (2,2)	249,3 (9,9)	95,8 (2,1)	
Tierras no aptas asociadas a mod. aptas y muy aptas								9,4 (0,2)				9,4 (0,2)
Tierras no aptas asociadas a marg. aptas		10,7 (0)			38,3 (0,9)	10,7 (0,4)			38,3 (0,9)	10,7 (0,4)		

Ctinuación Cuadro 2.16

Escenario climático	PH 20				PH 50				PH 80			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Partido	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)	Sup km ² (%)
Grados de aptitud												
Tierras no aptas asociadas a marg. aptas y mod. aptas	532,8 (12)											
Tierras no aptas asociadas a marg. aptas y muy aptas					494,4 (11,5)				494,4 (11,5)			

Referencias: PH 20, PH 50, PH 80 período posterir al cambio abrupto con probabilidad acumulada de ocurrencia del 20, 50 y 80 % respectivamente; A, Nueve de Julio; B, Carlos Casares; C, Pehuajó y D, Trenque Lauquen; Sup, superficie del partido; mod, moderadamente, marg, marginalmente.

-Resultados del modelo experto bajo el escenario climático PS 20

Este escenario corresponde a lluvias bajas en el período crítico y lluvias bajas durante todo el ciclo del cultivo de soja, para el período climático anterior al cambio abrupto. En el área de estudio, una vez cada cinco años las precipitaciones durante el ciclo del cultivo son menores a 310 mm y en el período crítico menores a 40 mm.

En la Figura 2.25 se presenta la distribución espacial de la aptitud de uso de las tierras como salida cartográfica del modelo experto.

Para el escenario PS 20, las unidades cartográficas de suelos se clasifican en marginalmente aptas y no aptas para el cultivo de soja, para los cuatro partidos bajo estudio (Cuadro 2.17). Por lo tanto, en este modelo experto, se presentan menores cantidades y combinaciones de clases de aptitud de uso de las tierras.

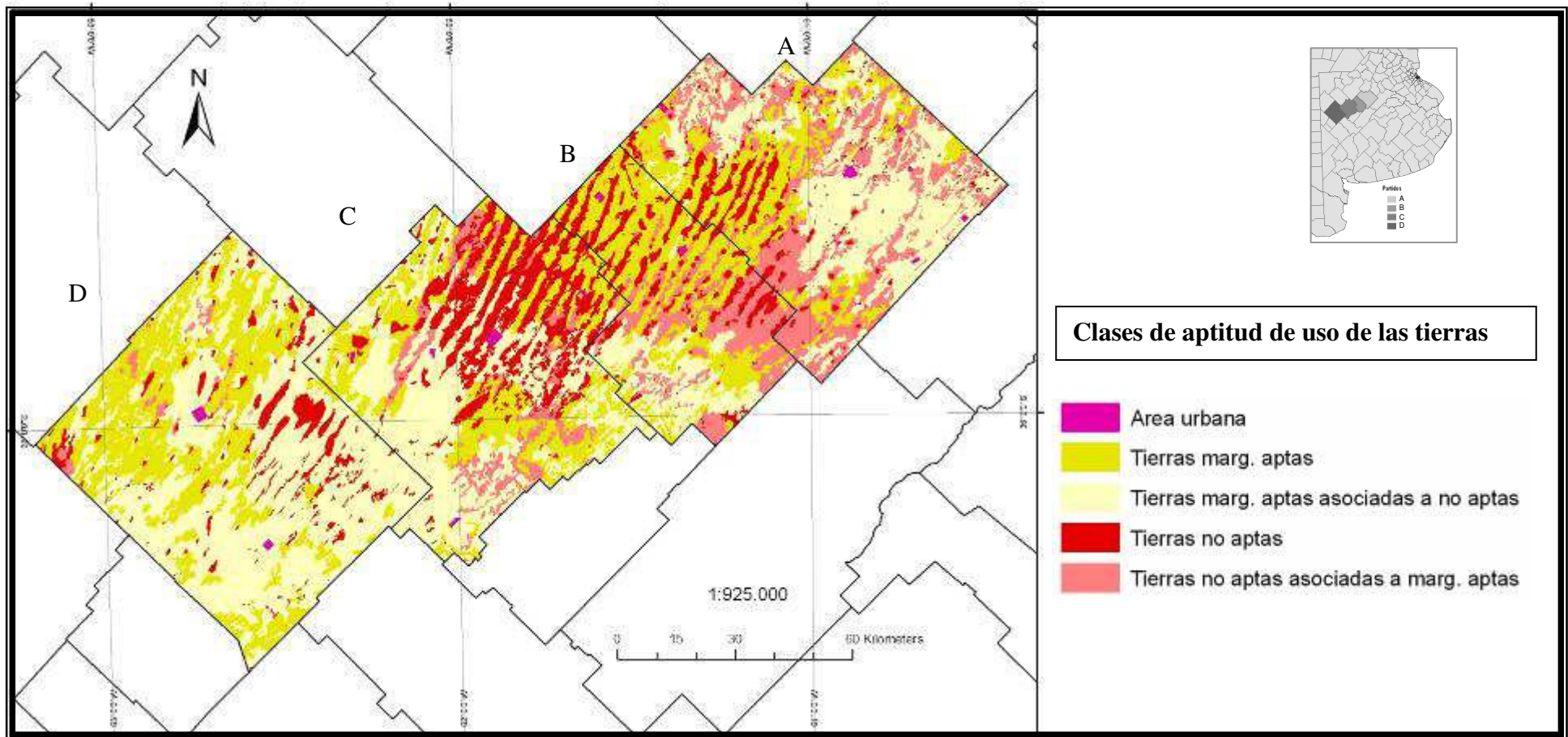


Figura 2.25: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de soja bajo el escenario climático PS 20, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)

-Resultados del modelo experto bajo el escenario climático PS 50

Este escenario corresponde a lluvias bajas en el período crítico y lluvias medias durante todo el ciclo del cultivo de soja, para el período climático anterior al cambio abrupto. En el área de estudio, una vez cada dos años (PS 50), las precipitaciones durante el ciclo del cultivo son menores a 376 mm y en el período crítico menores a 68 mm durante el período anterior al cambio abrupto.

En la Figura 2.26 se presenta la distribución espacial de las distintas unidades cartográficas como resultado de las combinaciones de las cuatro clases de aptitud de uso de las tierras (muy aptas, moderadamente aptas, marginalmente aptas y no aptas) según el modelo experto.

En este escenario climático (PS 50), el partido de Nueve de Julio posee una superficie de 12,2 % de tierras moderadamente aptas como clase de aptitud predominante en la unidad cartográfica. Las tierras clasificadas en marginalmente aptas asociadas a tierras moderadamente aptas representan, bajo este escenario, la clase de aptitud predominante de los partidos de Nueve de Julio y Carlos Casares. En los partidos de Pehuajó y Trenque Lauquen, las mayores superficies están representadas por tierras marginales asociadas a no aptas.

En los escenarios climáticos PS 20 y PS 50, la demanda hídrica del cultivo, principalmente en el período crítico, y la disponibilidad de agua (oferta) restringen la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de soja y por ende no se exhiben tierras muy aptas para el cultivo de soja (Cuadro 3.17).

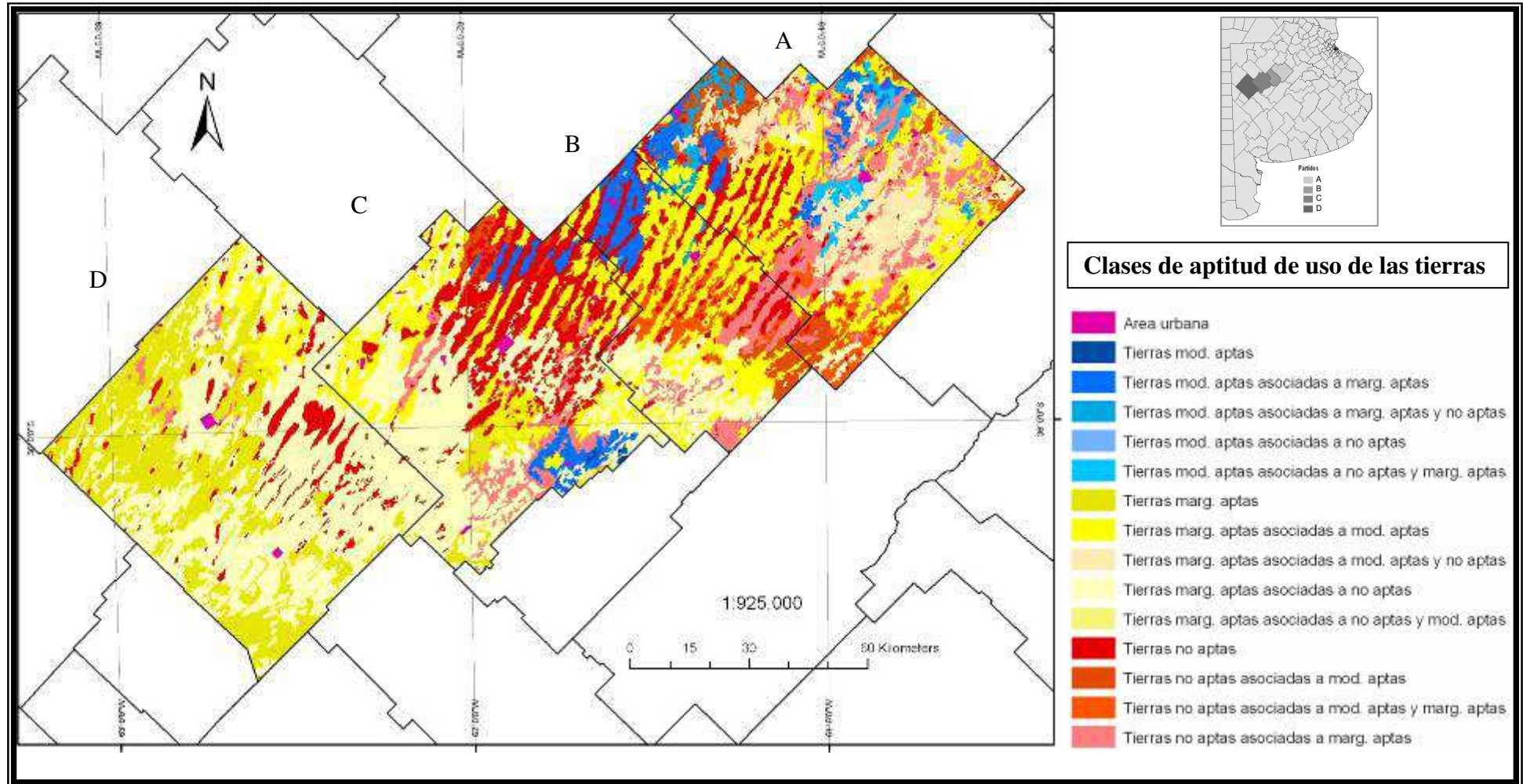


Figura 2.26: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de soja bajo el escenario climático PS 50, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)

-Resultados del modelo experto bajo el escenario climático PS 80

Este escenario corresponde a lluvias medias en el período crítico y lluvias altas durante todo el ciclo del cultivo de soja, para el período climático anterior al cambio abrupto. En el área de estudio, cuatro de cada cinco años las precipitaciones durante el ciclo del cultivo son menores a 476 mm y en el período crítico menores a 109 mm.

En la Figura 2.27 se presenta la distribución espacial de las distintas unidades cartográficas como resultado de las combinaciones de las cuatro clases de aptitud de uso de las tierras según el modelo experto.

En el Cuadro 2.17, se presenta la superficie de los partidos según las aptitudes de uso de las tierras para el TUT Soja correspondiente a los escenarios climáticos antes del cambio abrupto (PS).

Bajo este escenario climático, PS 80, se presentan tierras muy aptas asociadas con otras clases de aptitudes, en los partidos de Nueve de Julio, Carlos Casares y Pehuajó. Bajo este escenario, en el área de estudio predominan las tierras moderadamente aptas y sus asociaciones para el cultivo de soja (Cuadro 2.17). La calidad disponibilidad de agua es crucial para determinar la aptitud de uso de las tierras, y en este sentido, la capacidad de retención de agua es la característica edáfica que marca la diferencia entre varias unidades de tierras.

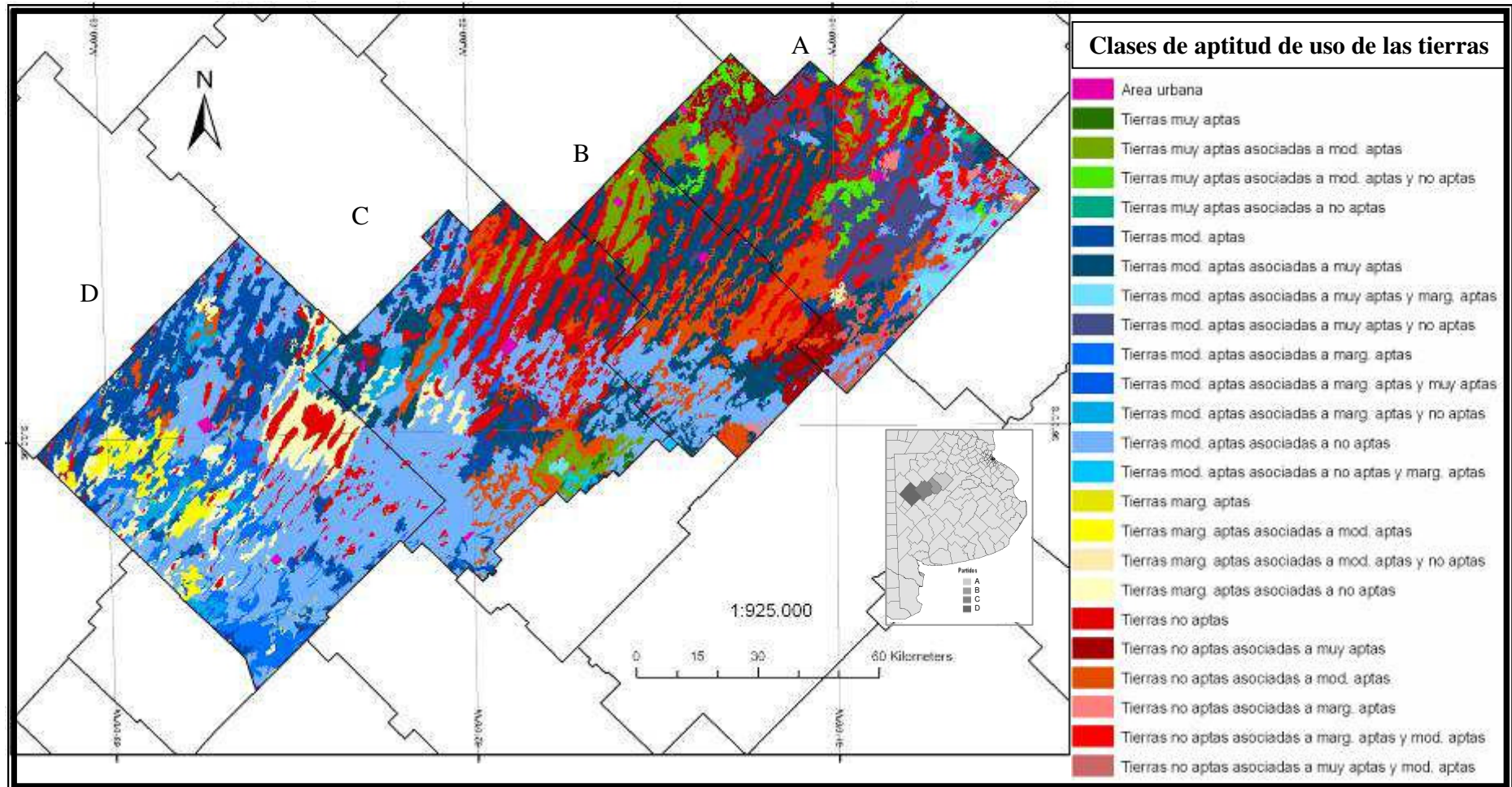


Figura 2.27: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de soja bajo el escenario climático PS 80, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)

Cuadro 2.17: Superficie de los partidos del área bajo estudio, según las aptitudes de uso de las tierras para el TUT Soja en los escenarios climáticos correspondientes al período anterior al cambio abrupto (PS).

Escenario climático	PS 20				PS 50				PS 80			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
PARTIDOS	Sup km ² Sup (%)	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %
Tierras Urbanas	28,4 (0,7)	15 (0,6)	28,8 (0,6)	17 (0,3)	28,4 (0,7)	15 (0,6)	28,8 (0,6)	17 (0,3)	28,4 (0,7)	15 (0,6)	28,8 (0,6)	17 (0,3)
Tierras muy aptas											15,6 (0,3)	
Tierras muy aptas asociadas a mod. Aptas									229,2 (5,3)	200 (7,9)	207,8 (4,6)	
Tierras muy aptas asociadas a mod. aptas y no aptas									272,7 (6,4)	3,8 (0,2)		
Tierras muy aptas asociadas a no aptas									16,2 (0,4)			
Tierras mod. Aptas							15,6 (0,3)		17,0 (0,4)	6,5 (0,3)	692,4 (15,3)	1072,9 (19,6)
Tierras mod. aptas asociadas a muy aptas									702,3 (16,4)	816,8 (32,4)		59,3 (1,1)
Tierras mod. aptas asociadas a muy aptas y marg. Aptas									247,8 (5,8)		13,0 (0,3)	
Tierras mod. aptas asociadas a muy aptas y no aptas									856,2 (20,0)	13,2 (0,5)		
Tierras mod. aptas asociadas a marg. Aptas					229,2 (5,3)	200 (7,9)	207,8 (4,6)		48,3 (1,1)		81,9 (1,8)	632,7 (11,6)
Tierras mod. aptas asociadas a marg. aptas y muy aptas									25,3 (0,6)			
Tierras mod. aptas asociadas a marg. aptas y no aptas					136,3 (3,2)	13,8 (0,5)					139,1 (3,1)	185,0 (3,4)
Tierras mod. aptas asociadas a no aptas					16,2 (0,4)				253,7 (5,9)	473,3 (18,8)	1500,8 (33,2)	2152,3 (39,4)
Tierras mod. aptas asociadas a no aptas y marg. aptas					143,0 (3,3)					1,2 (0,0)	29,8 (0,7)	

Continuación Cuadro 2.17

Escenario climático	PS 20				PS 50				PS 80			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
PARTIDOS	Sup km ² Sup (%)	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %
Grados de aptitud												
Tierras marginalmente aptas	948,5 (22,1)	1023,3 (40,6)	1177,3 (26,0)	1758,5 (32,2)	3,2 (0,1)	0,8 (0,0)	173,1 (3,8)	1774,2 (32,4)			1,6 (0,0)	13,2 (0,2)
Tierras marg. aptas asociadas a mod. aptas					1037,6 (24,2)	823,3 (32,7)	877,3 (19,4)	255,1 (4,7)		0,8 (0,0)		251,3 (4,6)
Tierras marg. aptas asociadas a mod. aptas y no aptas					907,2 (21,2)	3,3 (0,1)			19,6 (0,5)			
Tierras marg. aptas asociadas a no aptas	1739,9 (40,6)	491,5 (19,5)	1868,8 (41,3)	3227,1 (59,0)	130 (3,0)	474,5 (18,8)	1773,9 (39,2)	3000,2 (54,9)			104,2 (2,3)	653,3 (12,0)
Tierras marg. aptas asociadas a no aptas y mod. aptas					85,7 (2,0)							
Tierras no aptas	304,8 (7,1)	380,2 (15,1)	1020,8 (22,6)	379,9 (6,9)	304,8 (7,1)	369,5 (14,7)	1019,2 (22,5)	352,3 (6,4)	304,8 (7,1)	369,5 (14,7)	1019,2 (22,5)	352,3 (6,4)
Tierras no aptas asociadas a muy aptas									187,8 (4,4)			
Tierras no aptas asociadas a muy aptas y mod. aptas									169,6 (4,0)			
Tierras no aptas asociadas a mod. aptas					187,8 (4,4)	0,7 (0,0)	87,5 (1,9)		297,4 (6,9)	501,9 (19,9)	424,5 (9,4)	352,3 (6,4)
Tierras no aptas asociadas a mod. aptas y marg. aptas					265,2 (6,2)	248,5 (9,9)	8,3 (0,2)					
Tierras no aptas asociadas a mod. aptas y muy aptas									76,6 (1,8)	105,9 (4,2)		
Tierras no aptas asociadas a marg. aptas	1264,2 (29,5)	608,6 (24,2)	424,5 (9,4)	85,3 (1,6)	734,5 (17,1)	263,4 (10,5)	328,8 (7,3)	69,1 (1,3)	38,3 (0,9)	10,7 (0,4)		
Tierras no aptas asociadas a marg. aptas y mod. aptas					76,6 (1,8)	105,9 (4,2)			494,4 (11,5)			

Referencias: PS 20, PS 50, PS 80 período anterior al cambio abrupto con probabilidad acumulada de ocurrencia del 20, 50 y 80 % respectivamente; A, Nueve de Julio; B, Carlos Casares; C, Pehuajó y D, Trenque Lauquen; Sup, superficie del partido; mod, moderadamente, marg, marginalmente.

2.3.3.3.2 Tipo de utilización de las tierras: cultivo de maíz

-Resultados del modelo experto bajo el escenario climático PH 20

El escenario climático PH 20 corresponde a lluvias muy bajas en el período crítico y lluvias bajas durante todo el ciclo del cultivo de maíz, para el período climático posterior al cambio abrupto. Según el análisis de las series climáticas, una vez cada cinco años las precipitaciones durante el ciclo del cultivo son menores a 360 mm y en el período crítico menores a 58 mm.

En la Figura 2.28 se muestra el patrón de distribución de uso de las tierras para el cultivo de maíz para el escenario PH 20.

Como se puede observar en las Figuras 2.28, el escenario planteado para todas las unidades cartográficas resultan ser limitantes para el cultivo de maíz, por lo tanto se clasifican como no apto para dicho cultivo, siendo la oferta hídrica el factor principal restrictivo independientemente de las características de los suelos (Cuadro 2.18).

