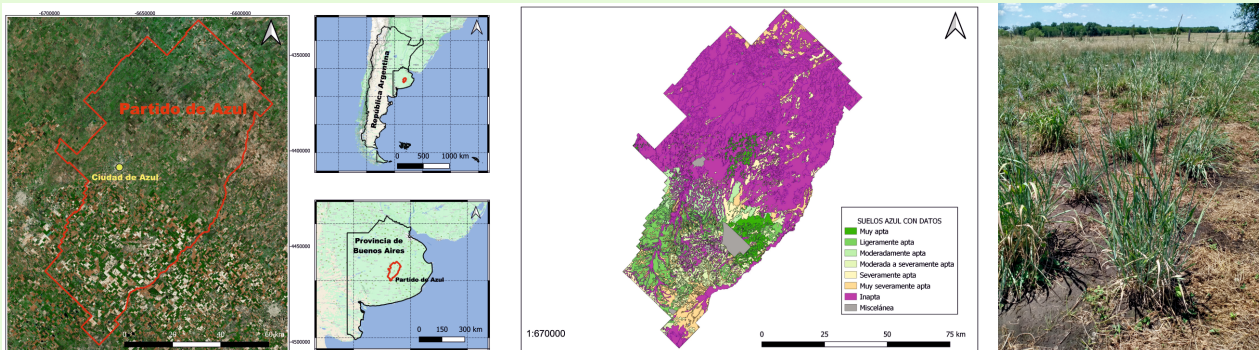


Evaluación de Tierras: Elaboración de un modelo de aptitud de uso agrícola para Kernza (*Thinopyrum intermedium*) en agroecosistemas con distinto grado de artificialización en el Partido de Azul, Provincia de Buenos Aires, Argentina

Autor: Mariano Tomás Cassani

Tesis doctoral UDC / Año 2021



Evaluación de Tierras: Elaboración de un modelo de aptitud de uso agrícola para Kernza (*Thinopyrum intermedium*) en agroecosistemas con distinto grado de artificialización en el Partido de Azul, Provincia de Buenos Aires, Argentina

Autor: Mariano Tomás Cassani

Tesis doctoral UDC / Año 2021

Directora: Eva Vidal Vázquez

Programa Oficial de Doctorado en Investigación Agraria y Forestal



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Programa Oficial de Doctorado en Investigación Agraria y Forestal

Tesis Doctoral

Evaluación de Tierras: Elaboración de un modelo de aptitud de uso agrícola para Kernza (*Thinopyrum intermedium*) en agroecosistemas con distinto grado de artificialización en el Partido de Azul, Provincia de Buenos Aires, Argentina

Mariano Tomás Cassani

Diciembre 2021

DEDICATORIA

A mis viejos y mi hermano.

A Mai.

A la abuela y la tía.

A mis queridos amigos.

A Huguito y Emma.

A mi bisabuela Tomasa y mi bisnonna María.

A mis antepasados.

AGRADECIMIENTOS

A mi gran maestro Marcelo Massobrio.

A Cristina Costa.

A mis colegas Julieta Irigoín y Sebastián Vangeli.

A Antonio Paz González por su gran ayuda.

A Andrés Locatelli de la Universidad de la República, Uruguay.

A Alberto Sfeir.

A la Universidad de A Coruña.

Al grupo INDITEX.

A la FAUBA, en especial a la Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos.

A la Università degli Studi di Teramo.

A la Argentina, España e Italia.

RESUMEN

Un agroecosistema es un sistema complejo, que cuenta con una red multidimensional espacio temporal de componentes y factores. Los distintos componentes geosféricos junto con el hombre son a su vez factores, generando propiedades emergentes que se encuentran interrelacionados: las interfaces. La estabilidad de un agroecosistema es considerada como una propiedad emergente que expresa, en forma sintética, la resiliencia del sistema. Ella indica cómo se encuentra un agroecosistema en relación a la energía externa antropogénica que recibe (artificialización). En la actualidad, los procesos de degradación son los mayores problemas que afectan la capacidad de producción de las tierras agrícolas. La fragilidad heredada a los procesos de degradación de los agroecosistemas se pone de manifiesto (vulnerabilidad) a través de los distintos grados de artificialización del uso de las tierras generando costos de sostenibilidad ambiental. En los últimos años, la evolución fue modelando hacia un concepto de sistema de uso conservacionista de la tierra. Sin embargo, hasta la actualidad ningún sistema de labranza tuvo en cuenta el grado de estabilidad del agroecosistema. La utilización de los diferentes grupos de mesofauna en la evaluación de la estabilidad del ecosistema, resulta un método novedoso. Paralelamente, científicos de The Land Institute (EUA) desarrollaron un nuevo sistema de agricultura: Sistema de Agricultura Natural (con sus siglas en inglés NSA) introduciendo en el agroecosistema una agricultura perenne. El mismo instituto desarrolló una variedad del *Thinopyrum intermedium*, Kernza, que está siendo introducida en el medio-oeste de EUA para grano y para forraje, siendo un cultivo perenne muy prometedor. Por todos sus beneficios y servicios ecosistémicos que puede proveer, el Kernza tiene una alta potencialidad para cambiar el paradigma actual en la agricultura hacia sistemas agrícolas que armonicen con la receptividad ecosistémica de las tierras, expresando una alta estabilidad de los agroecosistemas. La tierra es utilizada con muchos fines los cuales, en algunas ocasiones son complementarios, pero en la mayoría de los casos son conflictivos. La finalidad de la planificación del uso de las tierras es hacer el mejor uso posible de los recursos naturales, valorando las necesidades y la capacidad de la tierra para satisfacerlas, identificando y resolviendo conflictos entre usos competitivos y buscando soluciones sostenibles. Existen diversas metodologías utilizadas en la elaboración de sistemas de evaluación de tierras. Entre ellas, los sistemas expertos son programas informáticos que simulan las capacidades resolutorias de personas expertas en un campo determinado, proporcionando soluciones a un problema. El objetivo de este trabajo fue: Elaborar un modelo de aptitud de uso de las tierras

para Kernza (*Thinopyrum intermedium*), a través de un sistema experto ante distintos escenarios climáticos y de estabilidad del agroecosistema en geoambientes presentes en el partido de Azul, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Los objetivos específicos fueron los siguientes: aplicar indicadores de fragilidad a la degradación física, química y biológica de las tierras, y generar una cartografía específica; desarrollar un índice de fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE) del agroecosistema y generar una cartografía específica; desarrollar un índice de estabilidad (IE) del agroecosistema mediante indicadores biológicos de estabilidad; desarrollar un índice de vulnerabilidad de la estabilidad (IVE) del agroecosistema; aplicar el índice de fragilidad (IFDE) y vulnerabilidad de la estabilidad (IVE), para distintos grados de intensidad de uso de las tierras en un subambiente de lomas periféricas del partido de Azul; clasificar las tierras en función de las capacidades y limitaciones permanentes de los suelos (capacidad de uso de las tierras) y generar una cartografía específica; clasificar las tierras a través del índice de productividad (IP) y generar una cartografía específica; utilizar la herramienta de predicción de resultados de adopción y difusión de nuevas tecnología (ADOPT) para determinar si es factible la adopción de agricultura perenne en el área bajo estudio; desarrollar un modelo de aptitud agrícola para Kernza (*Thinopyrum intermedium*) en el área bajo estudio a través de un sistema experto (ALES) ante distintos escenarios climáticos y de estabilidad del agroecosistema. El área de estudio es el partido de Azul. Éste se ubica en el centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Tiene un clima templado húmedo con influencia oceánica. Los suelos presentes son Argiudoles, Hapludoles, Natracuoles y Natracualfes. Se obtuvo información muy trascendente que puso de manifiesto que la estabilidad de un agroecosistemas está gobernado por las limitaciones permanentes del sistema (geósfera heredada) y se expresa a través del uso de las tierras (vulnerabilidad). La información sirvió para definir la aptitud del Kernza con un criterio transgeneracional y sostenible de uso en el partido de Azul.

RESUMO

Un agroecosistema é un sistema complexo que conta cunha rede multidimensional espazo temporal de compoñentes e factores. Os distintos compoñentes xeosféricos xunto co home son á súa vez factores, xerando propiedades emerxentes que se atopan interrelacionados: as interfaces. A estabilidade dun agroecosistema é considerada como unha propiedade emerxente que expresa, en forma sintética, a resiliencia do sistema. Indica como se atopa un agroecosistema en relación á enerxía externa antropoxénica que recibe (artificialización). Na actualidade, os procesos de degradación son os maiores problemas que afectan á capacidade de produción das terras agrícolas. A fragilidade herdada aos procesos de degradación dos agroecosistemas ponse de manifesto (vulnerabilidade) a través dos distintos graos de artificialización do uso das terras xerando custos de sustentabilidade ambiental. Nos últimos anos, a evolución foi modelando un concepto de sistema de uso conservacionista. Con todo, ata a actualidade ningún sistema de labranza tivo en conta o grao de estabilidade do agroecosistema. A utilización dos diferentes grupos de mesofauna na avaliación da estabilidade do ecosistema, resulta un método novo. Paralelamente, científicos de The Land Institute (EUA) desenvolveron un novo sistema de agricultura: Sistema de Agricultura Natural (coas súas siglas en inglés NSA) introducindo no agroecosistema unha agricultura perenne. O mesmo instituto desenvolveu unha variedade do *Thinopyrum intermedium*, Kernza, que está a ser introducida no medio-oeste de EUA para gran e para forraxe, sendo un cultivo perenne moi prometedor. Por todos os seus beneficios e os servizos ecosistémicos que pode prover, Kernza ten unha alta potencialidade para cambiar o paradigma actual na agricultura cara a sistemas agrícolas que harmonicen coa receptividade ecosistémica das terras, expresando unha alta estabilidade dos agroecosistemas. A terra é utilizada con moitos fins os cales, nalgunhas ocasións son complementarios, pero na maioría dos casos son conflitivos. A finalidade da planificación do uso das terras é facer o mellor uso posible dos recursos naturais, valorando as necesidades e a capacidade da terra para satisfacelas, identificando e resolvendo conflitos entre usos competitivos e buscando solucións sostibles. Existen diversas metodoloxías utilizadas na elaboración de sistemas de avaliación de terras. Entre elas, os sistemas expertos son programas informáticos que simulan as capacidades resolutorias de persoas expertas nun campo determinado, proporcionando solucións a un problema. O obxectivo deste traballo foi: Elaborar un modelo de aptitude de uso das terras para Kernza (*Thinopyrum intermedium*), a través dun sistema experto ante distintos escenarios climáticos e de estabilidade do agroecosistema en