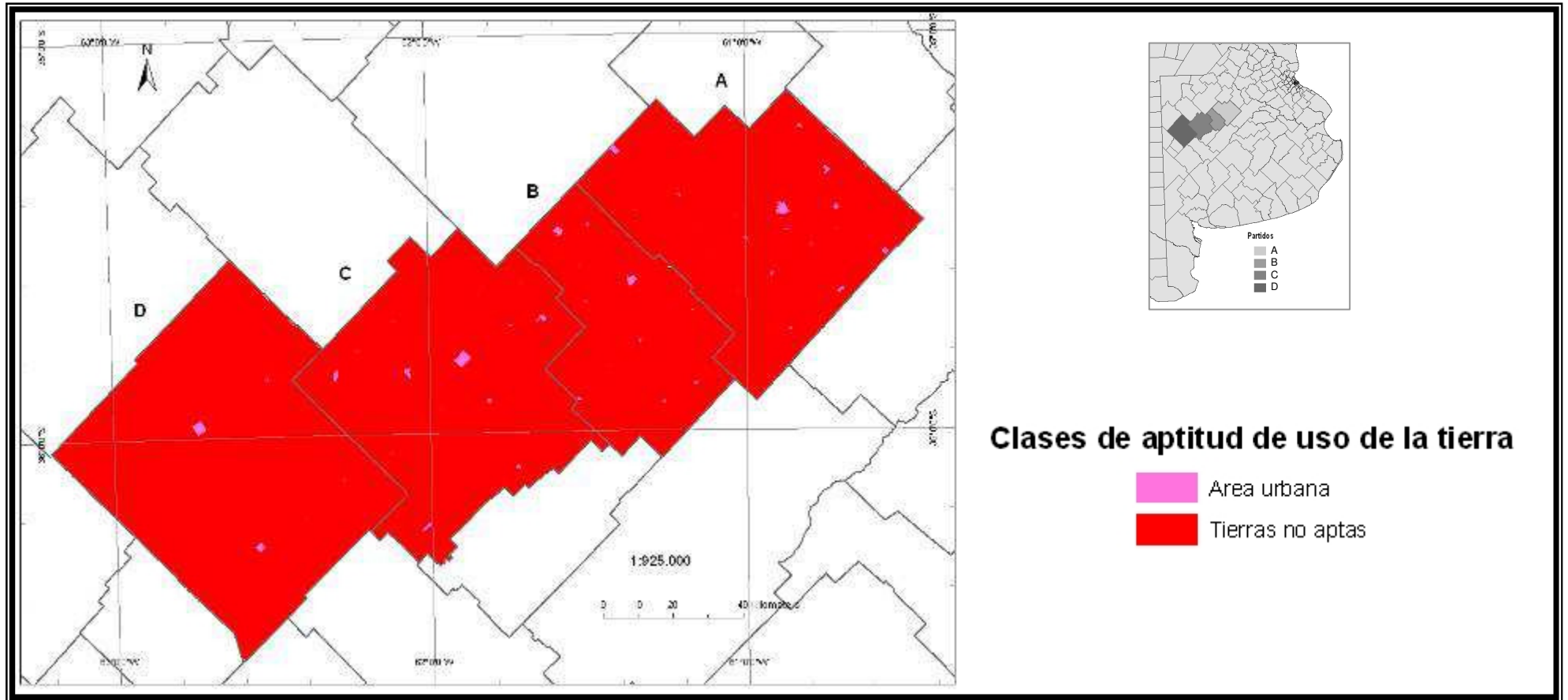


Figura 2.28: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz bajo el escenario climático PH 20, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)

-Resultados del modelo experto bajo el escenario climático PH 50

El escenario climático PH 50 corresponde a lluvias bajas en el período crítico y lluvias medias durante todo el ciclo del cultivo de maíz, para el período climático posterior al cambio abrupto. Según el análisis de las precipitaciones, una vez cada dos años las precipitaciones durante el ciclo del cultivo son menores a 467 mm y en el período crítico menores a 94 mm.

En la Figura 2.29 se presenta la distribución espacial de las distintas unidades cartográficas de aptitud de uso de las tierras, según el modelo experto.

En el escenario PH 50, aproximadamente el 12 % de la superficie del partido de Nueve de Julio se clasifica como tierras moderadamente apta junto a otras tierras de distinta aptitud, en el partido de Carlos Casares ocupa el 8,1 % de la superficie y en Pehuajó el 4,9 % de las tierras del partido. Bajo este escenario climático, en el área de estudio, predominan las tierras marginalmente aptas asociadas a tierras de moderada aptitud encontrándose también en las unidades cartográficas, tierras no aptas para de cultivo de maíz (Cuadro 2.18).

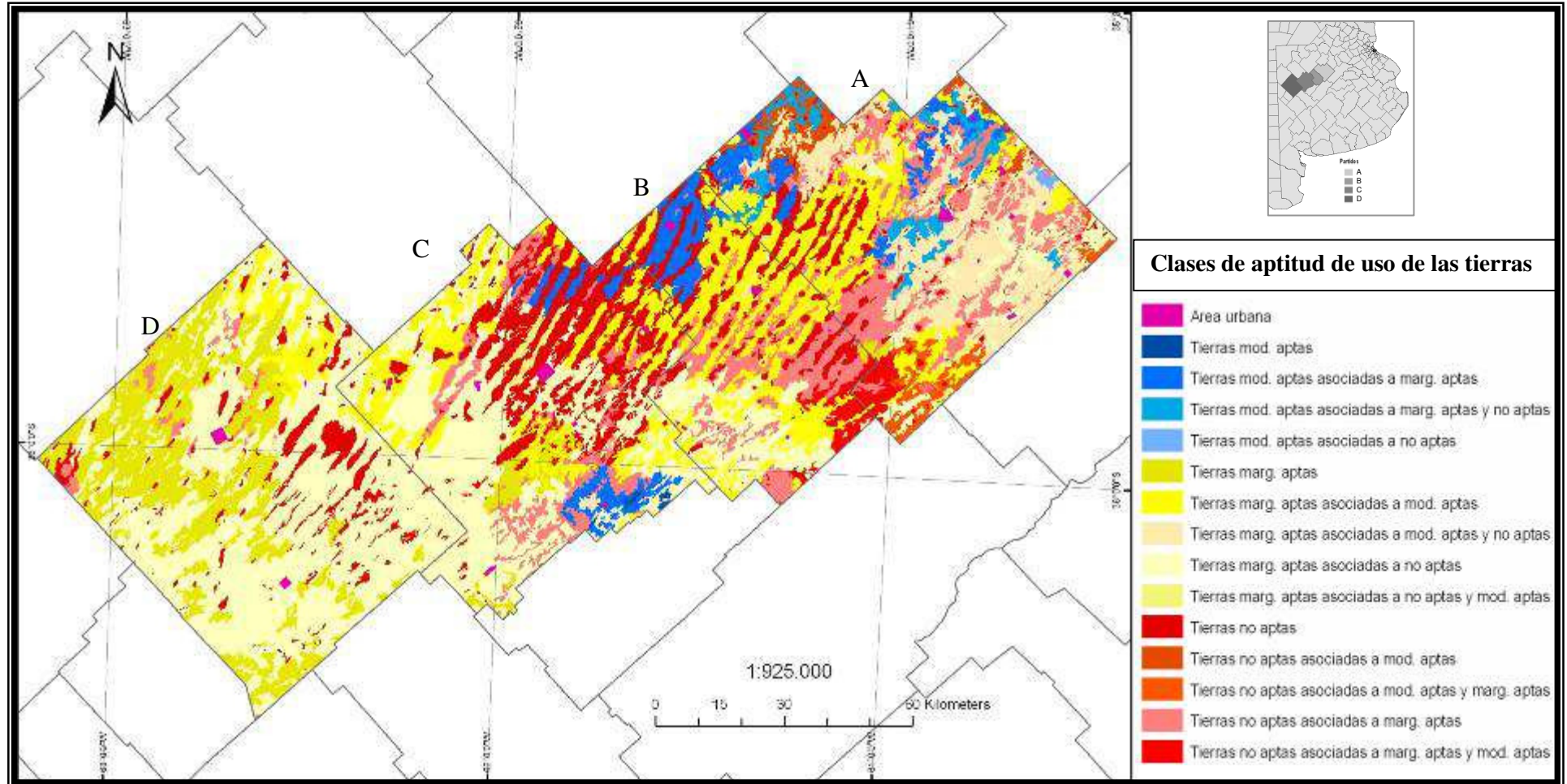


Figura 2.29: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz bajo el escenario climático PH 50, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)

-Resultados del modelo experto bajo el escenario climático PH 80

En el escenario climático PH 80 las lluvias son altas en el período crítico y durante todo el ciclo del cultivo de maíz, para el período climático posterior al cambio abrupto. Para el área de estudio, cuatro de cada cinco años las precipitaciones durante el ciclo del cultivo son menores a 630 mm y en el período crítico menores a 163 mm.

En la Figura 2.30 se presenta la distribución espacial de las distintas unidades cartográficas de aptitud de uso de las tierras, según el modelo experto.

En el escenario más favorable para el cultivo de maíz, PH 80, se presentan las mejores aptitudes de uso en el área bajo estudio. Las mayores precipitaciones y su distribución permiten que el cultivo cubra las demandas hídricas. En este sentido, la disponibilidad de agua esta solamente condicionada por las características del suelo. La presencia de otras limitantes como ser la alcalinidad sigue limitando la posibilidad de producir maíz en esas tierras como se aprecia en los escenarios anteriores. Aproximadamente el 62 % de la superficie de los partidos de Nueve de Julio, Carlos Casares y Trenque Lauquen presentan tierras muy aptas para el cultivo de maíz asociadas a otras aptitudes de tierras. Por otro lado, en el partido de Pehuajó, la superficie de tierras muy aptas como clase de aptitud predominante es del 53 %. Los partidos de Pehuajó y Trenque Lauque, presentan además tierras moderadamente aptas y marginales para el cultivo de maíz.

Las tierras no aptas como clase predominante en la unidad cartográfica, no varían la superficie total de ocupación en los partidos, pero si las aptitud de las tierras subordinadas (Cuadro 2.18).

En el Cuadro 2.18 se presentan la superficie de los partidos bajo estudio según las aptitudes de uso de las tierras para el TUT Maíz correspondiente a los escenarios climáticos después del cambio abrupto (PH).

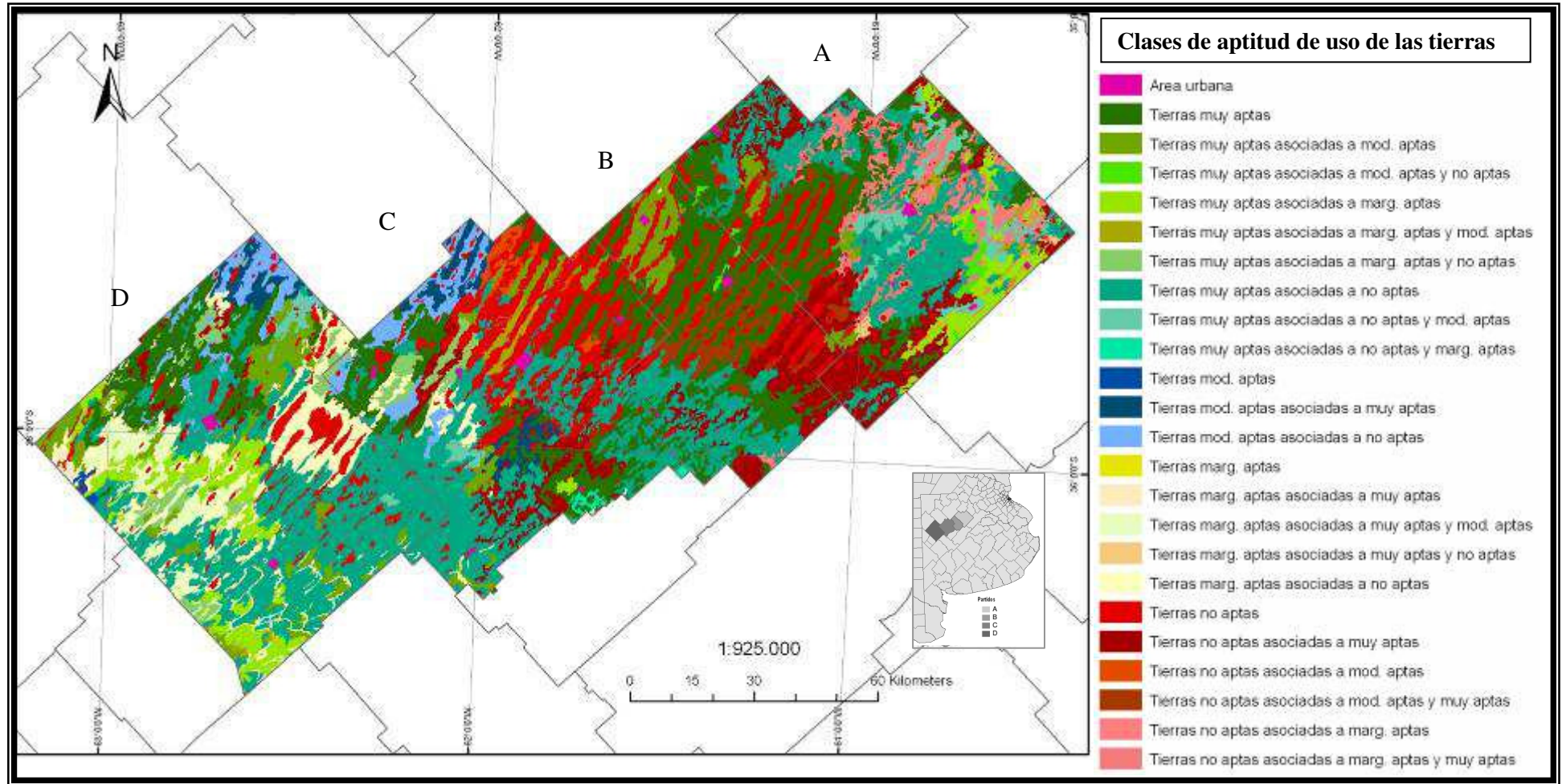


Figura 2.30: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz bajo el escenario climático PH 80, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)

Cuadro 2.18: Superficie de los partidos del área bajo estudio, según las aptitudes de uso de las tierras para el TUT Maíz correspondiente a los escenarios climáticos después del cambio abrupto (PH).

Escenario climático	PH 20				PH 50				PH 80			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Partidos	Sup km ² Sup (%)	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %
Tierras Urbanas	28,4 (0,7)	15,0 (0,6)	28,8 (0,6)	17,0 (0,3)	28,4 (0,7)	15,0 (0,6)	28,8 (0,6)	17,0 (0,3)	28,4 (0,7)	15,0 (0,6)	28,8 (0,6)	17,0 (0,3)
Tierras muy aptas									859,2 (20,0)	825,3 (32,8)	828,3 (18,3)	580,3 (10,6)
Tierras muy aptas asociadas a mod. aptas									89,3 (2,1)	198,0 (7,9)	156,3 (3,5)	433,3 (7,9)
Tierras muy aptas asociadas a mod. aptas y no aptas									64,3 (1,5)	9,9 (0,4)		
Tierras muy aptas asociadas a marg. aptas									276,2 (6,4)	13,0 (0,3)		461,0 (8,5)
Tierras muy aptas asociadas a marg. aptas y mod. aptas									45,2 (1,1)	67,2 (1,5)		14,4 (0,3)
Tierras muy aptas asociadas a marg. aptas y no aptas											139,1 (3,1)	185,0 (34,0)
Tierras muy aptas asociadas a no aptas									1105,9 (25,8)	480,4 (19,1)	1205,4 (26,7)	
Tierras muy aptas asociadas a no aptas y mod. aptas									228,7 (5,3)		36,3 (0,8)	78,8 (1,4)
Tierras muy aptas asociadas a no aptas y marg. aptas										1,2 (0,0)	29,8 (0,7)	
Tierras mod. aptas							15,6 (0,3)					18,7 (0,3)

Continuación Cuadro 2.18

Escenario climático	PH 20				PH 50				PH 80			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Partidos	Sup km ² Sup (%)	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %
Grados de aptitud												
Tierras mod. aptas asociadas a muy aptas											192,8 (4,3)	99,9 (1,8)
Tierras mod. aptas asociadas a marg. aptas					229,2 (5,3)	200,0 (7,9)	207,8 (4,6)					
Tierras mod. aptas asociadas a marg. aptas y no aptas					272,2 (6,4)	3,8 (0,2)						
Tierras mod. aptas asociadas a no aptas					16,2 (0,4)						259,1 (5,7)	217,0 (4,0)
Tierras marginalmente aptas					1 (0,4)	6,5 (0,3)	156,8 (3,5)	1503,5 (27,5)			1,6 (0,0)	13,2 (0,2)
Tierras marg. aptas asociadas a muy aptas										0,8 (0,0)		16,2 (0,3)
Tierras marg. aptas asociadas a muy aptas y mod. aptas											14,7 (0,3)	392,4 (7,2)
Tierras marg. aptas asociadas a muy aptas y no aptas									19,6 (0,5)			
Tierras marg. aptas asociadas a mod. aptas					702,3 (16,4)	816,8 (32,4)	797,1 (17,6)	255,1 (4,7)				
Tierras marg. aptas asociadas a mod. y no aptas					1104,0 (25,8)	13,2 (0,5)	13,0 (0,3)					
Tierras marg. aptas asociadas a no aptas					321,6 (7,5)	474,5 (18,8)	1788,7 (39,6)	3227,1 (59,0)			104,2 (2,3)	653,5 (12,0)
Tierras marg. aptas asociadas a no aptas y mod. aptas					25,3 (0,6)		67,2 (1,5)					
Tierras no aptas					304,8 (7,1)	380,2 (15,1)	1020,8 (22,6)	379,9 (6,9)	304,8 (7,1)	369,5 (14,7)	1019,2 (22,5)	352,3 (6,4)

Continuación Cuadro 2.18

Escenario climático	PH 20				PH 50				PH 80			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Partidos	Sup km ²	Sup km ²	Sup km ²	Sup km ²	Sup km ²	Sup km ²	Sup km ²	Sup km ²	Sup km ²	Sup km ²	Sup km ²	Sup km ²
Grados de aptitud	Sup (%)	Sup %	Sup %	Sup %	Sup %	Sup %	Sup %	Sup %	Sup %	Sup %	Sup %	Sup %
Tierras no aptas asociadas a muy aptas									635,8 (14,8)	358,6 (14,2)	328,8 (7,3)	69,1 (1,3)
Tierras no aptas asociadas a mod. aptas					187,8 (4,4)					0,7 (0,0)	87,5 (1,9)	
Tierras no aptas asociadas a mod. aptas y muy aptas									95,6 (2,2)	248,5 (9,9)	8,3 (0,2)	9,4 (0,2)
Tierras no aptas asociadas a mod. aptas y marg. aptas					169,6 (4,0)							
Tierras no aptas asociadas a marg. aptas					830,1 (19,4)	502,7 (20,0)	424,5 (9,4)	85,3 (1,6)	38,3 (0,9)	10,7 (0,4)		
Tierras no aptas asociadas a marg. aptas y muy aptas									494,4 (11,5)			
Tierras no aptas asociadas a marg. aptas y mod. aptas					76,6 (1,8)	105,9 (4,2)						

Referencias: PH 20, PH 50, PH 80 período posterior al cambio abrupto con probabilidad acumulada de ocurrencia del 20, 50 y 80 % respectivamente; A, Nueve de Julio; B, Carlos Casares; C, Pehuajó y D, Trenque Lauquen; Sup, superficie del partido; mod, moderadamente, marg, marginalmente.

-Resultados del modelo experto bajo el escenario climático PS 20

El escenario climático PS 20 corresponde a lluvias muy bajas en el período crítico y durante todo el ciclo del cultivo de maíz, para el período climático anterior al cambio abrupto. Según el análisis de las series climáticas antes del cambio abrupto, una vez cada cinco años las precipitaciones durante el ciclo del cultivo son menores a 268 mm y en el período crítico menores a 58 mm.

En la Figura 2.31 se presenta la distribución espacial de las distintas unidades cartográficas de aptitud de uso de las tierras, según el modelo experto.

Los escenarios PH 20 y PS 20, se mencionan separados ya que corresponden a la probabilidad de ocurrencia de uno cada cinco años, según el período climático analizado. Las salidas de los modelos bajo estos escenarios reflejan la limitante climática, independientemente de las características edáficas, clasificando a toda el área bajo estudio, como no apta para el cultivo de maíz.

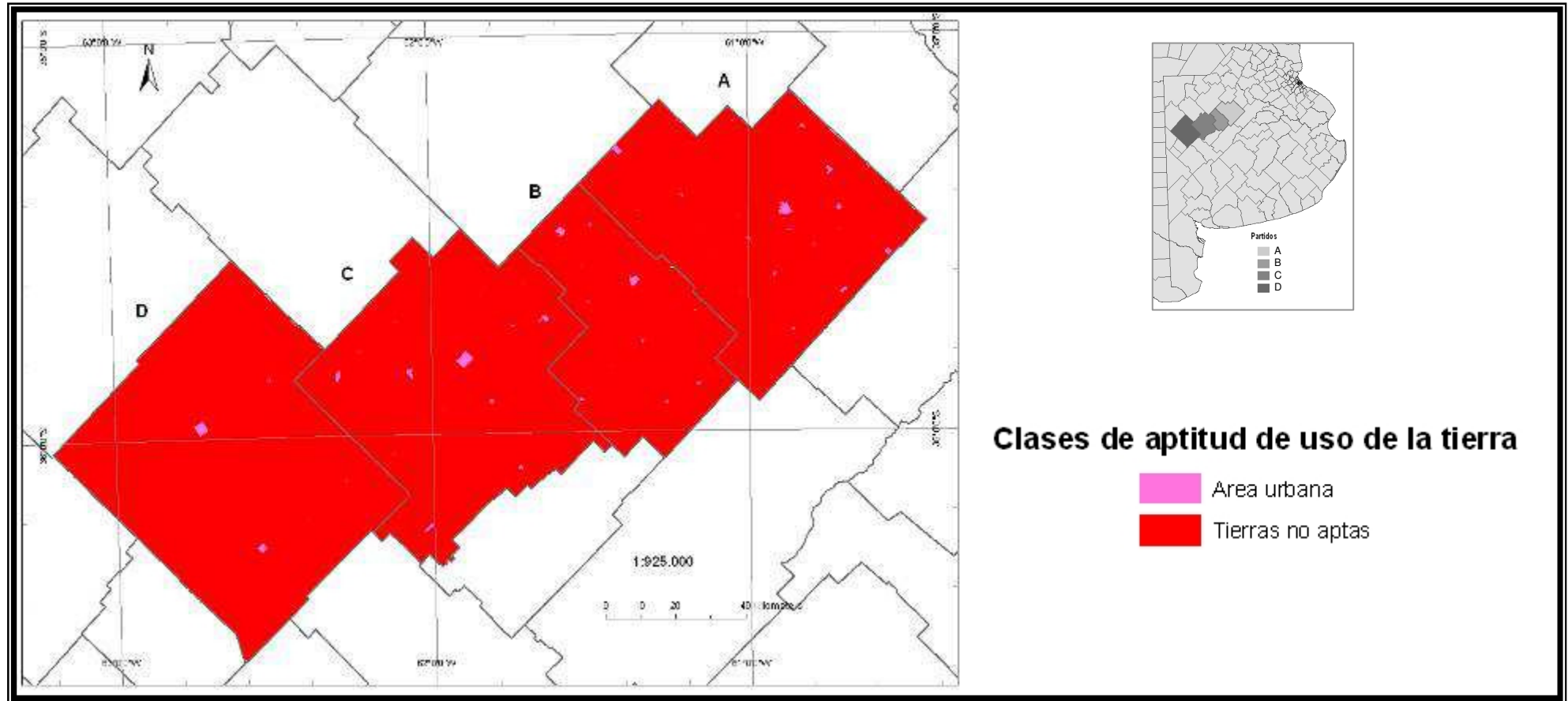


Figura 2.31: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz bajo el escenario climático PS 20, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)

-Resultados del modelo experto bajo el escenario climático PS 50

El escenario climático PS 50 corresponde a lluvias bajas en el período crítico y durante todo el ciclo del cultivo de maíz, para el período climático anterior al cambio abrupto. Según el análisis de las precipitaciones para este período, una vez cada dos años las precipitaciones durante el ciclo del cultivo son menores a 348 mm y en el período crítico menores a 80 mm.

En la Figura 2.32 se presenta la distribución espacial de las distintas unidades cartográficas de aptitud de uso de las tierras, según el modelo experto.

El escenario PS 50, las unidades de tierras son clasificadas principalmente en las categorías marginalmente aptas y no aptas y sus combinaciones. La baja cantidad de clases de aptitud y combinaciones muestran que los requisitos del cultivo no son cubiertos en gran medida, por la disponibilidad de agua (Cuadro 2.19).

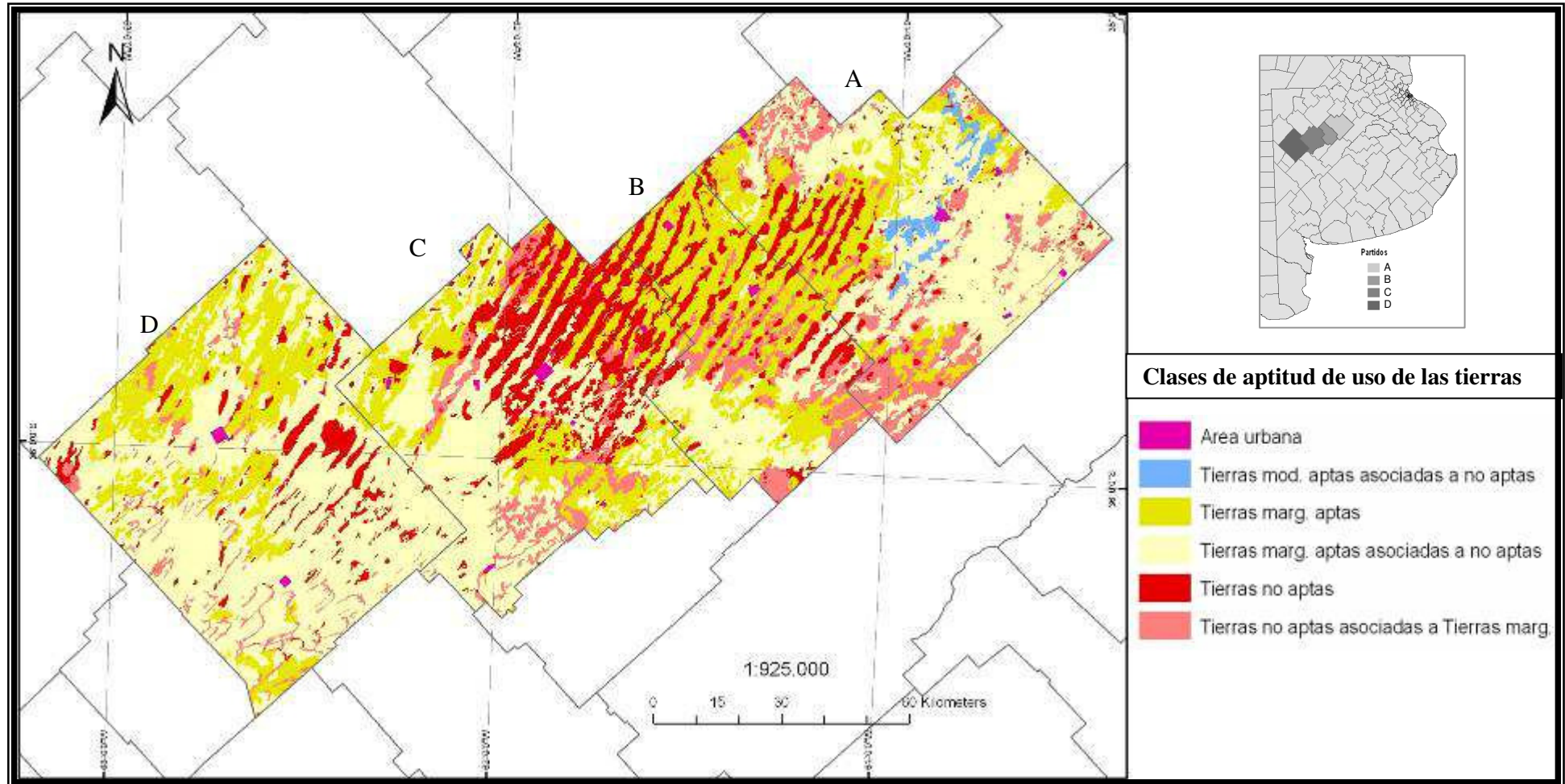


Figura 2.32: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz bajo el escenario climático PS 50, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)

-Resultados del modelo experto bajo el escenario climático PS 80

El escenario climático PS 80 corresponde a lluvias medias en el período crítico y durante todo el ciclo del cultivo de maíz, para el período climático anterior al cambio abrupto. Según el análisis las series de precipitaciones para el periodo anterior cuatro de cada cinco años, las precipitaciones durante el ciclo del cultivo son menores a 462 mm y en el período crítico menores a 131 mm.

En la Figura 2.33 se presenta la distribución espacial de las distintas unidades cartográficas de aptitud de uso de las tierras, según la salida del modelo experto.

En el escenario PS 80, las tierras se clasifican para el cultivo de maíz en moderadamente aptas y sus combinaciones como clase de aptitud dominante en los cuatro partidos; ocupando en Nueve de Julio el 62,9 %, en Carlos Casares el 60,8 %, Pehuajó el 65,4 % y en Trenque Lauquen el 72,3 % de su superficie (Cuadro 3.19).

En el Cuadro 2.19 se presenta la superficie de los partidos del área de estudio, según las aptitudes de uso de las tierras para el TUT Maíz correspondiente a los escenarios climáticos antes del cambio abrupto (PS).

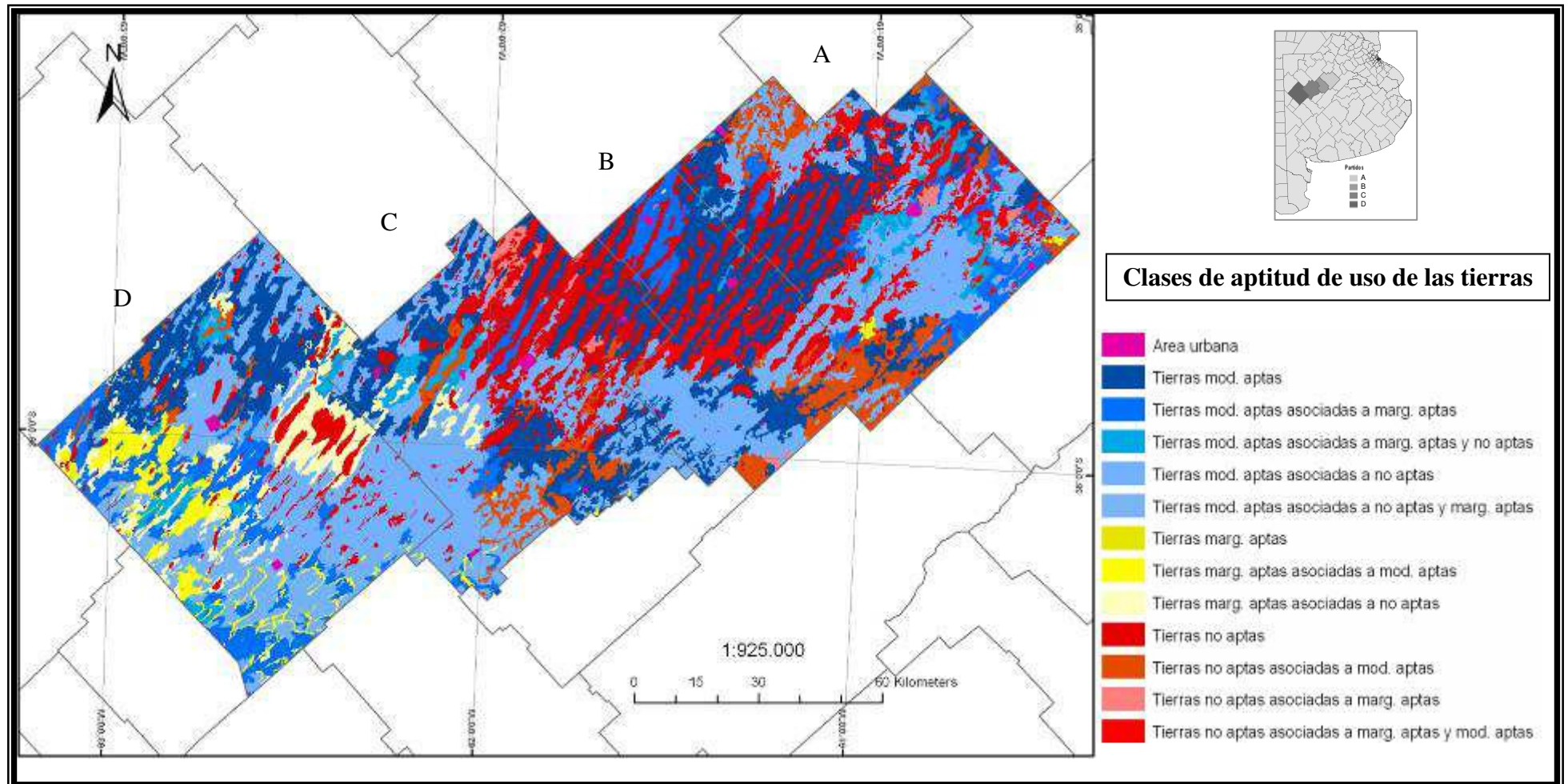


Figura 2.33: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz bajo el escenario climático PS 80, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)

Continuación Cuadro 2.19

Escenario climático	PS 20				PS 50				PS 80			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Partidos	Sup km ²	Sup km ²	Sup km ²	Sup km ²	Sup km ²	Sup km ²	Sup km ²	Sup km ²	Sup km ²	Sup km ²	Sup km ²	Sup km ²
Grados de aptitud	Sup (%)	Sup %	Sup %	Sup %	Sup %	Sup %	Sup %	Sup %	Sup %	Sup %	Sup %	Sup %
Tierras no aptas asociadas a mod. aptas									635,8 (14,8)	358,6 (14,2)	328,8 (7,3)	78,5 (1,4)
Tierras no aptas asociadas a marg. aptas					734,2 (17,1)	470,5 (18,7)	687,0 (15,2)	242,7 (4,4)	38,3 (0,9)	11,5 (0,5)	87,5 (1,9)	
Tierras no aptas asociadas a marg. aptas y mod. aptas									590,0 (13,8)	248,5 (9,9)	8,3 (0,2)	

Referencias: PS 20, PS 50, PS 80 período anterior al cambio abrupto con probabilidad acumulada de ocurrencia del 20, 50 y 80 % respectivamente; A, Nueve de Julio; B, Carlos Casares; C, Pehuajó y D, Trenque Lauquen; Sup, superficie del partido; mod, moderadamente, marg, marginalmente.

2.3.3.3.3 Tipo de utilización de las tierras: cultivo de trigo

- Resultados del modelo experto bajo el escenario climático PH 20

El escenario climático PH 20 corresponde a lluvias medias en el período crítico y durante todo el ciclo del cultivo de trigo, para el período climático posterior al cambio abrupto. Según el análisis de las series climáticas, una vez cada cinco años (20 %), las precipitaciones durante el ciclo del cultivo son menores a 263 mm y en el período crítico menores a 69 mm.

En la Figura 2.34 se presenta la distribución espacial de las distintas unidades cartográficas de aptitud de uso de las tierras, según el modelo experto.

Las tierras clasificadas como moderadamente aptas para el cultivo de trigo y otras tierras clasificadas en moderadamente apta como clase predominante en la unidad cartográfica, representan el 62,7 % del partido de Nueve de Julio, el 60,2 % de Carlos Casares, el 67 % de Pehuajó y el 91 % de Trenque Lauquen. Bajo este escenario, las tierras no aptas ocupan 7,1 %, 14,7 %, el 22,6 % y el 6,9 % de la superficie de sus respectivos partidos, según la transecta de este a oeste (Cuadro 2.20)

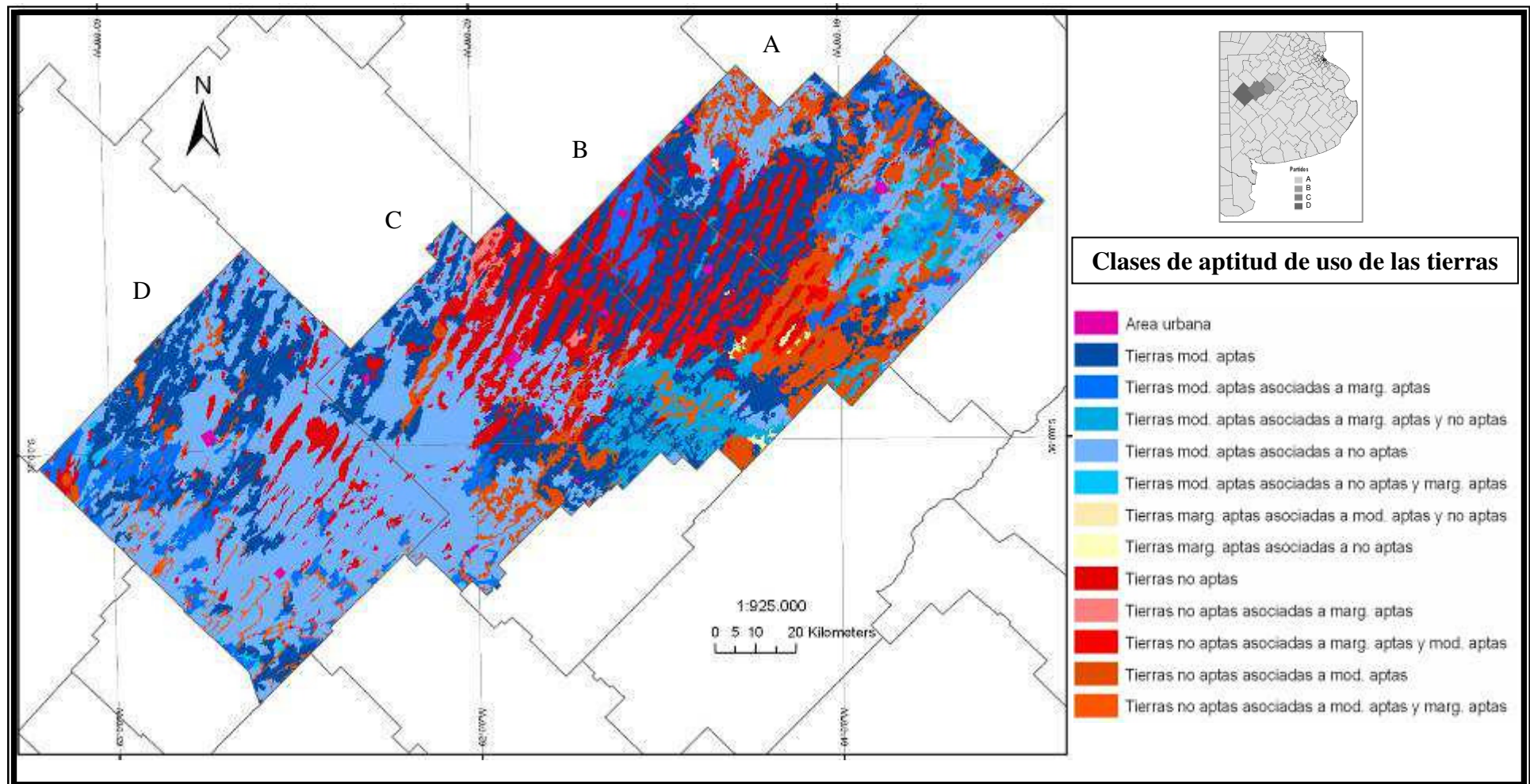


Figura 2.34: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de trigo bajo el escenario climático PH 20, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)

- Resultados del modelo experto bajo el escenario climático PH 50

El escenario climático PH 50 corresponde a lluvias altas en el período crítico y durante todo el ciclo del cultivo de trigo, para el período climático posterior al cambio abrupto. Una vez cada dos años, las precipitaciones durante el ciclo del cultivo son menores a 352 mm y en el período crítico menores a 98 mm, en el período posterior al cambio abrupto.

En la Figura 2.35 se presenta la distribución espacial de las distintas unidades cartográficas de aptitud de uso de las tierras, según el modelo experto

La mayor superficie de ocupación en los cuatro partidos está representada por tierras muy aptas asociadas a otras tierras de aptitudes subordinadas, como clase predominante en las unidades cartográficas, bajo situaciones hídricas favorables (PH 50). El partido de Trenque Lauquen además posee el 7,9 % de su superficie con tierras clasificadas en moderadamente aptas y asociadas a tierras muy aptas y 12 % asociada a tierras no aptas. Las tierras clasificadas en marginalmente aptas para el cultivo de trigo poseen escasa representación en el área de estudio. Las tierras no aptas como clase predominante en las unidades cartográficas, están asociadas a tierras muy aptas y moderadamente aptas (Cuadro 2.20)

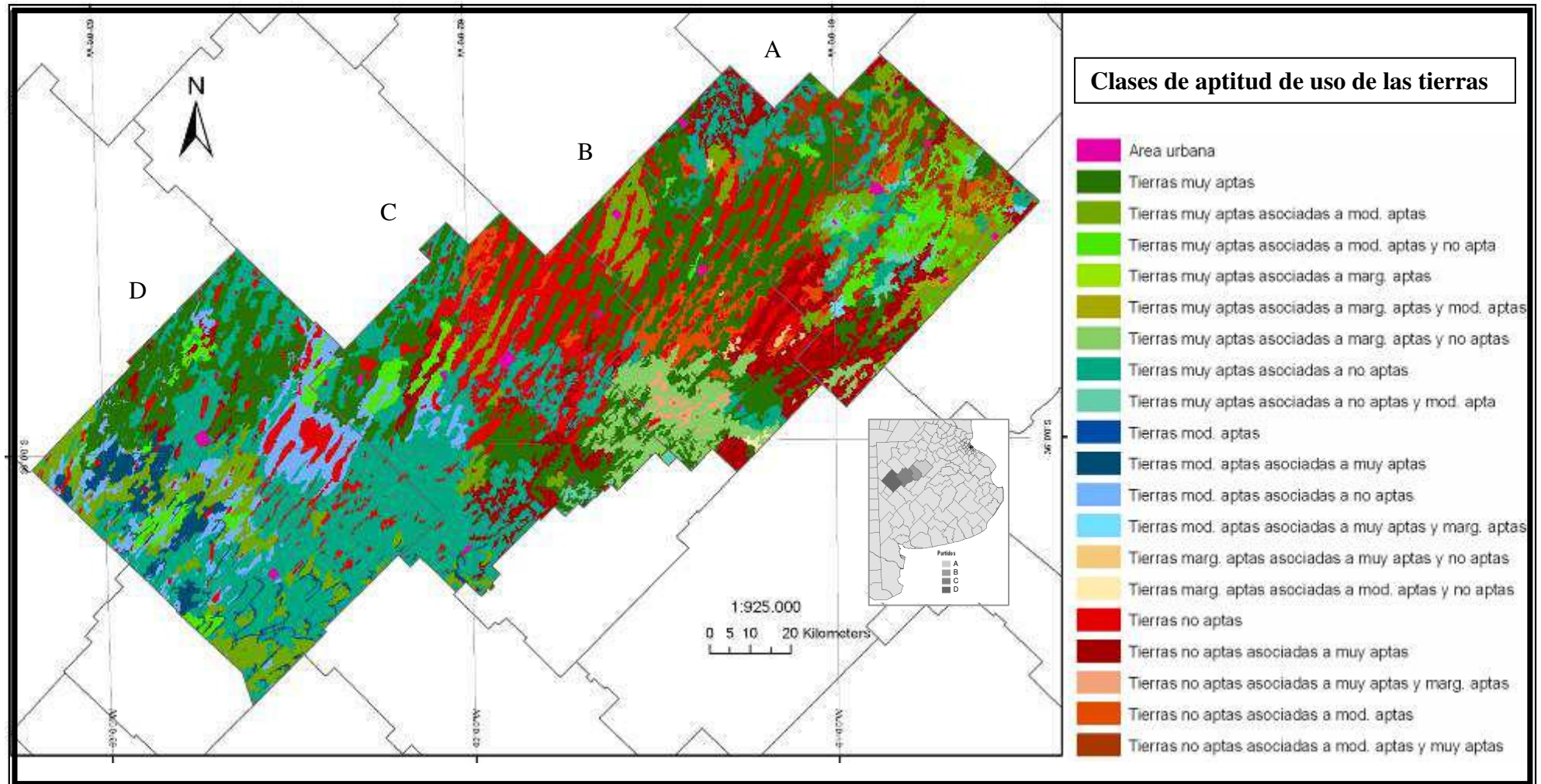


Figura 2.35: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de trigo bajo el escenario climático PH 50, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)

Resultados del modelo experto bajo el escenario climático PH 80

El escenario climático PH 80 corresponde a lluvias muy altas en el período crítico y lluvias altas durante todo el ciclo del cultivo de trigo, para el período climático posterior al cambio abrupto. Según el análisis de las precipitaciones para el área de estudio, cuatro de cada cinco años, las precipitaciones durante el ciclo del cultivo son menores a 455 mm y en el período crítico menores a 139 mm.

En la Figura 2.36 se presenta la distribución espacial de las distintas unidades cartográficas de aptitud de uso de las tierras, según el modelo experto

Este escenario al igual que el PH 50, resulta favorable para el desarrollo del cultivo de trigo. En este sentido, las tierras del área de estudio, presentan las mismas clasificaciones de aptitud que en el escenario anterior de acuerdo a las características de las unidades cartográficas, con excepción de una pequeña superficie que bajo este escenario se clasifica en tierras muy aptas, ubicada al noroeste del partido de Trenque Lauquen (Cuadro 2.20).

En el Cuadro 2.20 se presenta la superficie de los partidos del área de estudio, según las aptitudes de uso de las tierras para el TUT trigo correspondiente a los escenarios climáticos después del cambio abrupto (PH).