xeoambientes presentes no partido de Azul, Provincia de Buenos Aires, Arxentina. Os obxectivos específicos foron os seguintes: aplicar indicadores de fraxilidade á degradación física, química e biolóxica das terras, e xerar unha cartografía específica; desenvolver un índice de fraxilidade á degradación da estabilidade (IFDE) do agroecosistema e xerar unha cartografía específica; desenvolver un índice de estabilidade (IE) do agroecosistema mediante indicadores biolóxicos de estabilidade; desenvolver un índice de vulnerabilidade da estabilidade (IVE) do agroecosistema; aplicar o índice de fraxilidade (IFDE) e vulnerabilidade da estabilidade (IVE), para distintos graos de intensidade de uso das terras nun subambiente de lombas periféricas do partido de Azul; alasificar as terras en función das capacidades e limitacións permanentes dos solos (capacidade de uso das terras) e xerar unha cartografía específica; clasificar as terras a través do índice de produtividade (IP) e xerar unha cartografía específica; utilizar a ferramenta de predición de resultados de adopción e difusión de novas tecnoloxía (ADOPT) para determinar se é factible a adopción de agricultura perenne na área baixo estudo; desenvolver un modelo de aptitude agrícola para *Kernza* (*Thinopyrum intermedium*) na área baixo estudo a través dun sistema experto (ALES) ante distintos escenarios climáticos e de estabilidade do agroecosistema. A área de estudo será o partido de Azul que está situado no centro da Provincia de Buenos Aires, Arxentina. Ten un clima tépedo húmido con influencia oceánica. Os solos presentes son Arxiudoles, Hapludoles, Natracuoles e Natracualfes. Obtívose información moi transcendente que puxo de manifesto que a estabilidade dun agroecosistema está gobernado polas limitacións permanentes do sistema (xeósfera herdada) e exprésase a través do uso das terras (vulnerabilidade). A información serviu para definir a aptitude do *Kernza* cun criterio transxeracional e sostible de uso no partido de Azul.

SUMMARY

An agroecosystem is a complex system, consisting of a spatio-temporal multidimensional network of components and factors. The different geospheric components together with humans become factors, generating emergent properties that are interrelated: interfaces. The stability of an agroecosystem is considered an emergent property that expresses, in summary, the resilience of the system. It indicates how an agroecosystem reacts to the external anthropogenic energy (artificialization). Land degradation processes are the major issues affecting agricultural production. Fragility to agro-ecosystem degradation processes is shown (vulnerability) through different degrees of land use artificialization, generating environmental sustainability costs. In recent years, there has been an evolution towards conservationist concepts of land use. However, until now, no tillage system has considered the stability of the agro-ecosystem. The use of different mesofauna groups in the evaluation of ecosystem stability is a novel method. At the same time, scientists at The Land Institute (USA) developed a new agricultural system: the Natural System of Agriculture (NSA), introducing perennial agriculture into the agro-ecosystem. The same institute developed a variety of *Thinopyrum intermedium*, Kernza, which is being introduced in the mid-west of the USA for grain and forage, and is a very promising perennial crop. For all the benefits and ecosystem services it can provide, Kernza has a high potential to change the current paradigm in agriculture to farming systems that harmonise with the ecosystem, expressing high agroecosystem stability. Land is used for many purposes that are sometimes complementary, but in most cases in conflict. The aim of land-use planning is to make the best use of natural resources by evaluating needs, the capacity of the land to meet them, identifying and solving conflicts between competing uses and seeking sustainable solutions. There are various methodologies used in the development of land evaluation systems. Among them, there are expert systems consisting of computer programmes that simulate the trouble-shooting capabilities of experts in a given field, providing solutions to a problem. The objective of this job was: "To elaborate a land use suitability model for Kernza (*Thinopyrum intermedium*), through an expert system under different climatic and agroecosystem stability scenarios in geoenvironments present in Azul district, Buenos Aires Province, Argentina". The specific objectives were: to calculate the fragility to physical, chemical, biological degradation and generate specific cartography; to develop a fragility index to stability degradation (IFDE) of the agroecosystem and generate specific cartography; to develop a stability index (IE) of the agroecosystem using biological stability indicators; to develop a stability vulnerability index