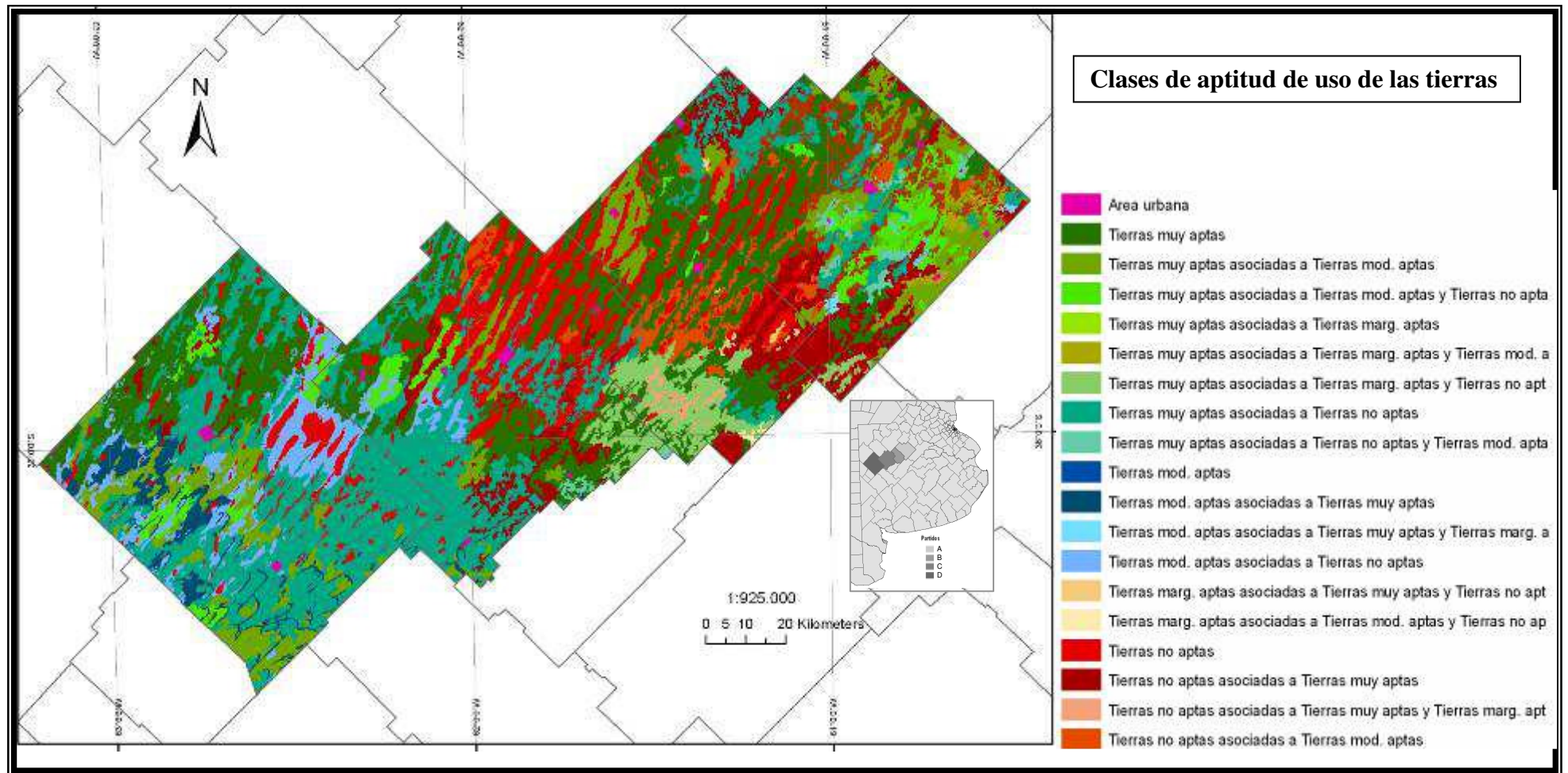


Figura 2.36: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de trigo bajo el escenario climático PH 80, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)

Cuadro 2.20: Superficie de los partidos del área bajo estudio, según las aptitudes de uso de las tierras para el TUT Trigo correspondiente a los escenarios climáticos después del cambio abrupto (PH).

Escenario climático	PH 20				PH 50				PH 80			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Partidos	Sup km ² Sup (%)	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %
Tierras Urbanas	28,4 (0,7)	15,0 (0,6)	28,8 (0,6)	17,0 (0,3)	28,4 (0,7)	15,0 (0,6)	28,8 (0,6)	17,0 (0,3)	28,4 (0,7)	15,0 (0,6)	28,8 (0,6)	17,0 (0,3)
Tierras muy aptas					859,2 (20,0)	825,3 (32,8)	1105,1 (24,5)	870,0 (15,9)	859,2 (20,0)	825,3 (32,8)	1105,1 (24,5)	870,0 (15,9)
Tierras muy aptas asociadas a mod. aptas					622,8 (14,5)	198,0 (7,9)	152,4 (3,4)	737,5 (13,5)	622,8 (14,5)	198,0 (7,9)	152,4 (3,4)	737,5 (13,5)
Tierras muy aptas asociadas a mod. aptas y no aptas					311,6 (7,3)	9,9 (0,4)	139,1 (3,1)	185,0 (3,4)	311,6 (7,3)	9,9 (0,4)	139,1 (3,1)	185,0 (3,4)
Tierras muy aptas asociadas a marg. aptas						3,3 (0,1)				3,3 (0,1)		
Tierras muy aptas asociadas a marg. aptas y mod. aptas					81,3 (1,9)				81,3 (1,9)			
Tierras muy aptas asociadas a marg. aptas y no aptas					41,9 (1,0)	402,8 (16,0)	139,6 (3,1)		41,9 (1,0)	402,8 (16,0)	139,6 (3,1)	
Tierras muy aptas asociadas a no aptas					619,9 (14,5)	74,3 (3,0)	1361,3 (30,1)	2143,9 (39,2)	619,9 (14,5)	74,3 (3,0)	1361,3 (30,1)	2143,9 (39,2)
Tierras muy aptas asociadas a no aptas y mod. aptas					132,1 (3,1)	1,2 (0,0)	29,8 (0,7)	17,8 (0,3)	132,1 (3,1)	1,2 (0,0)	29,8 (0,7)	17,8 (0,3)
Tierras mod. aptas	859,2 (20,0)	825,3 (32,8)	1105,1 (24,4)	1261,4 (23,1)			1,6 (0,0)	13,2 (0,2)			1,6 (0,0)	13,2 (0,2)
Tierras mod. aptas asociadas a muy aptas						0,8 (0,0)	14,7 (0,3)	408,6 (7,5)		0,8 (0,0)	14,7 (0,3)	408,6 (7,5)
Tierras mod. aptas asociadas a muy aptas y marg. aptas					19,6 (0,5)				19,6 (0,5)			

Continuación Cuadro 2.20

Escenario climático	PH 20				PH 50				PH 80			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Partidos	Sup km ² Sup (%)	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %
Tierras no aptas asociadas a marg. aptas		0,7 (0,0)	87,5 (2,0)									
Tierras no aptas asociadas a marg. aptas y mod. aptas	95,6 (2,2)	248,5 (9,9)	8,3 (0,2)									

Referencias: PH 20, PH 50, PH 80 período posterior al cambio abrupto con probabilidad acumulada de ocurrencia del 20, 50 y 80 % respectivamente; A, Nueve de Julio; B, Carlos Casares; C, Pehuajó y D, Trenque Lauquen; Sup, superficie del partido; mod, moderadamente, marg, marginalmente.

- Resultados del modelo experto bajo el escenario climático PS 20

El escenario climático PS 20 corresponde a lluvias bajas en el período crítico y durante todo el ciclo del cultivo de trigo, para el período climático anterior al cambio abrupto. Según el análisis de las series de precipitaciones, una vez cada cinco años, las lluvias durante el ciclo del cultivo son menores a 224 mm y en el período crítico menores a 37 mm.

En la Figura 2.37 se presenta la distribución espacial de las distintas unidades cartográficas de aptitud de uso de las tierras, según el modelo experto.

En el escenario PS 20 la disponibilidad de agua resulta limitante para el cultivo de trigo, hallándose tierras de aptitud marginal y tierras no aptas con sus respectivas combinaciones, como clases dominantes en el área de estudio. La totalidad de la superficie del partido de Trenque Lauquen (95 %) se caracteriza como no apta para el cultivo de trigo, debido a la baja retención de agua por el suelo, que imposibilita la producción del cultivo, bajo este escenario (Cuadro 2.21).

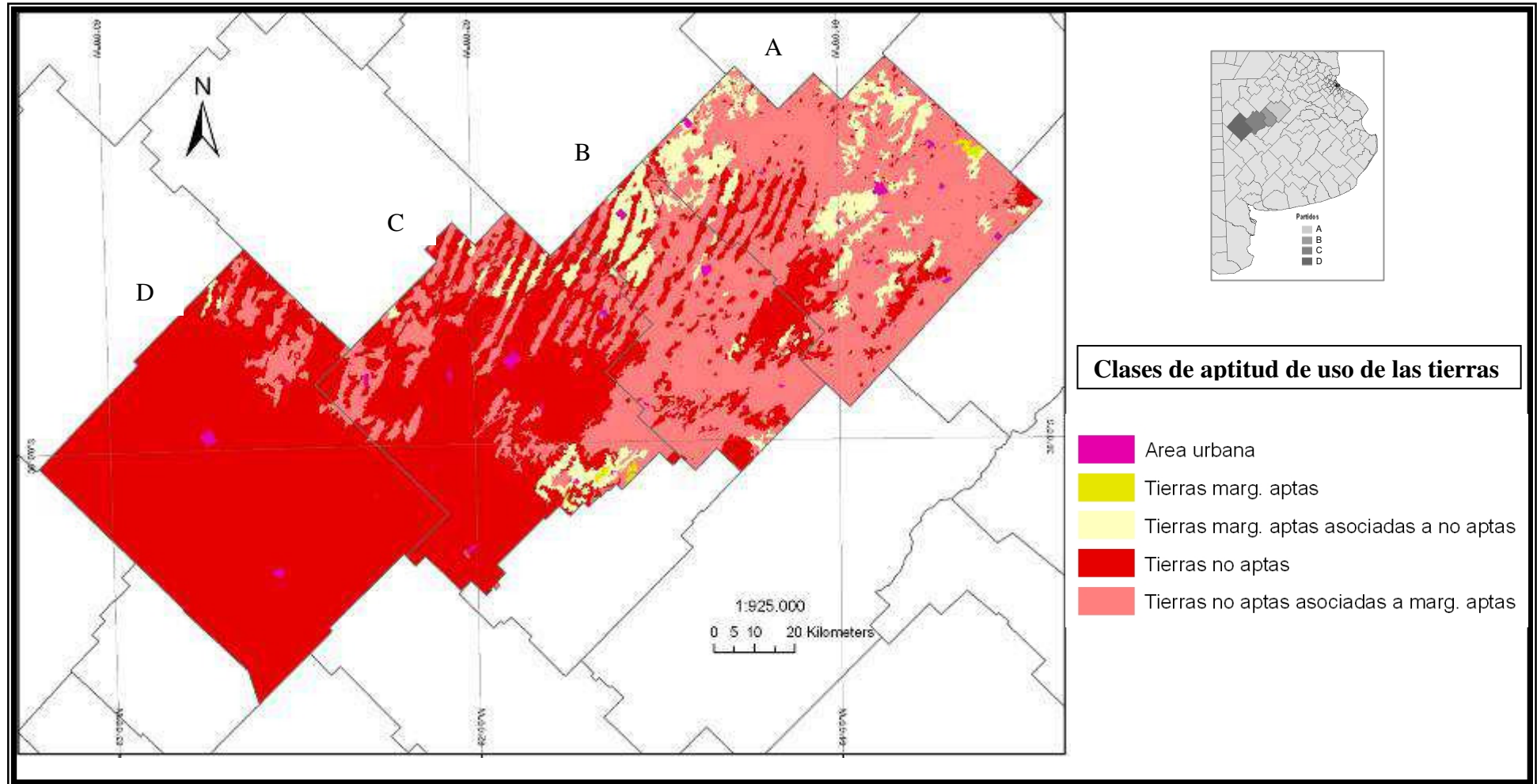


Figura 2.37: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de trigo bajo el escenario climático PS20, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)

- Resultados del modelo experto bajo el escenario climático PS 50

El escenario climático PS 50 corresponde a lluvias medias en el período crítico y durante todo el ciclo del cultivo de trigo, para el período climático anterior al cambio abrupto. Según el análisis integrado de los cuatro partidos del oeste de Buenos Aires, una vez cada dos años, las precipitaciones durante el ciclo del cultivo son menores a 298 mm y en el período crítico menores a 72 mm.

Este escenario climático se corresponde con la salida del modelo de TUT trigo para el período húmedo con 20 por ciento de probabilidad acumulada (Cuadro 2.21).

En la Figura 2.38 se presenta la distribución espacial de las distintas unidades cartográficas de aptitud de uso de las tierras, según el modelo experto

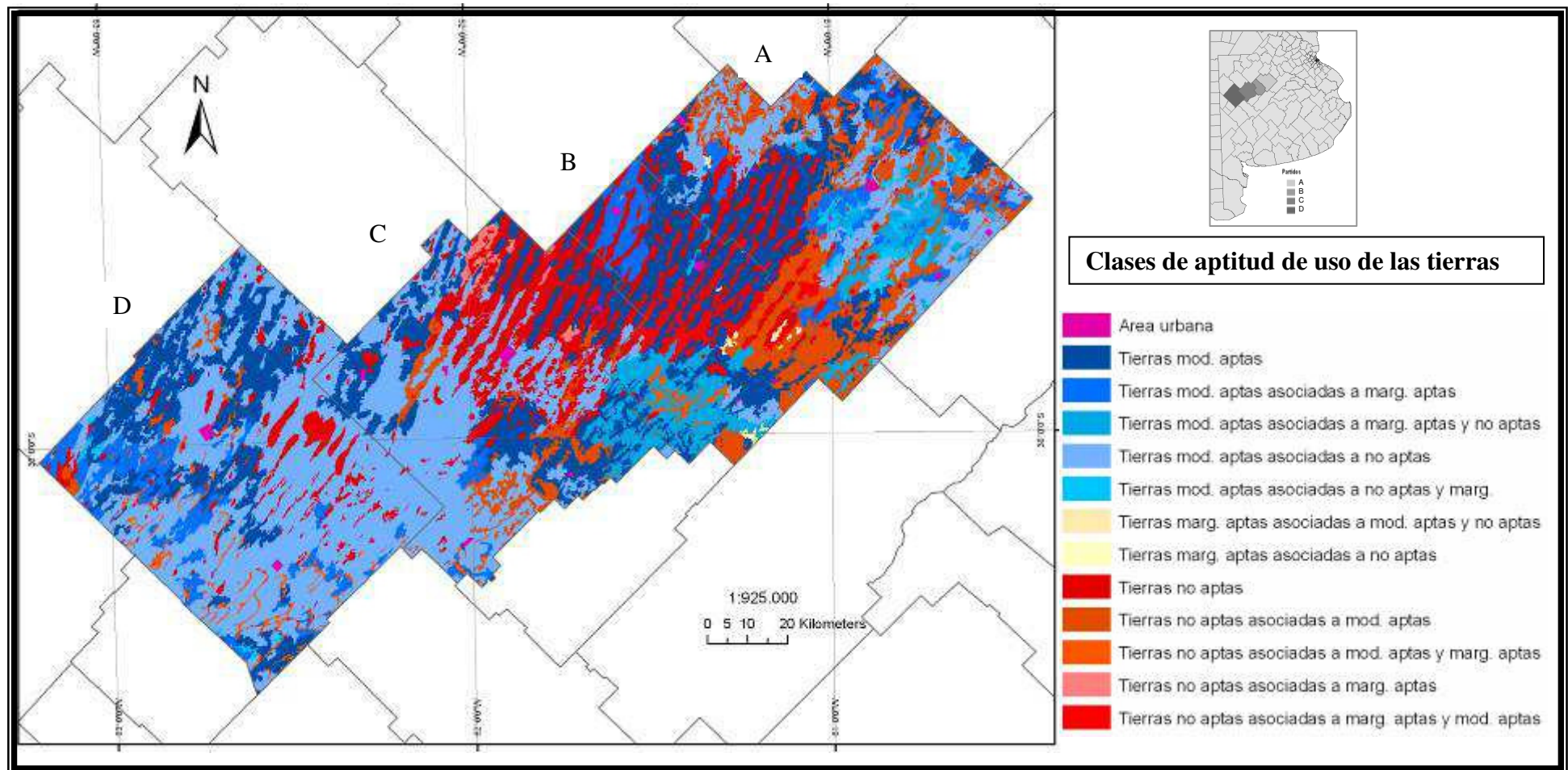


Figura 2.38: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de trigo bajo el escenario climático PS50, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)

- Resultados del modelo experto bajo el escenario climático PS 80

El escenario climático PS 80 corresponde a lluvias altas en el período crítico y durante todo el ciclo del cultivo de trigo, para el período climático anterior al cambio abrupto. Según el análisis de las precipitaciones, cuatro de cada cinco años, las precipitaciones durante el ciclo del cultivo son menores a 405 mm y en el período crítico menores a 115 mm.

Este escenario climático se corresponde con la salida del modelo de TUT trigo para el periodo húmedo con 50 por ciento de probabilidad acumulada (Cuadro 3.21).

En la Figura 2.39 se presenta la distribución espacial de las distintas unidades cartográficas de aptitud de uso de las tierras, según el modelo experto

En el Cuadro 2.21 se observa la superficie de los partidos, según las aptitudes de uso de las tierras para el TUT trigo correspondiente a los escenarios climáticos antes del cambio abrupto (PS).

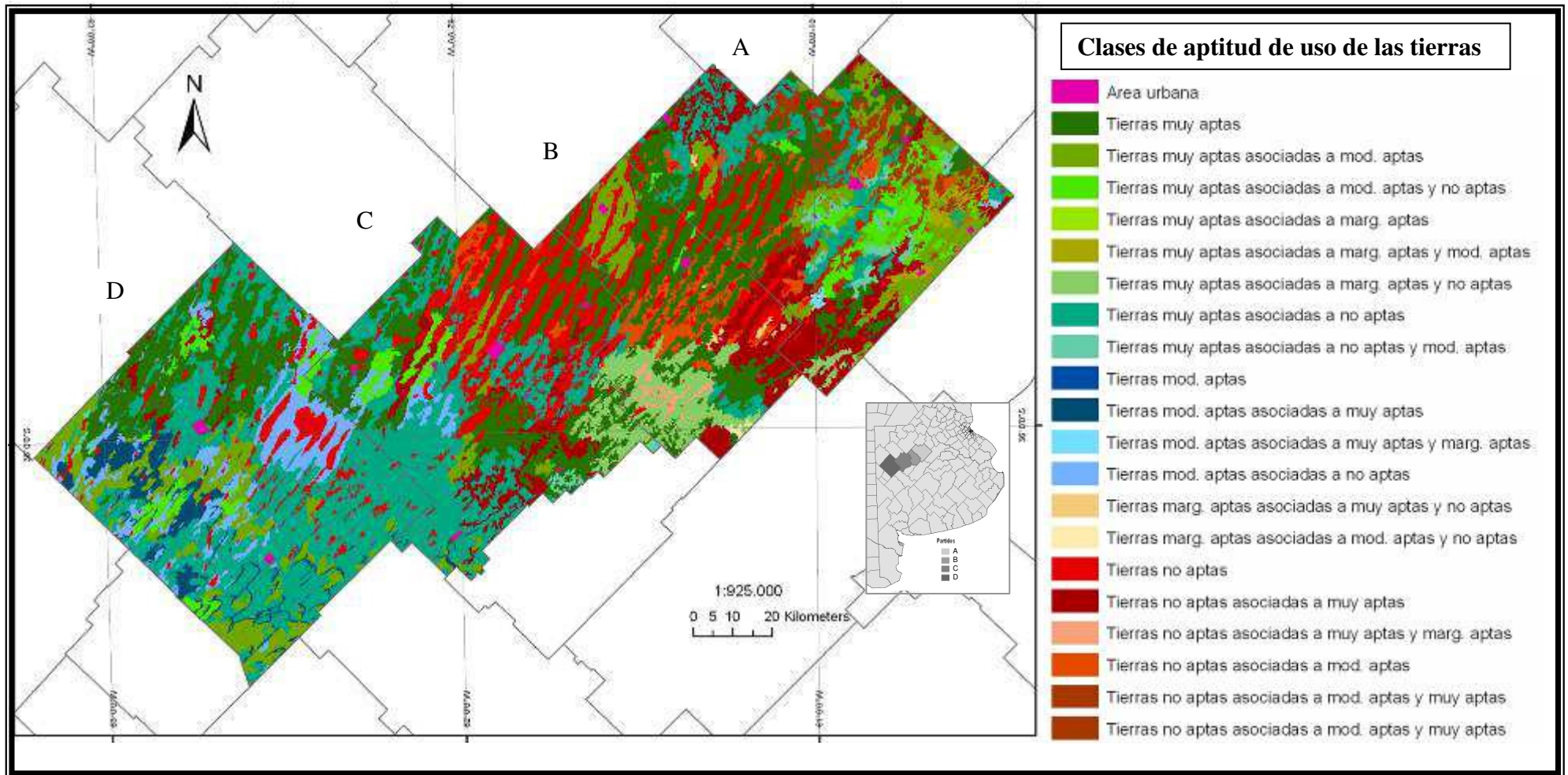


Figura 2.39: Patrón de distribución de la aptitud de uso de las tierras para el cultivo de trigo bajo el escenario climático PS80, en los partidos de Nueve de Julio (A), Carlos Casares (B), Pehuajó (C) y Trenque Lauquen (D)

Cuadro 2.21: Superficie de los partidos del área bajo estudio, según las aptitudes de uso de las tierras para el TUT Trigo correspondiente a los escenarios climáticos antes del cambio abrupto (PS).

Escenario climático	PS 20				PS 50				PS 80			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Partidos	Sup km ² Sup (%)	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %
Tierras Urbanas	28,4 (0,7)	15,0 (0,6)	28,8 (0,6)	17,0 (0,3)	28,4 (0,7)	15,0 (0,6)	28,8 (0,6)	17,0 (0,3)	28,4 (0,7)	15,0 (0,6)	28,8 (0,6)	17,0 (0,3)
Tierras muy aptas									859,2 (20,0)	825,3 (32,8)	1105,1 (24,4)	870,0 (15,9)
Tierras muy aptas asociadas a mod. aptas									622,8 (14,5)	198,0 (7,9)	152,4 (3,4)	737,5 (13,5)
Tierras muy aptas asociadas a mod. aptas y no aptas									311,6 (7,3)	9,9 (0,4)	139,1 (3,1)	185,0 (3,4)
Tierras muy aptas asociadas a marg. aptas										3,3 (0,1)		
Tierras muy aptas asociadas a marg. aptas y mod. aptas									81,3 (1,9)			
Tierras muy aptas asociadas a marg. aptas y no aptas									41,9 (1,0)	402,8 (16,0)	139,5 (3,1)	
Tierras muy aptas asociadas a no aptas									619,9 (14,5)	74,3 (3,0)	1361,3 (30,1)	2143,9 (39,2)
Tierras muy aptas asociadas a no aptas y mod. aptas									132,1 (3,1)	1,2 (0,0)	29,8 (0,7)	17,8 (0,3)
Tierras mod. aptas					859,2 (20,0)	825,3 (32,8)	1105,1 (24,4)	1261,4 (23,1)			1,6 (0,0)	13,2 (0,2)
Tierras mod. aptas asociadas a muy aptas										0,8 (0,0)	14,7 (0,3)	408,6 (7,5)
Tierras mod. aptas asociadas a muy aptas y no aptas									19,6 (0,5)			

Continuación Cuadro 2.21

Escenario climático	PS 20				PS 50				PS 80			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Partidos	Sup km ² Sup (%)	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %
Tierras mod. aptas asociadas a marg. aptas					402,3 (9,4)	201,2 (8,0)	72,2 (1,6)	497,1 (9,1)				
Tierras mod. aptas asociadas a marg. aptas y no aptas					353,4 (8,2)	412, (16,4)	139,5 (3,1)					
Tierras mod. aptas asociadas a no aptas					941,4 (22,0)	75,6 (3,0)	1714,6 (37,9)	3037,6 (55,6)			104,2 (2,3)	653,5 (12,0)
Tierras mod. aptas asociadas a no aptas y marg. aptas					132,1 (3,1)			32,2 (0,6)				
Tierras marginalmente aptas	16,2 (0,4)		15,6 (0,6)									
Tierras marg. aptas asociadas a mod. y no aptas					3,9 (0,1)	20,1 (0,8)				10,7 (0,4)		
Tierras marg. aptas asociadas a no aptas	659,8 (15,4)	244,6 (9,7)	223,5 (4,9)	12,6 (0,2)		10,7 (0,4)						
Tierras marg. aptas asociadas a no aptas y muy aptas									3,9 (0,1)	20,1 (0,8)		
Tierras no aptas	524,2 (12,2)	674,5 (26,8)	3155,4 (69,8)	5195,8 (95,0)	304,8 (7,1)	369,5 (14,7)	1020,8 (22,6)	379,9 (6,9)	304,8 (7,1)	369,5 (14,7)	1019,2 (22,5)	352,3 (6,4)
Tierras no aptas asociadas a muy aptas									631,9 (14,7)	280,4 (11,1)	328,8 (7,3)	69,1 (1,3)
Tierras no aptas asociadas a muy aptas y marg. aptas										58,0 (2,3)		
Tierras no aptas asociadas a mod. aptas					1164,7 (27,2)	281,2 (11,2)	328,8 (7,3)	85,3 (1,6)	133,9 (3,1)	249,3 (9,9)	95,8 (2,1)	

Continuación Cuadro 2.21

Escenario climático	PS 20				PS 50				PS 80			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Partidos	Sup km ² Sup (%)	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %	Sup km ² Sup %
Tierras no aptas asociadas a mod. aptas y muy aptas									494,4 (11,5)			
Tierras no aptas asociadas a mod. aptas y marg. aptas						58,0 (2,3)	14,7 (0,3)	157,4 (2,9)				
Tierras no aptas asociadas a marg. aptas	3057,0 (71,3)	1584,5 (62,9)	1096,9 (24,3)	242,4 (4,4)		0,7 (0,0)	87,5 (1,9)					
Tierras no aptas asociadas a marg. aptas y mod. aptas					95,6 (2,2)	248,5 (9,9)	8,3 (0,2)					

Referencias: PS 20, PS 50, PS 80 período anterior al cambio abrupto con probabilidad acumulada de ocurrencia del 20, 50 y 80 % respectivamente; A, Nueve de Julio; B, Carlos Casares; C, Pehuajó y D, Trenque Lauquen; Sup, superficie del partido; mod, moderadamente, marg, marginalmente.

Los resultados de los modelos expertos correspondientes a los distintos TUTs y escenarios climáticos, determinaron una aptitud de uso variable de las unidades de tierras.

Estos resultados manifestaron la importancia de evaluar tipos de usos específicos, considerando los requerimientos de cada cultivo, a diferencia de las clasificaciones por capacidad de uso e índice de productividad.

La aptitud de uso de las tierras quedó determinada por la máxima limitación, o ley del mínimo, de las cualidades de la tierras: alcalinidad, salinidad, profundidad efectiva y por la disponibilidad de oxígeno, agua y nutrientes, a través de los arboles de decisión de la aptitud.

El aumento de las precipitaciones en el período posterior al cambio abrupto, principalmente en PH 50 y PH 80, resultó favorable para la producción de los tres cultivos analizados.

Los escenarios climáticos evidenciaron que en aquellas unidades de tierras, donde la principal limitante fue la disponibilidad de agua, establecida por la baja capacidad de almacenaje de los suelos y las bajas precipitaciones en el ciclo y en el periodo crítico, mejoraron la aptitud de uso al aumentar la oferta hídrica.

CAPÍTULO 3
DISCUSIÓN

3.1 Análisis de las precipitaciones

El análisis de las series temporales de las precipitaciones mediante la prueba de Pettitt identificó el año específico a partir del cual se produce un cambio abrupto en la serie de precipitaciones (1962, para Nueve de Julio y Trenque Lauquen y 1965 para Carlos Casares y Pehuajó). Esta situación permitió definir dos períodos diferentes: antes y después del cambio abrupto, en donde los incrementos en la precipitación anual fueron de 150 a 271 mm en el período posterior, según los partidos. Pérez y otros autores (2009) determinaron que el incremento en las precipitaciones ocurrió a partir de 1962 hasta 1980, con un umbral de significación variable de una localidad a otra, para distintos partidos del Oeste de la provincia de Buenos Aires.

Por otra parte, el análisis de tendencias según la prueba de Mann Kendall, determinó que existe una tendencia positiva en la precipitación anual. Este comportamiento en las precipitaciones también se identificó en distintos departamentos del Este de la provincia de La Pampa (Pérez et al. 2009).

3.1.1 Propuesta de escenarios climáticos

El patrón de distribución de las precipitaciones medias mensuales se presenta en el Gráfico 3.1, para el período anterior y posterior al cambio abrupto. Las precipitaciones son mínimas en los meses de invierno y máxima en los meses cálidos. Este incremento de las lluvias, concentrado en los meses de primavera-verano, incide principalmente en los cultivos de escarda. Contrariamente, los cultivos de grano fino fueron menos favorecidos por el incremento de las precipitaciones afectando solamente a una parte del ciclo. Los escenarios climáticos planteados para el desarrollo de los modelos expertos para distintos TUT revelan este comportamiento, al considerar las precipitaciones tanto en el ciclo del cultivo como en el período crítico.

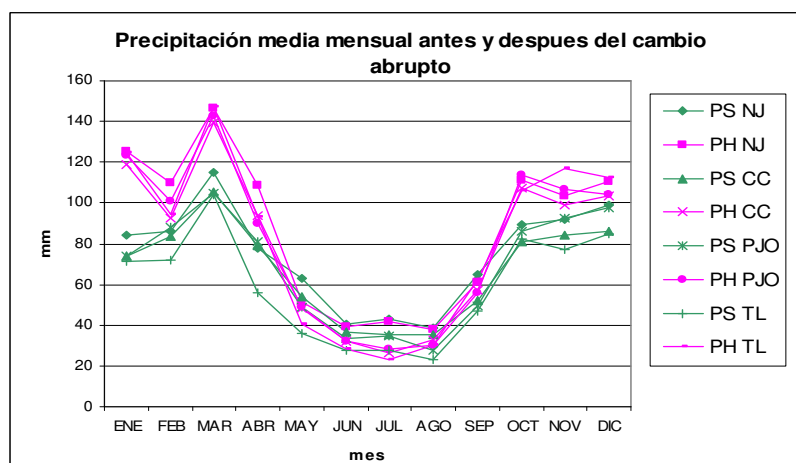


Figura 3.1: Precipitación media mensual antes (PS) y después (PH) del cambio abrupto para los partidos de Nueve de Julio (NJ), Carlos Casares (CC), Pehuajó (PJO) y Trenque Lauquen (TL).

3.2 Sistemas de evaluación de tierras

3.2.1 Capacidad de uso de las tierras

En el área de estudio, no existen tierras con ligeras o ninguna limitación para la producción de cultivos agrícolas (clase I). El porcentaje de tierras agrícolas de clases II a IV de capacidad de uso corresponde al 75,3 % de la superficie total bajo estudio, 1.255.380 has.

Las tierras de mayor capacidad agrícola regional, clase II, se encuentran en los partidos de Nueve de Julio y Carlos Casares, ocupando una superficie de 25.728,6 has y 19.995,4 has respectivamente. En el partido de Pehuajó, las tierras agrícolas (II a IV) ocupan el 65,9 % de su superficie (297.957 has). El partido de Trenque Lauquen es el que mayor superficie agrícola posee, 83,8 % y sus tierras se clasifican únicamente en las clases III y IV.

La proporción de lagunas en todos los partidos no supera el 7 %, y están representadas por el tipo de limitación *w* (exceso de agua).

En la región, las mayores limitaciones de las tierras identificadas son por exceso de agua en el perfil y la alcalinidad, *ws*, con valores de ocupación del 52,7 al 64,8 % según los partidos. El partido de Trenque Lauquen, es el que posee mayor cantidad de tierras afectadas por exceso de agua y alcalinidad en distinto grado de severidad, ocupando aproximadamente 301.790 has (55,2 % del partido) sin embargo en el partido de Nueve de Julio las limitaciones *ws* equivalen al 64,8 % del partido.

Las limitaciones por erosión eólica y baja capacidad de retención de humedad, *es*, afectan al 31,9 % de las tierras en el área de estudio. En el partido de Nueve de Julio, este tipo de limitación se presenta en el 24,5 % de las tierras y solamente en las clases III y IV. En el partido de Pehuajó, las tierras con limitaciones *es* ocupan el 29,5 % del partido. Por otra parte, el partido de Trenque Lauquen posee el mayor porcentaje (38,9 %) de las tierras con limitaciones *es* (erosión eólica y baja capacidad de retención de humedad) afectando una superficie de 213.070 has. En este partido, a diferencia de los restantes, se observa la presencia de dunas parabólicas cuyo tipo y grado de limitación es VI *es*.

Al analizar los patrones espaciales generados se observó con claridad la incidencia de la geomorfología regional de médanos longitudinales, sobre la distribución del tipo y grado de las limitaciones y la capacidad de uso de las tierras (Moscatelli, 1991).

Las tierras no agrícolas (clases VI a VIII) poseen una superficie aproximada de 416.400 has en el área de estudio siendo el partido de Pehuajó el que posee la mayor superficie 126.500 has, siguiendo el partido de Nueve de Julio con 109.700 has aproximadamente. Los partidos que poseen menor superficie no agrícola (clases VI a VIII) son los de Trenque Lauquen y Carlos Casares con un superficie de 59.600 has y 34.500 has respectivamente.

El análisis regional referido a la clasificación por capacidad de uso de las tierras no toma en cuenta la variación climática de las precipitaciones. Esta característica de la clasificación, y el fundamento de la misma, la capacidad y limitaciones permanentes, la acerca al concepto de fragilidad ambiental (Introducción).

Del mismo modo, los factores geosféricos asociados a las características y propiedades de los suelos tales como la textura (franco arenosas, areno franca, entre otras), la baja capacidad de retención de humedad, el drenaje (algo pobremente drenado y

pobremente drenado) y la presencia de alcalinidad en el perfil del suelo; gobiernan el tipo de limitación (*e*, *w* y *s*) y el grado de las mismas (I al VIII) en los suelos del área bajo estudio.

3.2.2 *Índice de productividad*

Para el cálculo del factor climático al carecer de información de temperatura media mensual para las series temporales anterior al cambio abrupto de las precipitaciones (1918 a 1962 y 1918 a 1965) y debido a que los registros de esta variable climática comenzaron en la región pampeana en la década del 50, se mantuvo la misma serie temporal de temperatura para ambos períodos considerando que no hubo cambios significativos en las temperaturas medias. En este sentido, Magrin y otros autores (2005), al comparar series temporales de temperatura (1950-1970 y 1970-1999) para la región pampeana, hallaron una disminución en la temperatura máxima anual (0,1 a 0,9 °C), con reducciones solamente significativas para el mes de enero y febrero ($p < 0,01$), e incrementos en la temperatura mínima media anual alcanzando un valor máximo de 1 °C, siendo los mismos significativos para los meses de diciembre y enero. Teniendo en cuenta estas consideraciones fue posible calcular el factor climático para el período anterior al cambio abrupto.

De acuerdo a los valores de I_m correspondientes al factor H del IP, se clasificó al clima del área bajo estudio según Thornthwaite en subhúmedo- húmedo y húmedo para el período actual (posterior al cambio abrupto); mientras que para el período anterior, los partidos de Carlos Casares, Pehuajó y Trenque Lauquen se clasificaron bajo el clima subhúmedo-seco con valores de $I_m < -20$.

Al comparar los valores de IP entre los dos períodos climáticos se observaron importantes cambios en las categorías de IP, debido a incrementos en los valores de IP de las UC, en el período más húmedo. En este último, los mayores valores de IP (rango ≥ 81 y 80-66) se presentaron en los partidos de Nueve de Julio y Carlos Casares; ocupando aproximadamente el 11,5 % de la superficie en el partido de Nueve de Julio y el 7,9 % en Carlos Casares. Esto coincide con la clasificación por capacidad de uso que encuentra en estos dos partidos, las mejores tierras agrícolas del área bajo estudio (tierras Clase II).

En el período posterior al cambio abrupto, los cuatro partidos se caracterizan por presentar como clase predominante a tierras de moderada capacidad productiva, correspondiendo los valores de IP al rango 65 - 51. El partido de Nueve de Julio presenta el 37,8 % de la superficie tierras con valores de IP menores a 35 mientras que el partido de Carlos Casares posee 42,8 % de las tierras con bajos valores de IP los cuales se corresponden con severas limitaciones edáficas que restringen la producción de los cultivos agrícolas, localizados en la parte sureste del partido.

El partido de Pehuajó concentra el 30 % de las tierras en el rango 50-36, y aproximadamente 36,9 % presenta tierras con valores de IP menores a 35, con un 5 % aproximadamente de lagunas permanentes. En el partido de Trenque Lauquen el 35,5 % de las tierras pertenece a la clase de moderadamente baja capacidad productiva con valores de IP en el rango 50 y 36. Por otra parte, las tierras de baja y muy baja capacidad productiva (valores de IP menores a 35), ocupan el 24,9 % en el partido de Trenque Lauquen.

En el período anterior al cambio abrupto, las mejores tierras presentaron valores de IP entre 80 y 66, para los partidos de Nueve de Julio (11,2 % de la superficie del partido), Carlos Casares (7,9 %) y en menor medida Pehuajó (0,1 %) y no se clasificaron tierras con valores de IP de ≥ 81 , a diferencia de lo que ocurre en el período posterior.

En Nueve de Julio, predominaron las tierras de moderada capacidad productiva con valores de IP entre 65-51. Este partido no presentó muchas diferencias en el porcentaje de ocupación según las categorías del IP respecto al período después del cambio abrupto, dado que el factor climático solamente se modificó un 5 %.

En los partidos de Carlos Casares y Trenque Lauquen la mayor proporción de tierras se clasificó como baja capacidad productiva con valores de IP entre 35-21, mientras que en Pehuajó predominaron las tierras de moderadamente baja capacidad productiva. El porcentaje de tierras con IP menores a 35 se incrementó en el partido de Carlos Casares un 15,2 %, en Pehuajó un 8,9 y en Trenque Lauquen un 30,3 %. Cabe destacar que el partido de Trenque Lauquen es el que presentó mayores cambios en los valores de IP luego del cambio abrupto de las precipitaciones. En este partido, bajo el período anterior solamente las tierras fueron clasificadas en tres categorías según los valores de IP: 50-36, 36-20 y < 20.

3.2.2.1 Efecto de la variación climática en el IP

La precipitación tiene un efecto marcado en la productividad de los cultivos agrícolas de secano, por lo tanto, una disminución en la precipitación o un aumento en la evapotranspiración, afectará la expresión del rendimiento condicionada por las características edáficas y de manejo (Otegui y López Pereyra 2008). Si bien para el área de estudio el cambio del régimen de precipitaciones no incidió en la clasificación de capacidad de uso, se observó que el cambio climático sí produjo cambios en el factor H del IP calculado a partir de las modificaciones locales y por ende en la productividad de las tierras.

El IP varió frente a cambios en la media de la precipitación histórica al considerar el índice global de Thornthwaite (Im) el cual incluye los resultados del balance hídrico (deficiencias y excesos) de acuerdo a una única capacidad de almacenamiento de agua en el suelo (suponiendo homogeneidad edáfica para toda el área de estudio). Los mayores cambios en los valores del factor climático para el cálculo del IP se presentaron en el partido de Trenque Lauquen con un aumento del 25 %.

3.2.3 Modelos expertos de aptitud de uso de las tierras

La evaluación de la aptitud para tipos de usos específicos mediante el desarrollo de sistemas expertos, considera los requerimientos de cada cultivo en particular, en función de las características y propiedades diagnósticas de las unidades de tierras denominadas cualidades

Los distintos escenarios climáticos propuestos para cada cultivo exhibieron aptitudes de uso variable de las tierras. Las mayores precipitaciones ocurridas durante el ciclo y el período crítico, correspondieron a los escenarios climáticos que mejor expresaron el comportamiento de las unidades de tierras, al aumentar la oferta hídrica y en consecuencia la disponibilidad de agua. A su vez, la respuesta en la aptitud de uso de las tierras estuvo condicionada por la capacidad de retención hídrica de cada suelo en particular.

Los resultados de la aptitud de uso de las tierras fueron determinados de acuerdo a los árboles de decisión y a los factores de limitación máxima. Los modelos expertos para

cada TUT, se diferenciaron en la cualidad disponibilidad de agua, mientras que las demás cualidades de la tierra: disponibilidad de oxígeno, alcalinidad, anegabilidad y espacio radical explorable se mantuvieron estables en los distintos escenarios climáticos.

La clase de aptitud *no apta*, presentó escasa variación de la superficie afectada en los distintos tipos de uso evaluados, bajo los escenarios con precipitaciones medias y altas en el ciclo y/o período crítico. En estas unidades de tierras, la principal limitante para la producción de los cultivos fue el exceso de sodio en el perfil del suelo y el anegamiento, siendo en menor medida la escasa profundidad de perfil explorable. Por otro lado, en los escenarios PH 20 y PS 20 para el cultivo de maíz y PS 20 para el cultivo de trigo, la limitación climática definió en gran medida la clasificación de las unidades de tierras en no aptas, de acuerdo a los requerimientos de los cultivos incidiendo sobre la aptitud con mayor peso que las características edáficas heredadas.

Respecto al TUT soja, las tierras clasificadas en moderadamente aptas y sus asociaciones durante el escenario climático PH 20, pasaron a formar parte de la clase de tierras muy aptas, como nivel de aptitud de tierras predominante de las unidades cartográficas, al mejorar la oferta hídrica (PH 50 y PH 80). Por otro lado, en los partidos de Pehuajó y Trenque Lauquen, en PH 20, las tierras clasificadas en marginalmente aptas como clase predominante en las unidades de tierras para el cultivo de soja, en los escenarios climáticos más húmedos del TUT Soja (PH 50 y PH 80), el porcentaje de ocupación fue similar, exponiendo que el tipo de limitaciones para el cultivo, fue diferente a la disponibilidad de agua. Del mismo modo, la superficie ocupada por tierras no aptas para el cultivo de soja fue independiente del período húmedo analizado (PH 20 y PH 50 y PH 80), siendo las principales limitaciones de las tierras no aptas y sus asociaciones el exceso de sodio y la anegabilidad.

En el período climático antes del cambio abrupto (PS), los resultados de la aptitud de uso de las unidades del tierra, en los escenarios del TUT Soja, PS 20 y PS 50, reflejan la limitación por la baja precipitación en el período crítico (disponibilidad de agua), afectando la expresión en el rendimiento y por ende en la aptitud del cultivo. Estos escenarios climáticos resultan ser los más desfavorables para el cultivo de soja.

Con respecto al TUT maíz, los escenarios planteados fueron contrastantes, mostrando diferencias en la aptitud las distintas unidades de tierras. Los escenarios de menor probabilidad de ocurrencia (PH 20 y PS 20), se corresponden con bajas y muy bajas precipitaciones para el desarrollo del cultivo de maíz, siendo las unidades de tierras del área de estudio no aptas para el cultivo de maíz.

Durante el escenario PH 50, las precipitaciones medias tanto en el ciclo como en el período crítico, permitieron clasificar algunas tierras en moderadamente aptas, mientras que la mayoría de la superficie del área de estudio, corresponde a tierras marginalmente aptas y sus asociaciones con otras tierras para el cultivo de maíz. La superficie de tierras no aptas y demás asociaciones fue similar a los otros cultivos, siendo las limitaciones por alcalinidad y anegamiento, las dominantes en estas unidades de tierras. El escenario climático PS 50 con bajas precipitaciones en el período crítico, limita la aptitud de las tierras para el cultivo maíz, principalmente en aquellos suelos con baja capacidad de retención de humedad.

El escenario PH 80 fue el más favorable para el cultivo de maíz. El mismo permite superar la restricción climática en el período crítico durante el ciclo del cultivo por lo tanto, las diferentes aptitudes de las unidades de tierras están condicionadas a las limitaciones intrínsecas de los suelos, ya sea por la baja capacidad de retención de agua útil, o por el contrario el exceso de agua, o limitaciones químicas como ser el exceso de sodio o sales.

Respecto al TUT trigo, bajo el escenario climático PH 20, con precipitaciones medias en el ciclo y en el período crítico, la mayor superficie del área de estudio, se clasificó en tierras moderadamente aptas y sus asociaciones, para el cultivo de trigo. En el período PH 50, al mejorar la oferta hídrica, gran parte de las tierras moderadamente aptas (en PH 20) fueron clasificadas en tierras muy aptas como clase de aptitud predominante dentro de la unidad cartográfica. La superficie ocupada por tierras no aptas se mantuvo igual al escenario climático anterior (PH 20) pero con pequeños cambios en la aptitud en algunos suelos subordinados de las unidades cartográficas. En estas tierras, las limitaciones principales corresponden a la alcalinidad de los suelos y en menor medida a la anegabilidad.

Los escenarios climáticos (PH 50 y 80), con altas precipitaciones en el ciclo (350-450 mm) y altas y muy altas en el período crítico fueron los más favorables para el cultivo de trigo, en el área de estudio. Los resultados de las aptitudes de las tierras para el cultivo de trigo son iguales al escenario PH 50, dado que los requerimientos hídricos son satisfechos por el cultivo. En el escenario climático (PS 20) de lluvias bajas en el ciclo y en el período crítico, el cultivo de trigo presenta limitaciones hídricas, clasificándose las tierras en marginalmente aptas y no aptas, con sus asociaciones entre estas dos clases. Luego, en PS 50 la situación climática resulta más favorable para el cultivo de trigo y la aptitud de las tierras mejora presentando las tierras de moderada aptitud para el cultivo de trigo.

Durante el período húmedo y seco, la cantidad de precipitaciones durante el ciclo del cultivo y en el período crítico modificaron la clasificación de aptitud de las tierras al incidir sobre la cualidad disponibilidad de agua. De este modo, la ocurrencia de precipitaciones medias durante el ciclo y floración determinaron junto a otras características y cualidades de la tierra la aptitud para el cultivo de trigo.

3.3 Comparación de los resultados de los distintos sistemas de evaluación de tierras en relación al incremento de las precipitaciones a nivel regional.

Para este análisis se utilizaron las series temporales correspondiente a los dos períodos climáticos definidos (antes y después del cambio abrupto) y los resultados de las clasificaciones por capacidad de uso, índice de productividad y aptitud de uso de las tierras a nivel de unidad taxonómica (serie de suelo). Se trabajó sobre todas las series presentes en el área de estudio para simplificar la comparación entre los distintos sistemas (Apéndice).