(IVE) of the agroecosystem; to apply the fragility index (IFDE) and stability vulnerability index (IVE) for different degrees of land use intensity in a sub-environment of peripheral hills of the Azul district; to classify the lands according to the permanent capacities and limitations of the soils (Land Use Capacity) and generate a specific cartography; to classify the lands through the productivity index (PI) and generate a specific mapping; to use the tool for predicting the results of adoption and diffusion of new technology (ADOPT) to determine if the adoption of perennial agriculture is feasible in the area under study; to develop a suitability model for Kernza (*Thinopyrum intermedium*) in the area under study, through an expert system (ALES) under different climatic scenarios and agro-ecosystem stability. The study area is located in Azul district, in the centre of Buenos Aires Province, Argentina. It has a humid temperate climate with oceanic influence. The soils present are Argiudols, Hapludols, Natracuols and Natracualfes. Important information was obtained showing that the stability of an agroecosystem is governed by the permanent limitations of the system (inherited geosphere) and is expressed through different land use intensity (vulnerability). This information served to define the suitability of Kernza with a transgenerational and sustainable approach in Azul district.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN GENERAL	1
Conceptos	1
Sistemas complejos	1
Sistemas estables e inestables	2
Nuevas metodologías para analizar los agroecosistemas	2
Agroecosistemas estables	3
Evaluación de tierras	4
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	7
Hipótesis	7
Objetivos	7
Objetivo principal	7
Objetivos específicos	8
MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES	9
Caracterización del área de estudio	9
Localización del área de estudio	9
Clima	10
Temperaturas	10
Precipitaciones	12
Evapotranspiración	14
Geomorfología	14
Hidrología	16
Suelos	17
Usos de las Tierras	18
ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	19
CAPÍTULO 1: FRAGILIDAD A LA DEGRADACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LAS TIERRAS	21
INTRODUCCIÓN	22
Fragilidad a la degradación de las tierras	23
OBJETIVOS	24
MATERIALES Y MÉTODOS	25
Fragilidad a la degradación física, química y biológica	25
Fragilidad a la degradación física	26
Cálculo de la fragilidad a la degradación física	26
Clases de intensidad de fragilidad a la degradación física	29
Elaboración de mapa temático para la fragilidad a la degradación física	29

Fragilidad a la degradación química	29
Cálculo de fragilidad a la degradación química	29
Clases de intensidad de fragilidad a la degradación química	30
Elaboración de mapa temático para la fragilidad a la degradación química	31
Fragilidad a la degradación biológica	31
Índice de degradación biológica (IDB)	31
Cálculo de la fragilidad a la degradación biológica	32
Grado de fragilidad a la degradación biológica	32
Elaboración de mapa temático para la fragilidad a la degradación biológica	32
Fragilidad a la degradación de la estabilidad de las tierras	33
Cálculo del Índice de la fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE)	33
Grados de Fragilidad a la Degradación de la Estabilidad	35
Vulnerabilidad de la estabilidad de las tierras	36
RESULTADOS	37
Fragilidad a la degradación física	37
Fragilidad a la degradación química	38
Fragilidad a la degradación biológica	39
Índice de fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE)	41
Desarrollo del índice de estabilidad (IE) del agroecosistema mediante indicadores biológicos de estabilidad	42
Desarrollo del modelo para el cálculo del índice vulnerabilidad de la estabilidad (IVE)	44
Resultado de la aplicación del índice de fragilidad (IFDE) y vulnerabilidad de la estabilidad (IVE) para distintos grados de intensidad de uso de las tierras en un subambiente de lomas periféricas del partido de Azul, utilizando la información generada por Cassani (2020)	44
Propuesta de clasificación de los valores de los índices de estabilidad (IE)	47
Clasificación de las tierras del agroecosistema por grado de estabilidad en relación con la intensificación del uso	47
DISCUSIÓN	48
Fragilidad a la degradación física, química, índice de degradación biológica y de la fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE) de las tierras	48
Índices de estabilidad (IE) y vulnerabilidad de la estabilidad (IVE)	50
CONCLUSIONES	53
CAPÍTULO 2: APLICACIÓN DE DISTINTOS SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE TIERRAS	55
INTRODUCCIÓN	56
Evolución histórica	56
Sistemas Expertos	58
Nuevas alternativas	59