-Capacidad de uso e IP

Los valores de IP de las series de suelo, para el período anterior y posterior al cambio abrupto de las precipitaciones, difieren en los distintos partidos del área de estudio según el valor del coeficiente climático. En las Figuras 3.2 y 3.3, se presentan para las series de suelo, la clasificación por capacidad de uso y su correspondiente valor de índice de productividad para ambos períodos climáticos.

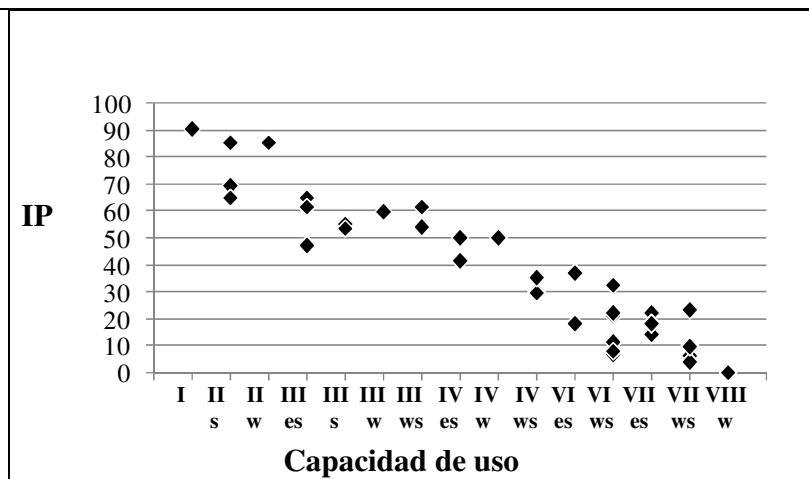


Figura 3.2: Relación entre los valores de IP y la clasificación por Capacidad de uso de las series para el período posterior al cambio abrupto.

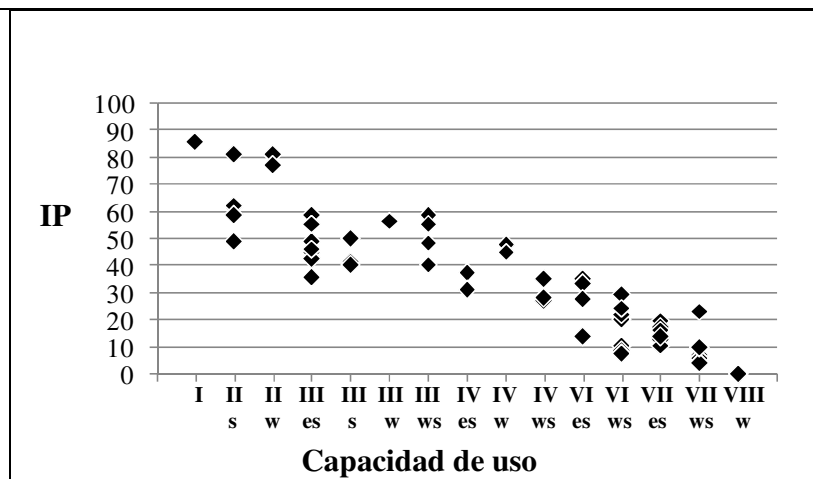


Figura 3.3: Relación entre los valores de IP y la clasificación por Capacidad de uso de las series para el período anterior al cambio abrupto.

La relación entre los valores del IP y las categorías de capacidad de uso es inversa. Es decir, aquellos suelos que presentan menor grado de limitación (clases bajas de capacidad de uso) le corresponden mayores valores del Índice de Productividad.

En el período anterior al cambio abrupto se observó para el área de estudio, menores valores de IP y una diferente distribución por cada categoría de capacidad de uso de las series de suelo respecto al período de mayores precipitaciones (Figuras 3.2 y 3.3). Por este motivo, se determinaron los intervalos de confianza para el IP (para ambos períodos climáticos) según la clasificación por capacidad de uso.

Los mayores intervalos de confianza se presentaron en el período anterior al cambio abrupto en las categorías II s ($\pm 7,66$), II w ($\pm 2,32$) III s ($\pm 5,05$), III ws ($\pm 12,79$), IV ws ($\pm 4,18$) y VI es ($\pm 10,86$), lo cual se atribuye principalmente a las series de suelo provenientes del partido de Trenque Lauquen donde los valores de IP fueron un 25 % menor que en el período posterior al cambio abrupto.

Al considerar las clases de capacidad de uso y las categorías productivas previamente definidas fue posible agrupar y encontrar una relación entre las mismas en base a los intervalos de confianza y los valores medios de IP (Figura 3.4).

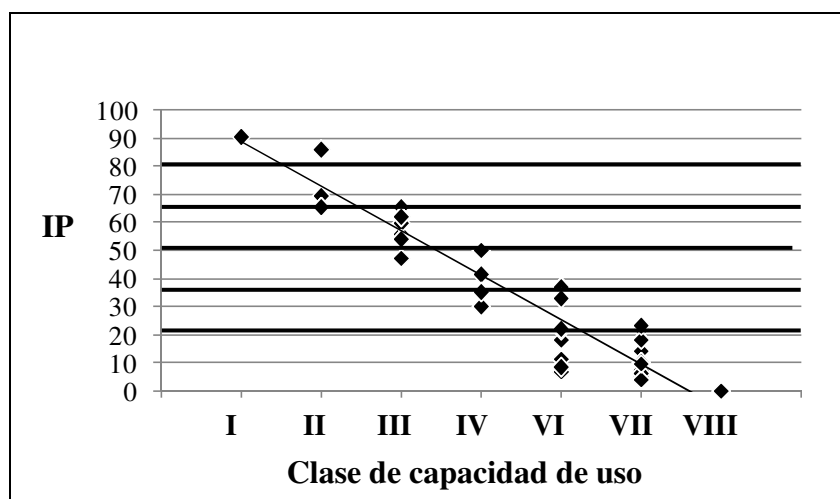


Figura 3.4: Categorías comparables entre valores del IP y clase de capacidad de uso de las tierras.

Así, se definieron como tierras agrícolas aquellas que presentaron valores de IP superiores a 35, cuya clasificación de capacidad de uso se corresponde con las clases de I a IV. En la Figura 3.4 se muestran los rangos de la capacidad productiva de las tierras (IP) y su respectiva clase o grado de capacidad de uso: IP 100-81 (clase I), 80-66 (clase II), 65-51 (clase III) y 50-36 (clase IV). Para las tierras no agrícolas, le corresponde valores de IP de 35-20 (clase VI) y 20-0 clases VII y VIII (Figura 3.4).

- IP y ALES

Se analizó la relación entre el IP y la salida de los modelos experto para los cultivos de soja, maíz y trigo, de acuerdo a la media histórica de cada período climático. De este modo, se comparó el IP, para el período anterior y posterior al cambio abrupto, a la probabilidad acumulada de ocurrencia del 50 % para los tres cultivos agrícolas, PS 50 y PH 50, respectivamente.

Para el cultivo de maíz, las series de suelo presentaron distintas categorías de aptitud según la condición climática. En la Figura 3.5 se observa el escenario PS 50 con lluvias bajas en el ciclo del cultivo y bajas en el período de floración. En la Figura 3.6 se presenta el escenario climático PH 50, con lluvias medias en el ciclo de cultivo y bajas en el período de floración.

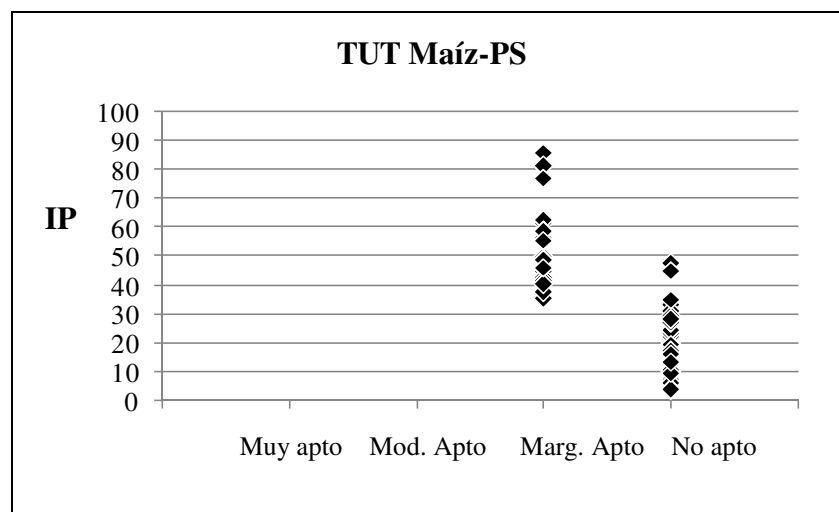


Figura 3.5: IP y Aptitud de las unidades taxonómicas (series de suelo) presentes en el área de estudio, para el TUT Maíz en el PS 50, período anterior al cambio abrupto.

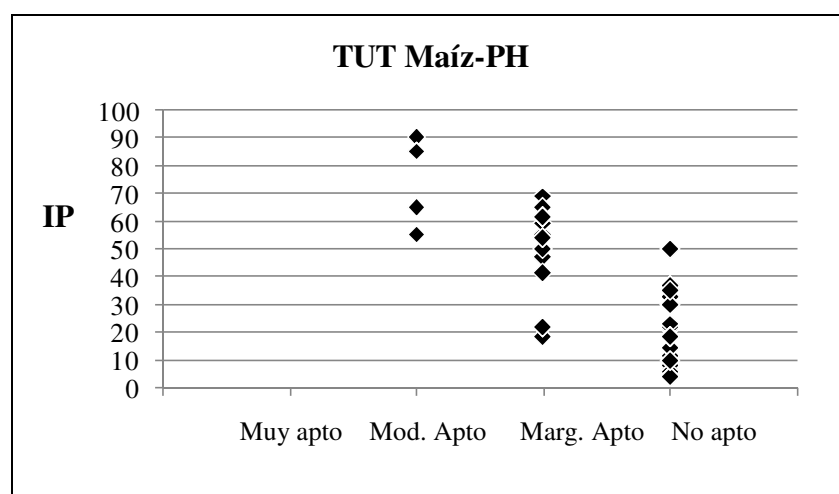


Figura 3.6: IP y Aptitud de las unidades taxonómicas (series de suelo) presentes en el área de estudio, para el TUT Maíz en el PH 50, período anterior al cambio abrupto.

En la Figura 3.5 se observa que la aptitud de las tierras para maíz asume las clases marginalmente aptas y no aptas para el escenario PS 50. El incremento en las precipitaciones en PH 50, favoreció a aquellas tierras con valores altos de IP, clasificándolas en moderadamente aptas (Figura 3.6). Este comportamiento reforzado por el resultado obtenido para el escenario PH 80 (Capítulo 2) pone de manifiesto la incidencia de las precipitaciones en el resultado de la aptitud de las tierras. Así, tierras clasificadas con IP mayores a 80 no pueden expresar su potencial en épocas secas; en épocas húmedas tierras con valores de IP entre 65 y 51 se transforman en tierras de aptitud moderadamente aptas y muy aptas por efecto del aumento en la disponibilidad de agua a pesar de tener baja capacidad de retención de humedad edáfica y drenaje algo excesivo.

Para el cultivo de soja, las series de suelo también presentaron distintas clases de aptitud de uso de las tierras según la condición climática. En las Figuras 3.7 y 3.8 se observan la aptitud de uso de las series de suelo para PS 50 y PH 50, respectivamente. Al escenario PS 50 le corresponden lluvias medias durante el ciclo y bajas en el período crítico; mientras que al escenario PH 50, las lluvias en el ciclo y en el período crítico son altas.

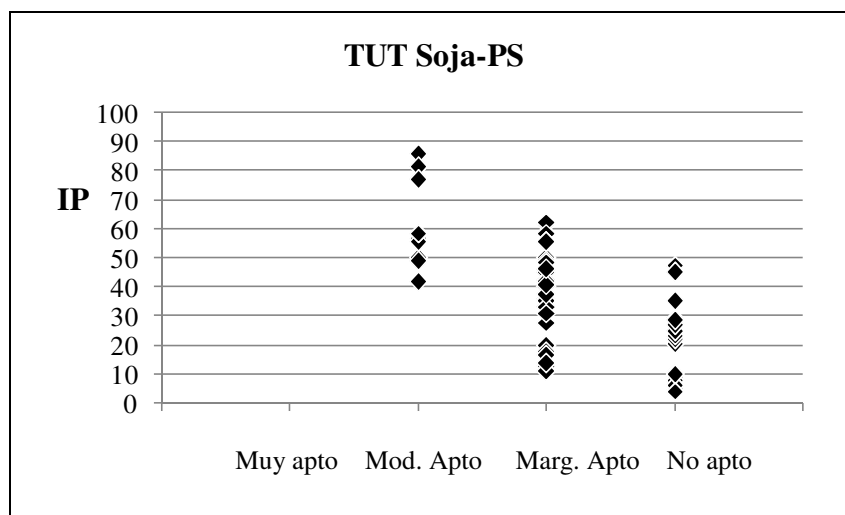


Figura 3.7: IP y Aptitud de las unidades taxonómicas (series de suelo) presentes en el área de estudio, para el TUT Soja en el PS 50, período anterior al cambio abrupto.

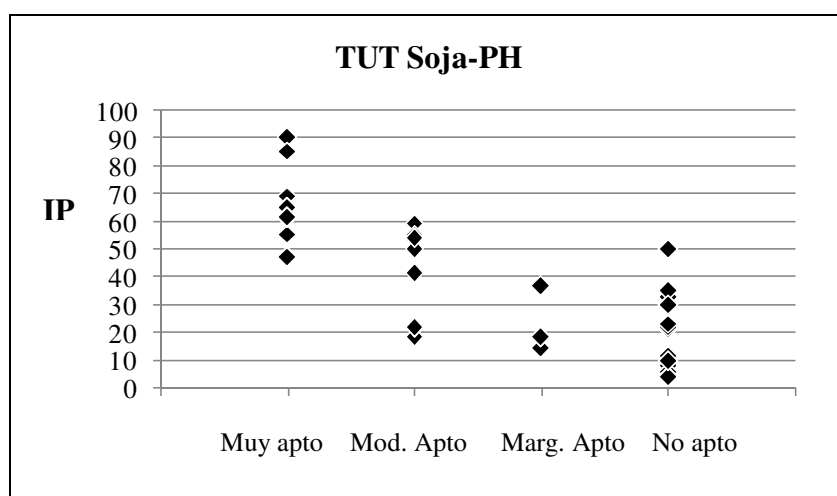


Figura 3.8: IP y Aptitud de las unidades taxonómicas (series de suelo) presentes en el área de estudio, para el TUT Soja en el PH 50, período anterior al cambio abrupto.

En el TUT Soja, las tierras que presentaron moderada aptitud en el PS 50, se clasificaron, en general, como tierras muy aptas al aumentar la oferta hídrica (PH 50).

Las tierras no aptas, no modificaron su aptitud al variar las precipitaciones debido a la presencia de otras limitaciones como ser la alcalinidad, la salinidad y el drenaje, con excepción de las tierras cuya principal limitación fue la baja retención de humedad. En este último caso, los cultivos pueden llegar a cubrir parte de sus requerimientos hídricos.

Para el TUT trigo, en las Figuras 3.9 y 3.10 se presentan la aptitud de uso de las tierras y su relación con el IP para los escenarios climáticos (PS 50) con lluvias medias en el ciclo y en el período crítico y para el escenario PH 50 con lluvias altas en el ciclo y período crítico respectivamente. El patrón de comportamiento del cambio de la aptitud de uso de las tierras es semejante al expresado con anterioridad para el TUT soja.

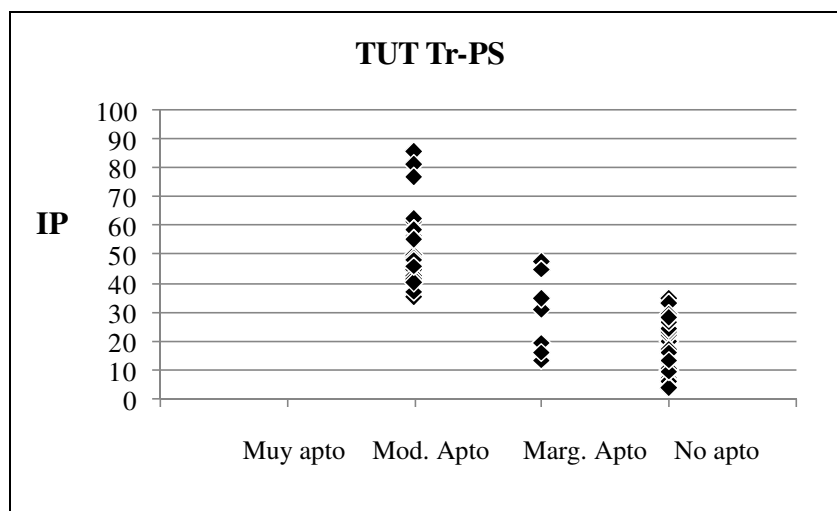


Figura 3.9: IP y Aptitud de las unidades taxonómicas (series de suelo) presentes en el área de estudio, para el TUT Trigo en el PS 50, período anterior al cambio abrupto.

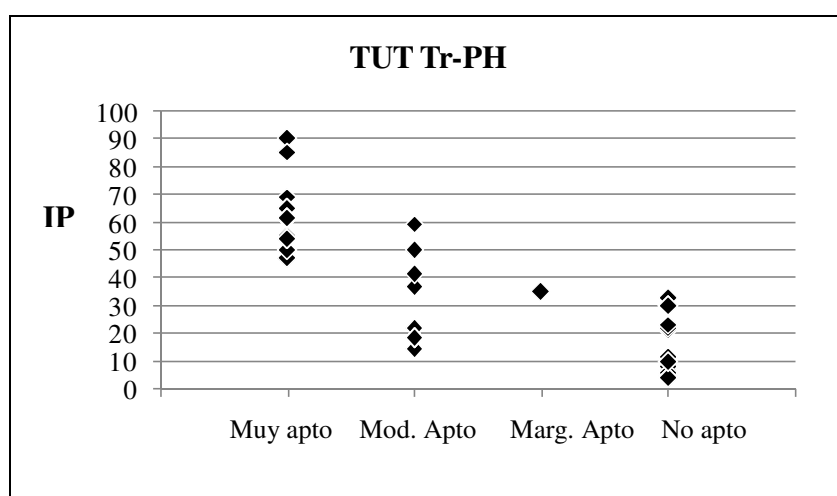


Figura 3.10: IP y Aptitud de las unidades taxonómicas (series de suelo) presentes en el área de estudio, para el TUT Trigo en el PH 50, período anterior al cambio abrupto.

Para todos los TUT evaluados durante el período posterior al cambio abrupto (PH 50), los valores altos de IP se asociaron con tierras clasificadas en muy apta y moderadamente aptas según los modelos expertos.

La distribución de las precipitaciones y las características edáficas asociadas a la capacidad de almacenaje de agua en el suelo fueron cruciales en la determinación de la aptitud de uso de las tierras.

Los modelos desarrollados a partir del *ALES* para los distintos TUT, de acuerdo a los escenarios climáticos planteados conllevan en sí mismos la distribución de las

lluvias al fijar la cantidad de precipitaciones en el ciclo y en el período crítico respecto a cada tipo de cultivo. Esto lo diferencia del IP, el cual expresa la productividad de las tierras de acuerdo al clima regional a través del factor climático. De esta manera, los modelos expertos al tratarse de una evaluación específica por tipo de cultivo, responden a variaciones climáticas, a través de la cualidad disponibilidad de agua otorgando una aptitud de uso variable de las unidades de tierra, según los escenarios climáticos y demás limitantes edáficas.

CAPÍTULO 4
CONSIDERACIONES FINALES

La Subregión Pampa Arenosa, ha sido escenario de importantes cambios relacionados al uso de la tierra. El cambio regional ocurrió por la conversión de tierras de pastizales a cultivo y una gradual intensificación de la agricultura en las tierras cultivables (Viglizzo et al. 2005, 1997). Estos cambios en el uso del territorio respondieron principalmente al aumento de las precipitaciones hacia el oeste de la Región Pampeana, a partir de la década del 70 (Sierra y Pérez 2006, Magrin et al. 2005). Otros factores tales como los precios favorables de los granos y las mejoras tecnológicas a través de la incorporación de nuevos sistemas de labranzas y el mejoramiento genético también acompañaron estos cambios (Magrin et al. 2005, Satorre 2005). Por lo tanto, reconocer que los recursos naturales son finitos, en tiempo y espacio, y que los efectos de las actividades humanas imponen costos a la sociedad; pone de manifiesto la importancia de la evaluación de uso de las tierras en la planificación del uso sustentable de los recursos naturales (De la Rosa 2005, Massobrio 2004).

Dada la existencia de diversas metodologías utilizadas en la elaboración de sistemas de evaluación de tierras en términos de adaptabilidad y/o vulnerabilidad, la elección del método más adecuado resulta dificultosa cuando la información disponible es limitante (De la Rosa et al. 2004). Por lo tanto, establecer la aptitud de un tipo de utilización de la tierra ante variaciones climáticas propias de la Subregión Pampa Arenosa, es crucial para una planificación de uso sustentable.

Teniendo en cuenta las consideraciones expuestas en el presente trabajo, se analizaron distintos sistemas de evaluación de tierras y se desarrollaron modelos expertos que consideren los factores ambientales heredados y las variaciones climáticas, para el sector de dunas longitudinales de la Pampa Arenosa en la Provincia de Buenos Aires, a escala de semidetalle (1:50.000), correspondiente a los partidos de Nueve de Julio, Carlos Casares, Pehuajó y Trenque Lauquen.

Para analizar el comportamiento histórico de las lluvias primeramente se comprobó la homogeneidad de las series climáticas mediante el test de rachas, para determinar la validez y calidad de las series históricas climáticas utilizadas. El resultado de la aplicación del test de Pettitt permitió conocer el instante temporal en el que se produjo un cambio abrupto en el valor medio de las precipitaciones anuales, para cada partido del área bajo estudio. La aplicación del test de Mann Kendall mostró una tendencia creciente en relación a la precipitación anual para toda el área de estudio.

Se confeccionaron escenarios climáticos según las series temporales para los períodos definidos, antes y después del cambio abrupto de las precipitaciones, para ser evaluados en los modelos expertos. Estos escenarios climáticos se establecieron de acuerdo a la probabilidad acumulada de precipitaciones (20, 50 y 80 %) para el área de estudio en su conjunto, a partir de la precipitación en el ciclo y en el período crítico de los cultivos.