OBJETIVOS	60
MATERIALES Y MÉTODOS	61
Capacidad de Uso de las Tierras	61
Índice de productividad (IP)	63
ADOPT	65
Modelo de Aptitud agrícola para Kernza	65
Armado del modelo de aptitud	65
Tipo de Utilización de la Tierra (TuT)	66
Requisitos del Uso de la Tierra (RuT)	66
Definición de las unidades de las Tierras	67
Características de la Tierra (CaT)	68
Cualidades de la Tierra (CuT)	71
Propuesta de distintos escenarios	73
Escenarios climáticos	73
Escenarios de estabilidad	73
Aplicación del modelo mediante el software ALES	74
RESULTADOS	76
Capacidad de Uso	76
Clases de Capacidad de Uso	76
Subclases de Capacidad de Uso	77
Clases y subclases de Capacidad de Uso	78
Superficie ocupada por las distintas unidades de Capacidad de Uso	79
IP	81
Superficie ocupada por las distintas categorías de IP	82
ADOPT	82
Modelo de aptitud de las tierras para Kernza	84
Arboles de decisión	84
Clases de aptitud de las tierras del partido de Azul para Kernza	92
Escenario de máxima estabilidad	92
Escenario de mínima estabilidad	95
Superficie ocupada por las distintas clases de aptitud para Kernza	98
DISCUSIÓN	101
Capacidad de uso de las tierras	101
Índice de Productividad	103
Comparación de los resultados entre capacidad de uso e IP	104
ADOPT	106
Modelo de aptitud de las tierras para Kernza bajo distintos escenarios climáticos y de estabilidad	107

Comparación de los resultados entre el modelo de aptitud de las tierras para Kernza e IP, en el escenario de máxima estabilidad y P50%	109
CONCLUSIONES	111
CAPÍTULO 3: SÍNTESIS Y CONCLUSIONES	113
SÍNTESIS	114
CONCLUSIONES GENERALES	118
GENERAL CONCLUSIONS	120
BIBLIOGRAFÍA	122
ANEXOS	130
ANEXO 1	131
ANEXO 2	151
ANEXO 3	163

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del partido de Azul dentro de la República Argentina.	10
Figura 2. Temperaturas medias, mínimas medias y máximas medias mensuales para la serie 1997-2018.	11
Figura 3. Probabilidad acumulada de ocurrencia primera (FPH) y última helada (FUH), para la serie 1995-2012 en la localidad de Azul	12
Figura 4. Precipitaciones totales anuales para cada año de la serie analizada en la localidad de Azul (1931-2017)	14
Figura 5. Ambientes físico-geográficos del partido de Azul.....	15
Figura 6. Cuencas del partido de Azul.	17
Figura 7. Mapa de fragilidad a la degradación física de las tierras para el partido de Azul.....	38
Figura 8. Mapa de fragilidad a la degradación química de las tierras para el partido de Azul. ..	39
Figura 9. Mapa de fragilidad a la degradación biológica de las tierras para el partido de Azul.	40
Figura 10. Mapa del Índice de fragilidad a la degradación de la Estabilidad (IFDE) de las tierras para el partido de Azul.	42
Figura 11. Mapa de Clases de Capacidad de Uso de las tierras para el partido de Azul.....	76
Figura 12. Mapa de Subclases de Capacidad de Uso de las tierras para el partido de Azul.	78
Figura 13. Mapa de Clases y Subclases de Capacidad de Uso de las tierras para el partido de Azul.....	79
Figura 14. Mapa del Índice de Productividad (IP) de las tierras para el partido de Azul.	81
Figura 15. Años (A) y porcentaje de adopción máximo (B) estimado para la nueva tecnología por parte de los productores agropecuarios del partido de Azul.	83
Figura 16. Porcentajes estimados de adopción a los 5 y 10 años, y años estimados para llegar al 50% de adopción.	83
Figura 17. Árbol de decisión para la cualidad Disponibilidad de oxígeno para el TuT Kernza..	85
Figura 18. Árbol de decisión para la cualidad Espacio para la Exploración Radicular para el TuT Kernza.	86
Figura 19. Árbol de decisión para la cualidad Salinidad para el TuT Kernza.....	87
Figura 20. Árbol de decisión para la cualidad Anegamiento y para Anegamiento con un P80% e inestable para el TuT Kernza.	88
Figura 21. Árbol de decisión para la cualidad Disponibilidad de Nutrientes para el TuT Kernza.	89
Figura 22. Árbol de decisión para la cualidad PSI Sodio Intercambiable (%) para el TuT Kernza.	90
Figura 23. Árbol de decisión para la cualidad Disponibilidad de Agua para el TuT Kernza.....	91
Figura 24. Mapa de aptitud de las tierras para Kernza en el escenario de máxima estabilidad P20% para el partido de Azul.....	92
Figura 25. Mapa de aptitud de las tierras para Kernza en el escenario de máxima estabilidad P50% para el partido de Azul.....	93
Figura 26. Mapa de aptitud de las tierras para Kernza en el escenario de máxima estabilidad P80% para el partido de Azul.....	94
Figura 27. Mapa de aptitud de las tierras para Kernza en el escenario de mínima estabilidad P20% para el partido de Azul.....	95
Figura 28. Mapa de aptitud de las tierras para Kernza en el escenario de mínima estabilidad P50% para el partido de Azul.....	96
Figura 29. Mapa de aptitud de las tierras para Kernza en el escenario de mínima estabilidad P80% para el partido de Azul.....	97

Figura 30. Relación entre las distintas clases de Capacidades de Uso y los IP para las unidades cartográficas del Partido de Azul.	105
Figura 31. Relación entre las distintas clases y subclases de Capacidades de Uso y los IP para las unidades cartográficas del Partido de Azul.....	105
Figura 32. Relación entre las distintas aptitudes de la tierra y los IP para las unidades cartográficas del Partido de Azul.	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fecha de primera helada (FPH), fecha de última helada (FUH), periodo con helada (PER), temperatura mínima anual (Tabs) y frecuencia de días con heladas anuales (FH) para serie 1995-2012 de la localidad de Azul.....	11
Tabla 2. Medidas resumen para las precipitaciones medias mensuales para la estación Aero-Azul (1931-2017).....	13
Tabla 3. Evapotranspiración Potencial mensual media calculada por el Método de Thornthwaite (1) y Penman-FAO (2).	14
Tabla 4. Expresión de la fragilidad a la degradación física a través del aumento de la Densidad Aparente (% en cambio anual) respecto de los valores iniciales.....	29
Tabla 5. Expresión de la fragilidad a la degradación química a través de la disminución de la saturación de bases (% en cambio anual) respecto de los valores iniciales.	31
Tabla 6. Expresión de la fragilidad a la degradación biológica a través del índice de degradación biológica (IDB).	32
Tabla 7. Expresión de la fragilidad a la degradación de la estabilidad a través del índice IFDE.35	35
Tabla 8. Vulnerabilidad de las Tierras con un alto grado de artificialización.....	45
Tabla 9. Vulnerabilidad de las Tierras con un muy bajo a nulo grado de artificialización.....	46
Tabla 10. Valores del IE y el grado de estabilidad del agroecosistema.	47
Tabla 11. Requisitos del uso de la tierra para Kernza y la bibliografía consultada.	66
Tabla 12. Características edáficas seleccionadas con sus rangos y clases.	69
Tabla 13. Características climáticas seleccionadas con sus rangos y clases.	70
Tabla 14. Categorías de evaluación y su valor.....	71
Tabla 15. Simulación de distintos escenario para las precipitaciones.....	74
Tabla 16. Distintas categorías de clasificación de las tierras para cada valor obtenido en el modelo del software ALES.	75
Tabla 17. Superficie ocupada por las distintas clases de Capacidad de Uso en el partido de Azul.	80
Tabla 18. Superficie ocupada por las distintas subclases de Capacidad de Uso en el partido de Azul.....	80
Tabla 19. Superficie ocupada por las distintas clases y subclases de Capacidad de Uso en el partido de Azul.....	80
Tabla 20. Superficie ocupada para las distintas categorías de IP en el partido de Azul.....	82
Tabla 21. Superficie ocupada por las distintas clases de aptitud de Kernza para los tres escenarios climáticos en el escenario de máxima estabilidad.	100
Tabla 22. Superficie ocupada por las distintas clases de aptitud de Kernza para los tres escenarios climáticos en el escenario de mínima estabilidad.....	100

ABREVIATURAS

ADOPT: Adoption and Diffusion Outcome Prediction Tool (inglés). Herramienta de predicción de resultados de adopción y difusión (castellano).

ALES: Automated Land Evaluation System (inglés). Sistema Automático de Evaluación de Tierras (castellano).

CaT: Características de la Tierra.

ETP: Evapotranspiración potencial.

FH: Frecuencia de días con heladas.

FPH: Fecha de primera helada.

FUH: Fecha de última helada.

IDB: Índice de Degradación Biológica.

IE: Índice de Estabilidad del Agroecosistema.

IFDE: Índice de Fragilidad a la Degradación de la Estabilidad.

IP: Índice de Productividad.

IVE: Índice de Vulnerabilidad de la Estabilidad.

PER: Periodo con heladas.

RuT: Requisitos del Uso de la Tierra.

TuT: Tipo de Utilización de la Tierra.