La aplicación del sistema de Capacidad de Uso de las tierras en el área bajo estudio no presentó unidades cartográficas sin limitaciones permanentes (clase I). Las tierras con ligeras a moderadas limitaciones (clase II) se encuentran en muy poca proporción, 2,9 %. En este sentido las tierras con severas limitaciones (clase III) y muy severas limitaciones (clase IV), fueron las más frecuentes con valores de 42,6 % y 29,8 % respectivamente. En toda el área de estudio se identificaron tres subclases de limitaciones permanentes *e*, *w* y *s* (erosión, exceso de agua en la zona de actividad radical, baja capacidad de retención de humedad, alcalinidad, salinidad y profundidad efectiva). Estas limitaciones están íntimamente relacionadas a los geoambientes propios de la Subregión y a las características intrínsecas de los suelos. Los patrones espaciales generados manifiestan estas afirmaciones marcando una fuerte dependencia de la relación suelo-paisaje. La clasificación por capacidad de uso no presentó

modificaciones en sus clases y subclases respecto a la magnitud del cambio abrupto de las precipitaciones y a la variación climática presente. Esta característica de la clasificación, y el fundamento de la misma, la capacidad y limitaciones permanentes, la acerca al concepto de fragilidad ambiental permitiendo una caracterización de la tierra a largo plazo. Esta clasificación indirecta y cualitativa es dependiente de las características intrínsecas heredadas.

Para analizar el efecto del cambio en las precipitaciones sobre el IP, se calculó el factor climático H para el período anterior y posterior al cambio abrupto de las precipitaciones. Se comprobó que el IP se incrementó con el aumento de las precipitaciones, alcanzando su máxima expresión climática en el período posterior al cambio abrupto para todos los partidos analizados. Particularmente el partido de Trenque Lauquen fue el partido más favorecido con el incremento de las precipitaciones. Es importante resaltar que se necesitan metodológicamente series históricas de más de 40 años para caracterizar el clima regional. De esta manera el IP no respondería a la variación climática pero sí a los cambios abruptos. En el período posterior al cambio abrupto, los cuatro partidos se caracterizaron por presentar tierras de moderada capacidad productiva como clase predominante, con valores de IP entre 65 y 51.

Se desarrollaron modelos expertos a través del programa *ALES* para evaluar los tipos de uso de las tierras (TUT) agrícolas comunes en el área de estudio: maíz, soja y trigo. Teniendo en cuenta que el conocimiento del clima constituye, en la actualidad, una parte esencial de las evaluaciones ambientales, no solo como factor de riesgo sino también como recurso se utilizaron los escenarios climáticos, antes y después del cambio abrupto para la evaluación de la aptitud de uso de las tierras.

Los escenarios climáticos que mejor expresaron el comportamiento de las unidades de tierras, considerando al clima como un recurso, fueron aquellos que presentaron altas precipitaciones en el ciclo y en el período crítico, debido a que aumentaron la oferta hídrica y en consecuencia la disponibilidad de agua. Los distintos escenarios climáticos propuestos para cada cultivo exhibieron una aptitud de uso de las tierras variable, condicionada por la capacidad de retención hídrica de cada suelo en particular. El patrón de distribución de las aptitudes de uso de las tierras se representó en una cartografía específica para cada TUT y escenario climático, según los partidos.

Al comparar los resultados de los sistemas indirectos cualitativos y cuantitativos utilizados para las series de suelos individuales, fue posible encontrar una relación inversa entre los rangos de índice de productividad (IP) y los grados de las limitaciones permanentes (I a VIII) de la clasificación por capacidad de uso.

Los resultados de los modelos expertos justificaron el avance de uso agrícola sobre tierras de mayor fragilidad al mejorar la aptitud de uso de esas tierras con el aumento de las precipitaciones. De esta manera, los resultados de los modelos coinciden con el comportamiento de los usuarios de la tierra en las últimas décadas en la región. Sin embargo, los mismos modelos expertos también fueron sensibles en disminuir la clase de aptitud de uso de las tierras en épocas secas.

En síntesis, los resultados obtenidos muestran la necesidad de combinar el uso de sistemas indirectos cualitativos y los modelos expertos, ya que ambos trabajan en percepciones humanas diferentes, en tiempo y espacio, potencializando la toma de decisiones a corto, mediano y largo plazo.

Posibles aplicaciones y futuras investigaciones:

- Brindar información para la gestión del uso del territorio a distintas escalas de producción. La cartografía temática generada es un insumo de alto peso en la toma de decisiones para la planificación del tipo de utilización de las tierras.
- La permanencia temporal de los sistemas indirectos cualitativos utilizados son un punto de partida para el diseño de estrategias en la conservación del uso de las tierras. A su vez brindan información para comprender la manifestación en el aumento y disminución de la clase de aptitud de uso de las tierras de los modelos expertos ante variaciones climáticas asociadas a las características intrínsecas de los suelos.
- El IP proporciona una respuesta cuantitativa de la productividad de las distintas unidades de tierra facilitando, con la información anterior, la toma de decisiones.
- Los modelos expertos evalúan la aptitud de tipos de usos específicos de las tierras, otorgando una valoración dinámica de las mismas de acuerdo a diferentes escenarios climáticos.
- A futuro se podrían desarrollar modelos que se anticipen a las variaciones climáticas regionales para predecir el cambio en la aptitud de uso las tierras. En este sentido, la investigación en el desarrollo de modelos a través de las redes neuronales artificiales y lógica difusa permitirían abordar esta problemática.
- El empleo de diversas herramientas geoestadísticas permitirá aumentar las certidumbres de la cartografía de suelos y su posterior análisis y/o interpretación para la evaluación de tierras.

Conclusiones

Las series históricas de precipitaciones anuales presentaron un cambio abrupto entre los años 1962 y 1965, según los partidos analizados, momento a partir del cual se incrementaron las lluvias.

En el partido de Nueve de Julio para el período posterior al cambio abrupto (a partir de 1963) la precipitación media anual se incrementó un 16,8 % (1043 mm). En el partido de Carlos Casares, en el período posterior al cambio abrupto (a partir de 1966), la precipitación media anual aumentó en promedio un 22,5 % (177 mm), mientras que para el partido de Pehuajó el incremento promedio resultó del 19,3 % (158 mm) a partir de 1966.

En el partido de Trenque Lauquen las precipitaciones medias anuales se incrementaron un 38.3 % a partir de 1963, alcanzando la media anual de precipitaciones 979 mm, valores similares a los registrados en los partidos de Carlos Casares (964 mm) y Pehuajó (978 mm) en el ciclo húmedo.

Para el área de estudio, el comportamiento de la serie histórica de precipitación anual manifestó una tendencia creciente de las lluvias.

En el área de estudio, no existen tierras con pocas o ninguna limitación para la producción de cultivos agrícolas (clase I de capacidad de uso). Las tierras agrícolas (clases II a IV) ocupan el 75.3 % de la superficie del área bajo estudio, 1.255.380 has.

Las tierras con moderadas limitaciones para el uso agrícola, clase II, se encuentran en los partidos de Nueve de Julio y Carlos Casares, ocupando una superficie de 25.728,6 has y 19.995,4 has respectivamente.

El partido de Trenque Lauquen es el que mayor superficie agrícola posee (83,8 %) cuyas tierras se clasifican únicamente en las clases III y IV.

En la región, las limitaciones por exceso de agua en el perfil y la alcalinidad, *ws*, ocupan entre el 52,7 y el 64,8 % de la superficie según los partidos.

Las limitaciones por erosión eólica y baja capacidad de retención de humedad, *es*, afectan al 31,9 % de las tierras en el área de estudio. El partido de Trenque Lauquen posee el mayor porcentaje (38,9 %) de las tierras con limitaciones *es* (erosión eólica y baja capacidad de retención de humedad) afectando a 213.070 has.

Las tierras no agrícolas (clases VI a VIII) poseen una superficie aproximada de 416.400 has para el área de estudio.

Al analizar los patrones espaciales generados se observó la incidencia de la geomorfología regional de médanos longitudinales, sobre la distribución de la subclase y grado de las limitaciones según la clasificación por capacidad de uso de las tierras.

De acuerdo a los valores de I_m de Thornthwaite, para el período anterior ($I_m < -20$) y posterior al cambio abrupto ($I_m > 0$), se obtuvieron distintos coeficientes para el factor climático H del IP. Los mayores cambios en el factor climático se presentaron en el partido de Trenque Lauquen con un incremento del 25 %, para el período posterior al cambio abrupto.

El IP expresa el clima regional a través del factor climático H.

Para el área de estudio, el cambio del régimen de precipitaciones no incidió en la clasificación de capacidad de uso, pero sí produjo cambios en el factor H del IP y por ende en la productividad de las tierras.

Los valores de IP de las unidades cartográficas en el período anterior al cambio abrupto fueron menores a los obtenidos en el período posterior al mismo.

En el período posterior al cambio abrupto, los cuatro partidos se caracterizaron por presentar, como clase predominante, tierras de moderada capacidad productiva, cuyos valores de IP se encuentran entre 65 y 51.

En los sistemas expertos, los distintos escenarios climáticos propuestos para cada cultivo, exhibieron aptitudes de uso variable de las tierras.

Las mayores precipitaciones ocurridas durante el ciclo y el período crítico, correspondieron a los escenarios climáticos que mejor expresaron el comportamiento de las unidades de tierras, al aumentar la oferta hídrica y en consecuencia la disponibilidad de agua.

La respuesta en la aptitud de uso de las tierras estuvo condicionada por la capacidad de retención hídrica de cada suelo en particular.

La clase de aptitud no apta, presentó escasa variación de la superficie afectada en los distintos tipos de uso evaluados, bajo los escenarios con precipitaciones medias y altas en el ciclo y/o período crítico.

En los escenarios PH 20 y PS 20 para el cultivo de maíz y PS 20 para el cultivo de Trigo, la limitación climática definió en gran medida la clasificación de las unidades de tierras en no aptas, de acuerdo a los requerimientos de los cultivos incidiendo sobre la aptitud con mayor peso que las características edáficas heredadas.

Respecto al TUT Soja, las tierras clasificadas en moderadamente aptas y sus asociaciones durante el escenario climático PH 20, pasaron a formar parte de la clase de tierras muy aptas, como nivel de aptitud de tierras predominante de las unidades cartográficas, al mejorar la oferta hídrica (PH 50 y PH 80).

La superficie ocupada por tierras no aptas para el cultivo de soja fue independiente del período húmedo analizado (PH 20 y PH 50 y PH 80), siendo las principales limitaciones de estas tierras el exceso de sodio y la anegabilidad.

Respecto al TUT Maíz, los escenarios de menor probabilidad de ocurrencia (PH 20 y PS 20), presentaron bajas y muy bajas precipitaciones para el desarrollo del cultivo, siendo las unidades de tierras clasificadas en no aptas para el maíz. En este caso, la limitante climática definió la aptitud de uso de las tierras.

El escenario PH 80 fue el más favorable para el cultivo de maíz. El mismo permite superar la restricción climática en el período crítico y durante el ciclo del cultivo por lo tanto, las diferentes aptitudes de las unidades de tierras están condicionadas a las limitaciones intrínsecas de los suelos, ya sea por la baja capacidad de retención de agua útil, o por el contrario el exceso de agua, o limitaciones químicas como ser el exceso de sodio o sales.

Respecto al TUT Trigo, en el período PH 50, al mejorar la oferta hídrica, gran parte de las tierras moderadamente aptas (en PH 20) fueron clasificadas en tierras muy aptas como clase de aptitud predominante dentro de la unidad cartográfica. La superficie ocupada por tierras no aptas se mantuvo igual al escenario climático anterior (PH 20) pero con pequeños cambios en la aptitud en algunos suelos subordinados de las unidades cartográficas.

Durante el período húmedo y seco, la cantidad de precipitaciones durante el ciclo del cultivo y en el período crítico en trigo, modificaron la clasificación de aptitud de uso de las tierras al incidir sobre la cualidad disponibilidad de agua. De este modo, la ocurrencia de precipitaciones medias durante el ciclo y floración determinaron junto a otras características y cualidades de la tierra la aptitud para el cultivo de trigo.

La relación entre los valores del IP y las categorías de capacidad de uso fue inversa. Es decir, aquellos suelos que presentan menor grado de limitación (clases bajas de capacidad de uso) le corresponden mayores valores del Índice de Productividad.

Los mayores intervalos de confianza se presentaron en el período anterior al cambio abrupto en las categorías II s ($\pm 7,66$), II w ($\pm 2,32$) III s ($\pm 5,05$), III ws ($\pm 12,79$), IV ws ($\pm 4,18$) y VI es ($\pm 10,86$), lo cual se atribuye principalmente a las series de suelo provenientes del partido de Trenque Lauquen donde los valores de IP fueron un 25 % menor que en el período posterior al cambio abrupto.

Se relacionaron los rangos o categorías de IP y las clases de capacidad de uso, de acuerdo a los valores medios y los intervalos de confianza. Así, se definieron como tierras agrícolas aquellas que presentaron valores de IP superiores a 35, correspondiéndole, las clases de I a IV según la clasificación de capacidad de uso.

Tierras marginalmente aptas y no aptas para el cultivo de maíz, en el escenario PS 50, mejoran su aptitud con el incremento de las precipitaciones en el ciclo y período crítico del cultivo de maíz (PH 50), principalmente las tierras con valores altos de IP, clasificándose en moderadamente aptas. Este comportamiento reforzado por el resultado obtenido para el escenario PH 80 pone de manifiesto la incidencia de las precipitaciones en el resultado de la aptitud de uso de las tierras.

En el TUT Maíz se observa que en épocas secas (PS 50), valores altos de IP, producen una sobrestimación en la productividad de las tierras, de acuerdo a la clase de aptitud de uso, mientras que en épocas húmedas (PH 50) tierras con valores de moderada capacidad productiva (valores medios de IP) expresan una mayor clase aptitud de uso de las tierras, evidenciando el criterio de productividad agrícola general del IP, a diferencia del específico en los modelos expertos.

En el TUT Soja, las tierras que presentaron moderada aptitud en el PS 50, se clasificaron, en general, como tierras muy aptas al aumentar la oferta hídrica (PH 50).

Las tierras no aptas, no modificaron su aptitud al variar las precipitaciones debido a la presencia de otras limitaciones como ser la alcalinidad, la salinidad y el drenaje, con excepción de las tierras cuya principal limitación fue la baja retención de humedad. En este último caso, los cultivos fueron capaces de satisfacer, al menos en parte, sus requerimientos hídricos.

Para el TUT Trigo, el patrón de comportamiento del cambio de la aptitud de uso de las tierras es semejante al expresado con anterioridad para el TUT Soja.

Para todos los TUT evaluados durante el período posterior al cambio abrupto (PH50), los valores altos de IP se asociaron con tierras clasificadas en muy apta y moderadamente aptas según los modelos expertos.

La distribución de las precipitaciones y las características edáficas asociadas a la capacidad de almacenaje de agua en el suelo son cruciales en la determinación de la aptitud de uso de las tierras.

Los modelos expertos resultan en una evaluación específica por tipo de cultivo, y responden a variaciones climáticas, a través de la cualidad disponibilidad de agua otorgando una aptitud de uso variable de las unidades de tierra, según los escenarios climáticos y demás limitantes edáficas.

BIBLIOGRAFIA

- Álvarez, R. 2009. Predicting average regional yield and production of wheat in the Argentine Pampas by an artificial neural network approach. *European Journal of Agronomy*, Volume 30, Issue 2, 70-77 pp.
- Back, AJ. 2001. Aplicacao de análise estatística para identificacao de tendencias climáticas. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasilia, v. 36 n° 5, p 717-726, maio.
- Barros, V; ME Castañeda & M Doyle. 2000. Recent precipitation trends in Southern South America to the East of the Andes: an indication of a mode of climatic variability. Chapter of the book "Southern Hemisphere Paleo and Neoclimates. Concepts, Methods, Problems". Springer.
- Beek, KJ. 1978. Land evaluation for agricultural development. Thesis ILRI Publication N° 23. International Institute for land reclamation and improvement, The Netherlands, 333 pp.
- Bennema, J. 1983. Land Evaluation for Rural Purposes. Summary of an Expert Consultation, Wageningen, The Netherlands, 6-12 October, 1972. ILRI, The Netherlands. Pp 1-115.
- Bert, FE; GP Podestá; EH Satorre & CD Messina. 2007. Use of climate information in soybean farming on the Argentinean. *Climate Research* vol. 33: 123-134.
- Bidegain, M; RM Caffera; F Blixen; V Pshennikov; JJ Lagomarsino; EA Forbes & GJ Nagy. 2005. Tendencias Climáticas, Hidrológicas y Oceanográficas en el Río de la Plata y Costa Uruguaya. In: *El Cambio Climático en el Río de la Plata*. Eds. Barros V., A. Menéndez, G.J. Nagy, Capítulo 14: 137-143, CIMA-CONICET-UBA, Buenos Aires, Mayo.
- Bocco, G; A Velazquez & C Siebe. 2005. Using geomorphologic mapping to strengthen natural resource management in developing countries. The case of rural indigenous communities in Michoacan, Mexico. *CATENA* 60 (3): 239-253.
- Boixadera, J & J Porta. 1991. (Eds). Información de suelos y evaluación catastral: método del valor del índice. 151 pp. C.G.C.T. Monografías, 3. Ministerio de Economía y Hacienda de Madrid.
- Bono, A; A Quiroga; P Azcarate & N Kloster. 2008. Muestreo e interpretación de análisis de suelos, pag 88-95. En *Manual de fertilidad y evaluación de suelos*. Editores Quiroga A y Bono A. E.E.A. INTA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas".
- Cabral, M; N González; JE Gimenez; M Hernández & M Hurtado. 1996. Análisis geoambiental de la Región semiárida del Noroeste de la provincia de Buenos Aires. *Actas del VI Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. 22-25 de abril.
- Calderini, DF & GA Slafer. 1998. Changes in yield and yield stability in wheat during the 20th century. *Field Crops Res.* 57 (3): 331-343.
- Calviño, PA; FH Andrade & VO Sadras. 2003. Maize yield as affected by water availability, soil depth and crop management. *Agron. J.* 95: 275-281
- Calviño, PA & VO Sadras. 1999. Interannual variation in soybean yield: Interaction among rainfall, soil depth, and crop management. *Field Crops Res.* 63:237-246.
- Castañeda, ME & V Barros. 1994. Las tendencias de la precipitación en el Cono sur de America al este de los Andes. *Meteorológica*. pp 23-32.

- Castellví Sentís, F & FE Castillo. 2001. Agrometeorología. Capítulo 12 Clasificaciones Climáticas. Mundi-Prensa, 517 páginas.
- Cendrero, A. 1997. Riesgos naturales e impacto ambiental. En Fundación Universidad-Empresa (Ed): La interpretación de la problemática ambiental, enfoques básicos II. 23-84. Madrid.
- da Silva Chagas, C; W Jr de Carvalho; N Rendeiro Pereira & EI Fernandes Filho. 2006. Aplicação de um sistema automatizado (ALES - Automated Land Evaluation System) na avaliação das terras das microrregiões de Chapecó e Xanxerê, Oeste Catarinense, para o cultivo de grãos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 30, núm. 3, 2006, pp. 509-522. ISSN (Versión impresa): 0100-0683
- Damiano, F; RA Díaz & MO Grondona. 1996. Evaluación de una función uni-parámetrica para la estimación de la curva de retención de agua en suelos agrícolas. Actas del XVI Congreso Nacional del Agua. San Martín de los Andes, Argentina. Trabajo N° 148.
- Damiano, F & MA Taboada. 2000. Predicción del agua disponible usando funciones de pedotransferencia en suelos agrícolas de la región pampeana. Ciencia del Suelo 18: 77-88.
- Damiano, F. 2008. Predicción del agua disponible en suelos pampeanos a través de funciones de pedotransferencia. En Fertilidad física de los suelos. Segunda edición, pag 181-197. Editorial Facultad de Agronomía.
- Dardanelli, J; D Collino; M Otegui & VO Sadras. 2008. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de grano. En Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Editor A.J. Pascale, Editorial Facultad Agronomía UBA. Capítulo 16, 377-406.
- Davidson, DA; SP Theocharopoulos & RJ Bloksma. 1994. A land evaluation project in Greece using GIS and based on Boolean and fuzzy set methodologies. International Journal of Geographical Information Science, 8, 4, pp. 369-384.
- De la Rosa, D. 2005 Soil quality evaluation and monitoring based on land evaluation. Land Degrad. Develop. 16: 1-9.
- De la Rosa, D; F Mayol; E Díaz-Pereira; M Fernández & DJr De la Rosa. 2004. A land evaluation decision support system (MicroLEIS DSS) for agricultural soil protection with special reference to Mediterranean region. Environmental Modelling & Software 19: 929-942.
- Diaz-Zorita, M; M Duarte & J Grove. 2002. A review of no till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. Soil & Tillage Research 65, 1-18
- Doorenbos, J & WO Pruitt. 1976. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje 24, 194 pp.
- Durkin, J. 1996. Expert Systems, Prentice Hall International Edition. Pág. 332 – 398.
- Falasca, S & JA Forte Lay. 2004. Evolución de la evapotranspiración potencial en la subregión subhúmeda-húmeda y subhúmeda oriental de la Republica Argentina. X Reunión Argentina IV Latinoamericana de Agrometeorología del 13 al 15 de octubre.

- FAO & PNUMA. 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma, Italia; 86 pp.
- FAO. 1976. A Framework for Land Evaluation. Soil resources development and conservation service Soils Bulletin 32, FAO, Rome. 72 pp.
- FAO. 1985. Directivas: evaluación de tierras para la agricultura de secano. Boletín de suelos N° 52, Roma, Italia. 228 pp.
- FAO. 2007. Land evaluation: Towards a revised framework. Land & Water Discussion Paper 6; Rome: FAO; Digital version (PDF, 2.3Mb) online www.itc.nl/personal/rossiter/Docs/FAO/lman_070601_en.pdf.
- Fehr, WR; CE Caviness; DT Burmood & JS Pennington. 1971. Stage development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. Crop Sci. 11:929–931.
- Fisher, RA. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. J.Agric. Sci. 105: 447-461
- Gutierrez Lopez A; F Arellano Lara & J Aparicio Mijares. 2007. Determinación de períodos de cambio climático, empleando pruebas de ruptura de series. Tlálac AMH n° 38, Septiembre-Enero. 4-10.
- Hall, AJ; J Lemcoff & N Trapani. 1981. Water stress before and during flowering in maize and its effects on yield, its components, and their determinantes. Maydica, 26:19-38.
- Hall, AJ; CM Rebella; CM Ghersa & JP Culot. 1992. Field-crop systems of the Pampas. In C.J. Pearson (ed.) Field crop ecosystems. Ecosystems of the World. Elsevier, 413 – 450 pp.
- Hennebert, PA ; E Tessens ; D Tourenne & B Delvaux. 1996. Validation of a FAO land evaluation method by comparison of observed and predicted yields of five food crops in Burundi. Soil Use and Management 12: 134-142.
- Hobbins, MT; JA Ramirez & TC Brown. 2001. Trends in regional evapotranspiration across the United States under the complimentary relationship hypothesis. Hydrological Days, 106–121.
- INDEC. Información del Censo Nacional Agropecuario 2002 (CNA 2002) Online: www.indec.mecon.gov.ar
- INTA. 1974 - 1997. Colección: Cartas de Suelos de la República Argentina. Escala 1:50.000. CIRN, INTA, Buenos Aires. www.inta.gov.ar/suelos/cartas/index.htm
- INTA. 1990. Atlas de Suelos de la Republica Argentina. Escala 1: 500.000 y 1: 1.000.000. Tomo I y II. Proyecto PNUD ARG. 85/019. Ed. INTA, Buenos Aires Argentina. Pp 667. ISN 11694.
- Johnson, AKL; RA Cramb & JR McAlpine. 1994. Integration of biophysical and economic data using an expert system: results from a case study in northern Australia. Soil Use & Management 10: 181-188.
- Katerji, N; JW van Hoorn; A Hamdy & M. Mastrorilli. 2001. Salt tolerance of crops according to three classification methods and examination of some hypothesis about salt tolerance Agricultural Water Management 47, 1-8.
- Kessler, JJ. 1994. Usefulness of the human carrying capacity concept in assessing ecological sustainability of land-use in semi-arid regions. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 48 (3): 273-284.