INTRODUCCIÓN GENERAL

Conceptos

Sistemas complejos

En las últimas décadas, se ha producido una importante transformación conceptual y metodológica relacionada al estudio de los llamados fenómenos no-lineales (Mandelbrot, 1983; Munné, 1995; Miramontes, 1999). La llamada ciencia de la complejidad surge de las interrelaciones de disciplinas tales como la Física, las Matemáticas, la Biología, la Economía, la Ingeniería y la Ciencia Informática (Massobrio et al., 2016).

En base al funcionamiento de los sistemas se pueden distinguir dos grandes grupos:

- Sistemas descomponibles:

Son conjuntos de elementos organizados, con un funcionamiento característico pero cuyas partes son aislables y pueden modificarse independientemente una de otras. Un sistema descomponible muy sofisticado será clasificado de “complicado”, pero no de “complejo”.

- Sistemas no-descomponibles o semi-descomponibles:

Los sistemas complejos, son aquellos constituidos por procesos determinados por la confluencia de múltiples factores que interactúan y no son aislables. En un sistema no descomponible, los distintos componentes sólo pueden ser definidos en función del resto. Los sistemas complejos dominan la estructura y función del universo y se constituyen y manifiestan en la inmensa mayoría de los fenómenos observables (García, 2006).

Un paisaje es una red multidimensional espacio-temporal de componentes que, a su vez, son factores. En él conviven los distintos atributos geosféricos: clima, relieve, roca, suelo, hidrología, flora y fauna conjuntamente con los sistemas materiales e inmateriales socio-culturales humanos. Todos son componentes y factores del paisaje, cada uno de los cuales

posee sus propias dimensiones espaciales y temporales. Las propiedades espacio temporales de los sistemas complejos que surgen espontáneamente de la interacción entre sus elementos constituyentes son las llamadas “Propiedades Emergentes”. Los sistemas de interface son emergentes, no descomponibles; los distintos componentes sólo pueden ser definidos en función del resto, que determinan el comportamiento humano, en los diferentes tipos de utilización de las tierras (Massobrio, 2003; Massobrio et al., 2013).

Sistemas estables e inestables

Los sistemas edáficos están en un régimen de criticalidad, característico de sistemas capaces de evolucionar que les permite mantener un cierto control sobre su estado, al mismo tiempo que le da “adaptabilidad” a nuevos regímenes de perturbación. Esta propiedad no es homogénea espacialmente, ni vertical ni horizontalmente, dando como resultado que ciertas zonas del sistema “controlan” el comportamiento de otras y regulan así la repuesta global (Ruggerio y Massobrio, 2020). De esta manera, el ecosistema edáfico es un resultado histórico y, se podría decir que es un resultado evolutivo. Como tal, se puede suponer que ha sido sometido a procesos de selección que produjeron sistemas con una alta eficiencia en el procesado y disipación de la energía externa que reciben (Massobrio, 2003; Cassani, 2020; Cassani et al., 2020).

Nuevas metodologías para analizar los agroecosistemas

Tradicionalmente, los sistemas de producción agrícola han sido evaluados mediante el concepto de calidad de suelos, donde utilizan indicadores de índole químico, físico y biológico, por ejemplo: contenido de materia orgánica, densidad aparente, CIC, entre otras (Domínguez, 2012). En las últimas décadas se han intensificado las búsquedas de diferentes medios para caracterizar el estado de calidad del suelo en un

agroecosistema. El uso de índices biológicos es un método eficaz que utiliza a la mesofauna edáfica como indicadora de la calidad del sistema edáfico. El número, la densidad y el balance de sus grupos funcionales permiten predecir y evaluar las transformaciones ocasionadas por la aplicación de diferentes métodos de producción agrícola en condiciones edafoclimáticas específicas (Bedano et al., 2011; Socarrás, 2013; Socarrás e Izquierdo, 2014). Nuevas investigaciones han propuesto una forma de estudiar el funcionamiento del agroecosistema bajo la conceptualización de considerar a los mismos, sistemas complejos. Teniendo en cuenta lo expresado con anterioridad, la utilización de los diferentes grupos de mesofauna en la evaluación de la estabilidad del ecosistema conlleva a un análisis del grado de sensibilidad frente a las perturbaciones ocasionadas por el hombre (Socarrás, 2013; Socarrás e Izquierdo, 2014; Cassani et al., 2020; Cassani et al., 2021). En este sentido, la estabilidad es considerada una propiedad emergente de cada agroecosistema, que indica en forma sintética cuál es su condición en relación con la energía antrópica externa, artificialización que recibe y su capacidad para metabolizarla y mantener el control sobre su condición y persistir (Cassani, 2020; Cassani et al., 2020).