- Kilic, S; F Evrendilek; S Senol & I Celik. 2005. Developing a suitability index for land uses and agricultural land covers: A case study in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 102(1-3): 323-335.
- Klingebiel, AA & PH Montgomery. 1961. Land capability classification. *Agricultural Handbook 210*, Soil Conservation Service, U.S.D.A., Washington D.C. Pp 1-21.
- Lang, D. 1980. LRD experience. Land evaluation guidelines for rainfed agriculture. Report of an expert consultation in Rome, 12-14 december.
- López Pereira, M; VO Sadras & N Trápani. 1999. Genetic improvement of sunflower in Argentina between 1930 and 1995. I. Yield and its components. *Field Crops Res.* 62 (2-3), 157-166.
- Lozada García, BL & C Barboza. 2007. Tendencia de la precipitación pluvial en Bramón, Estado Táchira, Venezuela. *Agronomía Trop.* 57 (2): 99-105.
- MAA, Chaca Experimental de Bellocq. Datos de precipitaciones y temperatura mensuales. Online por blogspot.
- Maccarini, GD. 1990. Utilización del Método de evaluación de tierras paramétrico de Bramaio y Riquier y su adaptación por INTA en un sector de la Región Pampeana Húmeda. Tesis de Maestría en Ciencias del Suelo de la EPG, FAUBA.
- Magrin, GO; MI Travasso & GR Rodríguez. 2005. Changes in climate and crop production during the 20th century in Argentina. *Climatic Change* 72: 229-249.
- Magrin, GO; MI Travasso; GM López; GR Rodríguez & AR Lloveras. Vulnerabilidad de la producción agrícola en la región pampeana Argentina. 2da Comunicación Nacional sobre el cambio climático componente B3. http://aplicaciones.medioambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/comunicaciones_nacionales/Vulnerabilidad_Produccion_Agricola_Region_Pampeana.pdf
- Malagnino, E. 1989. Paleoformas de origen eólico y sus relaciones con los modelos de inundación de la provincia de Buenos Aires. IV Simposio Latinoamericano de Percepción Remota y IX Reunión plenaria SELPER, Bariloche, Argentina. Tomo II, p 611-620. Congreso.
- Mantel, S; X Zhang & G Zhang. 2003. Identification of potential for banana in Hainan island, China. *Pedosphere* 13: 147-155.
- Massobrio, MJ. 2004. Agroecosistemas, el paisaje y las tecnologías. En: Malacalza L. (Ed.) *Ecología y ambiente*. Editorial Instituto de Ecología de Luján. Pp 174-177. ISBN987-21270-0-X.
- Massobrio, MJ & OJ Santanatoglia. 2008. Análisis, estructura y función del paisaje en el abordaje de estudios ambientales. En: Giuffrè L. (Ed.) *Agroecosistemas: impacto ambiental y sustentabilidad*. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Buenos Aires. Argentina. Pp 429-439. ISBN 978-950-29-1061-1.
- McBratney, AB; IOA Odeh; TFA Bishop & MS Dunbar. 2000. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. *Geoderma* 97 (1): 293-327.
- Mella, R; F Nider & A. Sanguinetti. 1984. Componentes de rendimiento en híbridos de maíz, Argentina 1949-1984. En *Actas III Congreso Nacional de Maíz*, AIANBA, Pergamino, pp. 30-36.
- Menéndez, FJ & EH Satorre. 2007. Evaluating wheat yield potencial determination in the Argentine Pampas. *Agricultural Systems* 95: 1-10.

- Moeletsi, ME. 2004. Agroclimatic characterization of lesotho for dryland maize production. Thesis Master of Science in Agriculture in Agrometeorology Department of Soil, Crop and Climate Sciences Faculty of Natural and Agricultural Sciences University of the Free State Bloemfontein.
- Moscatelli, G. 1991. Los suelos de la Región Pampeana. En Osvaldo Barsky (ed.) El desarrollo agropecuario pampeano pp 1-76. INDEC-INTA-IICA, Buenos Aires.
- Narisma, FT; JA Foley; R Licker; N Ramankutty. 2007. Abrupt change in rainfall during the twentieth century. *Geophysical Research Letters* 34: 1-5.
- Nisar Ahamed, TR; K Gopal Rao & JSR Murthy. 2000. GIS-based fuzzy membership model for crop-land suitability analysis. *Agricultural Systems* 63: 75-95.
- Oguntunde, PG; J Friesen; N van de Giesen & HHG Savenije. 2006. Hydroclimatology of the Volta River Basin in West Africa: Trends and variability from 1901 to 2002. *Physics and Chemistry of the Earth* 31: 1180-1188.
- ORA. Oficina de Riesgo Agropecuario, Online http://www.ora.gov.ar/riesgo_fenologia.php
- Otegui, ME. 2009. Bases ecofisiológicas para el manejo de agua en cultivos para grano conducidos en secano. IPNI Informaciones agronómicas del cono Sur #44, diciembre.
- Otegui, ME & M López Pereyra. 2008. Identificación y jerarquización de los factores que condicionan la elección de la fecha de siembra, pag 259. En: Producción de granos: bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía. ISBN 950-29-0713-2.
- Park, SJ; CS Hwang & PLG Vlek. 2005. Comparison of adaptive techniques to predict crop yield response under varying soil and land management conditions. *Agricultural Systems* 85 (1): 59-81.
- Penalba, OC; ML Betolli; WM Vargas. 2007. The impact of climate variability on soybean yields in Argentina. *Multivariate regression. Meteorological Applications* Vol. 14, 1: 3-14.
- Pérez, SP; EM Sierra; MJ Massobrio & FR Momo. 2009. Análisis fractal de la precipitación anual en el este de la provincia de La Pampa, Argentina. *Revista de Climatología* Vol. 9: 25-31. ISSN 1578-8768.
- Pérez, SP; EM Sierra; J Irigoien & JM Massobrio. 2009. Detección de cambios abruptos en la precipitación anual del noroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. 111-118. Estrategias integradas de mitigación y adaptación a cambios globales. Editores Fernández Reyes L., Volpedo A.V. Perez Carrera A. PIUBACC & CYTEC.
- Pettitt, AN. 1979. A non-parametric approach to the change point problem. *Applied Statistics*, London, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.
- Pierce, F; W Larson; R Dowdy & W Graham. 1983. Productivity of soils: assessing long term changes due to erosion. *J. Soil Water Cons.* Vol. 38:39-44.
- Porta, J; M Lopez Acevedo & C Roquero. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi Prensa. 807 pp. ISBN: 84-7114-468-9.
- Rawls, WJ; DL Brakensiek & KE Saxton. 1982. Estimation of soil water properties. *Trans. ASAE* 25:1316-1320.
- RIAN. Red de Información Agropecuaria Nacional. Encuestas. Online rian.inta.gov.ar

- Riquier, J; L Bramao & SP Cornet. 1970. A new system of soil appraisal in terms of actual and potential productivity. FAO Soil Resources, Development and Conservation Service, Land and Water Development Division, F.A.O., Roma.
- Rivetti, AR. 2006. Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. I. Rendimiento en grano de maíz y sus componentes. Rev. FCA UNCuyo. Tomo XXXVIII. N° 2. Pp 25-36.
- Rossi, RL. 2003. Aporte del mejoramiento genético al cultivo de la soja en la Argentina actual y de expansión futura. Genética 2004. Online www.genetica2004.com/plan_soja.htm (20-7-03).
- Rossiter, DG. 1996. A theoretical framework for land evaluation (with Discussion). Geoderma 72, 165-202.
- Rossiter, DG & AR Van Wambeke. 1995. Automated Land Evaluation System: ALES Version 4.5 User's Manual, December 1994 printing ed. SCAS Teaching Series No. T93-2, Revision 5 Cornell University, Department of Soil, Crop & Atmospheric Sciences, Ithaca, NY. 222 pp.
- Rossiter, DG & AR Van Wambeke. 1997. ALES version 4.65. Cornell University. Ithaca, N.Y.
- Sadras, VO & A Calviño. 2001. Quantification of grain yield response to soil depth in soybean, maize, sunflower and wheat. Agronomy Journal 93: 577-583.
- Salmi, T ; A Määtä; P Anttila; T Ruoho-Airola & T Amnell. 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann–Kendall test and Sen's slope estimates 'the Excel template application MAKESENS'. Publications on Air Quality, Finish Meteorological Institute, Helsinki.
- Satorre, EH. 2005. Cambios tecnológicos en la agricultura Argentina actual. En: Oosterheld, M. (ed.), La Transformación de la Agricultura Argentina. CienciaHoy 15: 24-31.
- Satorre, EH. 2003. Cambios en la Agricultura Pampeana. Sustentabilidad y nuevas tecnologías. Revista Encrucijadas UBA, pp 20-27.
- Saxton, KE; WJ Rawls; JS Romberger & RI Papendick. 1986. Estimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture. Contributions from Agric. Res. Serv., USDA, in cooperation with the College of Agric. and Home Economics, Agric. Res. Center, Washington State Univ., Pullman, WA 99164. Scientific Paper no. 6911.
- Seaone, R & AC Callau. 2009. Análisis estadístico de tendencias en caudales máximos en ríos argentinos. 213-228. Estrategias integradas de mitigación y adaptación a cambios globales. Editores Fernández Reyes L., Volpedo A.V. Perez Carrera A. PIUBACC & CYTEC.
- Sierra, E & S Perez. 2006. Tendencias del régimen de precipitación y el manejo sustentable de los agroecosistemas: estudio de un caso en el noroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Revista de Climatología Vol. 6: 1-12. ISSN 1578-8768.
- Sierra, EM; RH Hurtado & L Spescha. 1994. Corrimiento de las isoyetas anuales medias decenales en la Región Pampeana 1941-1990. Rev. Fac. Agr. 14: 139-144.
- SIIA. Sistema de integrado de información agropecuaria. Estadísticas, Agrometeorología. www.sii.gov.ar

- Slafer, GA; DJ Miralles; R Savin; EM Whitechurch & F González. 2008. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo, pág. 101-132. En: Producción de granos: bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía. ISBN 950-29-0713-2.
- SMN. Servicio Meteorológico Nacional. Datos estadísticos online www.smn.gov.ar
- Smyth, A. 1971. Evaluación sistemática de recursos de tierras y aguas. Primer Seminario Latinoamericano FAO/PNUD sobre evaluación sistemática de recursos de tierras. México, 8-14 de noviembre, 72-80.
- Sobral, RE. 1998. Uso de sistemas de Evaluación de Tierras. En Suelos II: Utilización de la información de suelos para el uso sustentable de las tierras. Editores J. Panigatti y G. Moscatelli. INTA Programa Nacional de Suelos.
- Sobral, RE; V Nakama & L de Antueno. 2010. Actualización de los índices de productividad de los suelos de la provincia de Buenos Aires. Actas del XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, 31 de mayo al 4 de Junio.
- Sobral RE & V Nakama. 1988. Índices de productividad, método paramétrico para evaluación de tierras. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo XII: del 12 al 16 septiembre. Comisión mineralogía, génesis, clasificación y cartografía de suelos. pp 259.
- Stoorvogel, JJ. 1995. Integration of computer-based models and tools to evaluate alternative land-use scenarios as part of an agricultural systems analysis. *Agricultural Systems* 49: 353-367.
- Storie, RE. 1933. An Index for Rating the Agricultural Value of Soils. California Agricultural Experimental Station Bulletin, 556.
- SWC. Soil Water Characteristics, Hydraulic Properties Calculator by Saxton K E. & Rawls W. <http://hydrolab.arsusda.gov/soilwater/Index.htm> .
- Sys, C; E Van Ranst; J Debaveye & F Beernaert. 1993. Land Evaluation Part III: Crop requirements. Agricultural Publication No. 7. GADC, Brussels, Belgium.
- Taboada, MA & CR Álvarez. 2008. Soil physical properties and soybean (*Glycine max*, Merrill) root abundance in conventionally and zero-tilled soil in the humid Pampas of Argentina. *Revista Brasileira da Ciencia do Solo*.
- Taboada, MA; F Damiano & F Micucci. 2008. Aspectos físicos que condicionan la disponibilidad de agua para los cultivos. En *Fertilidad física de los suelos*. Segunda edición, pag 31-65. Editorial Facultad de Agronomía.
- Tarhule, A & M Woo. 1998. Changes in rainfall characteristics in northern Nigeria. *International Journal of Climate* 18, 1261–1271.
- Tasi, H; P Barbagelata; G Schulz & A Paz González. 2010. Índices de productividad específico para maíz como potencial predictor del rendimiento y su variabilidad. Actualización técnica N° 2 – Maíz, girasol y sorgo 2010, pp 13. Proyecto Regional Agrícola – 630021, INTA - EEA Paraná.
- Thom, HCS. 1966. Some methods of climatological analysis. Technical Note N_81. World Meteorological Organization, Ginebra, Suiza, 53 pp.
- Thornthwaite, CW. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *The Geographical Review* 38: 55-94.

- Thornthwaite, CW & FK Hare. 1955. Climate classification in Forestry. Reimpresión de UNASYLVA, publicada por la FAO de Naciones Unidas, Roma, Italia. Vol 9, núm 2.
- Tosic, I & M Unkasevic. 2005. Analysis of precipitation series for Belgrade. *Theoretical and Applied Climatology* 80 (1), 67–77.
- Van Diepen, CA; H Van Keulen; J Wolf & JAA Berkhout. 1991. Land evaluation: from intuition to quantification. In: Stewart B. A. (Ed.), *Advances in Soil Science*, Vol. 15: 139-204, New York, Springer.
- Van Wambeke, A & C Scoppa. 1980. Las tasas climáticas de los suelos argentinos. INTA-CIRN. Publicación 168. Castelar
- Vera C. 2009. La situación en Argentina: impactos, vulnerabilidad y adaptación; Cambio climático observado, Variabilidad climática en Argentina 3: 29-35. En: *El Cambio climático en Argentina*. Editor: N. Castillo Marín. www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/09ccargentina.pdf
- Viglizzo, EF 2005. La Situación Ambiental en las Ecorregiones Pampa y Campos y Malezas. En: *La Situación Ambiental Argentina 2005 A*. Brown, U. Martínez Ortiz, M. Acerbi y J. Corcuera (Eds). Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires Pp 261-263.
- Viglizzo, EF & F Frank. 2006. Ecological interactions, feedbacks, thresholds and collapses in the Argentine Pampas in response to climate and farming during the last century. *Quaternary International* 158, 122-126
- Viglizzo EF; AJ Pordomingo; MG Castro & FA Lertora. 2003. Environmental assessment agriculture at a regional scale in the Pampas of Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment* 87: 169-195.
- Viglizzo, EF; ZE Roberto; F Lértora; E Lopez Gay; J Bernardos. 1997. Climate and land-use change in Field-crop ecosystems of Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 66: 61-70.
- Viglizzo EF; AJ Pordomingo; MG Castro; FA Lértora & JN Bernardos. 2004. Scale-dependent controls on ecological functions in agroecosystems of Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 101: 39–51.
- Viglizzo, EF; ZE Roberto; MC Filippin & AJ Pordomingo. 1995. Climate variability and agroecological change in the Central Pampas of Argentina. *Agric. Ecosyst. Environ.* 55: 7-16.
- Wagenet, R J & J Bouma. (eds.) 1993. Operational methods to characterize soil behavior in space and time. *Geoderma* Vol. 60 Nos. 1-4 60, Elsevier, Amsterdam.
- Wang, RY; GX Zhao & T Li. 2004. Grading and assessment of soil fertility of cultivated land in Qingzhou. *Soils (in Chinese)*. 36 (1): 76–80.
- Zamolinski, A; R Casas & A Pittaluga. 1994. Manejo de suelos salinos en el noroeste de la Provincia de Buenos Aires. INTA EEA General Villegas. Publicación Técnica N° 15; 15 pág.
- Zonneveld, IS & RT Forman. (Eds.) 1990. Scope concepts of landscape ecology as an emerging science. In: *Changing Landscape: An Ecological Perspective*. Springer Verlag: New York, 286 pp.

APÉNDICE

1. Tablas de conversión de parámetros para el cálculo del IP

Condición macro climática (H)

Im	Temperatura anual (°C)	Coefficiente H
> 10	≥ 16	100
10 a 0	≥ 16	95
0 a -10	≥ 16	90
-10 a ústico/aridico	≥ 16	75
acuico		100

Im: Índice de Humedd global de Thornthwaite

Drenaje (D)

D	Coefficiente
Bien drenado	1.00
Moderadamente bien drenado	0.90
Algo excesivamente drenado	0.90
Imperfectamente drenado (Algo pobremente drenado)	0.70
Pobremente drenado	0.50
Excesivamente drenado	0.50
Muy pobremente drenado	0.30

Profundidad efectiva (Pe)

Pe (cm)	Coefficiente
>120	1.00
120-90	0.85
90-60	0.70
60-30	0.50

Materia orgánica (Mo)

Mo (%)	Coefficiente
> 2	1.00
2 - 1	0.90
< 1	0.80

Capacidad de Intercambio catiónico (T)

T (cmolc/Kg)	Coefficiente
> 24	1.00
24 - 16	0.95
< 16	0.90

Salinidad (Sa) hasta los 75 cm

Sa (dS/m)	Coefficiente
9-7	0.50
7-4	0.70
4-2	0.90
2-0	1.00

Textura superficial (Ta)

Ta	Coefficiente
Arcillo - limosa	0.70
Arcillosa	0.70
Areno Franco	0.80
Arenoso	0.70
Franco	1.00
Franco - arcillo - arenosa	0.90
Franco - arcillo - limosa	0.90
Franco - arcillosa	1.00
Franco - limosa	1.00
Franco - arenosa	0.90

Textura subsuperficial (Tb)

Tb	Coefficiente
Arcillo - limosa	0.90
Arcillosa	0.90
Areno Franco	0.70
Arenoso	0.70
Franco	1.00
Franco - arcillo - arenosa	1.00
Franco - arcillo - limosa	1.00
Franco - arcillosa	1.00
Franco - limosa	1.00
Franco - arenosa	0.80

Alcalinidad (PSI)

PSI	Coefficiente
< 10 % Na a 0-20 cm < 15% Na a 20-50 cm	1.00
< 10 % Na a 0-20 cm < 15% Na a 51-100 cm	1.00
< 10 % Na a 0-20 cm \geq 15% Na a 20-50 cm	0.50
< 10 % Na a 0-20 cm \geq 15% Na a 51-100 cm	0.70
10-15 % Na a 0-20 cm < 15% Na a 20-50 cm	0.80
10-15 % Na a 0-20 cm < 15% Na a 51-100 cm	0.80
10-15 % Na a 0-20 cm \geq 15% Na a 20-50 cm	0.30
10-15 % Na a 0-20 cm \geq 15% Na a 51-100 cm	0.60
\geq 15% Na a 0-20 cm < 15% Na a 20-50 cm	0.20
\geq 15% Na a 0-20 cm < 15% Na a 51-100 cm	0.20
\geq 15% Na a 0-20 cm \geq 15% Na a 20-50 cm	0.20
\geq 15% Na a 0-20 cm \geq 15% Na a 51-100 cm	0.20

Alcalinidad PSI (Para texturas subsuperficial arenosa. areno-franca y franco arenosa)

PSI	Coefficiente
< 10 % Na a 0-20 cm < 15% Na a 20-50 cm	1.00
< 10 % Na a 0-20 cm < 15% Na a 51-100 cm	1.00
< 10 % Na a 0-20 cm \geq 15% Na a 20-50 cm	1.00
< 10 % Na a 0-20 cm \geq 15% Na a 51-100 cm	1.00
10-15 % Na a 0-20 cm < 15% Na a 20-50 cm	0.90
10-15 % Na a 0-20 cm < 15% Na a 51-100 cm	0.90
10-15 % Na a 0-20 cm \geq 15% Na a 20-50 cm	0.80
10-15 % Na a 0-20 cm \geq 15% Na a 51-100 cm	0.80
\geq 15% Na a 0-20 cm < 15% Na a 20-50 cm	0.70
\geq 15% Na a 0-20 cm < 15% Na a 51-100 cm	0.70
\geq 15% Na a 0-20 cm \geq 15% Na a 20-50 cm	0.60
\geq 15% Na a 0-20 cm \geq 15% Na a 51-100 cm	0.60

Erosión hídrica actual (E)

E	Coefficiente
Gravemente erosionada	0.30
Ligeramente erosionada	0.90
Mínima sin pérdida del horizonte superficial	1.00
Moderadamente erosionada	0.70
Muy gravemente erosionada	0.20
Posibilidad de deposición	0.30
Severamente erosionada	0.50
No tiene	1.00

Erosión eólica actual

E	Coefficiente
Gravemente erosionada	0.50
Ligeramente erosionada	0.95
Mínima sin pérdida del horizonte superficial	1.00
Moderadamente erosionada	0.80
Muy gravemente erosionada	0.20
Severamente erosionada	0.60
No tiene	1.00

Erosión hídrica potencial (E)

E	Coefficiente
Practicamente no susceptible	1.00
Levemente susceptible	0.95
Moderadamente susceptible	0.90
Altamente susceptible	0.85
Posibilidad de deposición	0.50
Posibilidad de deposición y formación de cárcavas	0.40
No tiene	1.00

Erosión eólica potencial (E)

E	Coefficiente
Sin peligro de erosión eólica	1.00
Leve peligro de erosión eólica	0.90
Grave peligro de erosión eólica	0.80
No tiene	1.00

2. Unidades taxonómicas, nivel de Series de suelos

Símbolo	Serie	Símbolo	Serie
Bra	Bragado	LLa	Estacion La Limpia
Bv	Bolivar	Ln	Lincoln
CSa	Carlos Salas	Mrs	Morse
CSe	Canada Seca	NJ	Nueve de Julio
CT	Carlos Tejedor	No	Norumbega
Dr	Drabble	Olg	Olascoaga
DV	Del Valle	Or	Ortiz de Rosas
EDny	Estacion Dennehy	Pas	Piedritas
EDO	Estacion Doce de Octubre	Pch	Pichincha
ELAg	Estancia La Angelita	Pjo	Pehuajo
ELC	Estancia La Criolla	Pt	Patricios
EMre	Estacion Morea	Pu	Pueblitos
EN	Estacion Naon	Pv	Pirovano
Epc	Epecuen	Sa	Saladillo
ESA	Estancia Santa Ana	SBm	Estancia San Baldomero
ESB	Estancia San Bernardo	SRi	Santa Rita
Gmo	Estacion Gonzalez Moreno	Sy	Saboya
He	Henderson	Sz	Salazar
LAB	La Albina	Va	Vedia
LCha	Estancia La Chana	VMy	Veinticinco de Mayo
LGn	La Guanaca		