Agroecosistemas estables

Alrededor de 1978, investigadores del Land Institute (Kansas, EUA) propusieron desarrollar un nuevo sistema de agricultura llamado Sistema de Agricultura Natural (NSA) introduciendo un nuevo paradigma en el uso de las tierras. El NSA consiste en el desarrollo de sistemas de producción de granos perennes, los cuales imitarían el comportamiento de la naturaleza. Actualmente, se tiene la capacidad técnica y la comprensión ecológica para reinventar la agricultura captando los principales rasgos de perennidad y diversidad que caracterizan a los ecosistemas terrestres naturales. Tal

reinención también desafiaría las relaciones sociales y económicas que mantienen el actual modelo industrial de agricultura. Los NSA prometen agroecosistemas más sostenibles con el potencial de revitalizar también la base económica de la agricultura y, por lo tanto, de las sociedades rurales (Jackson, 2002; Crews et al., 2018).

El Kernza es una nueva variedad de *Thinopyrum intermedium* desarrollada por Land Institute (Muckey, 2019). Es la primera especie de grano perenne comercial disponible en el mercado y está siendo introducido en EUA para grano y forraje. Es un cultivo perenne, con un grano relativamente grande, el cual es similar al del trigo (Lanker et al., 2019). Es una variedad muy prometedora debido a la gran provisión de carbono orgánico por parte de sus residuos que junto con la profundidad y cantidad de sus raíces, favorece la estructuración del suelo, permite un mayor acceso al agua, reduce las lixiviaciones de nutrientes y al ser un cultivo perenne solo requiere una siembra. Según Lanker et al. (2019) el Kernza, por todos los beneficios y servicios ecosistémicos que puede proveer, tiene una alta potencialidad para cambiar el paradigma actual en la agricultura.

Evaluación de tierras

El territorio es utilizado con muchos fines los cuales, ocasionalmente, son complementarios, pero en la mayoría son conflictivos, es decir, no pueden localizarse simultáneamente en la misma unidad. En las sociedades modernas, la gestión del territorio tiene una importancia prioritaria, donde el incremento de la superficie de las zonas urbanas por la presión demográfica, compite con las superficies rurales productivas. Consecuentemente, la planificación del uso del territorio cumple una función muy importante al hacer el mejor uso posible de los recursos naturales, valorando las necesidades y la capacidad de la tierra para satisfacerlas, identificando y resolviendo conflictos entre usos competitivos y buscando soluciones sostenibles en el tiempo (FAO

1976, 1985; Irigoín, 2011). Según FAO (1985) se considera tierra a todos los componentes del paisaje que interviene en el acto productivo.

La evaluación de tierras es el proceso de valoración del comportamiento de áreas definidas del espacio cuando se destina a fines específicos no desarrollados en la región de estudio. La evaluación de tierras es parte integrante de la planificación del uso de la tierra, que pone a disposición de los planificadores del uso del territorio información sobre la aptitud de distintos usos para la toma de decisiones (FAO, 1976, 1985; Mirella et al., 2013).

La evaluación de tierras implica la ejecución e interpretación de estudios básicos del clima, los suelos, la vegetación y otros aspectos de la tierra en lo que respecta a los requisitos de las formas alternativas de utilización de la tierra (FAO, 1976). Existen diversas metodologías en la elaboración de sistemas de evaluación de tierras, dentro de ellas están las que utilizan modelos, como los sistemas expertos.

Los sistemas de evaluación de tierras que fueron aplicados de manera generalizada en la Argentina, Capacidad de Uso (Klingebiel y Montgomery, 1961) e Índice de Productividad (Nakama y Sobral, 1987) no tienen la potencialidad de desarrollar una evaluación dinámica de la aptitud de uso de las tierras (Irigoín, 2011), es decir, no pueden predecir resultados ante diferentes escenarios ambientales en el corto, mediano y largo plazo. A pesar de esto, los sistemas tradicionales otorgan una gran cantidad de información y son muy robustos en el cumplimiento de los objetivos que plantean estas clasificaciones.

En los diferentes ambientes del partido de Azul, con los aumentos de los precios de los commodities a principios de la década del '90 (Reboratti, 2010) se experimentó un cambio en el uso del territorio. Se reemplazó los sistemas ganaderos de cría, recría e invernada, que ocupaban la mayor parte de los establecimientos agropecuarios, hacia

sistemas agrícolas, potenciado por el ingreso a la región de la labranza cero. Este proceso de agriculturización permitió el avance en ambientes con una alta fragilidad ambiental (Rocha, 2018).

Al comprender hoy la interacción multidimensional de los componentes del paisaje, nuestra habilidad será poder armonizar los atributos materiales e inmateriales del mismo, a través de la identificación de indicadores ambientales que nos permitan el monitoreo de los escenarios de vulnerabilidad generados o a generarse por las actividades humanas. Esta información permitirá desarrollar estrategias de gestión del uso del territorio seleccionando aquellas opciones de estilos de uso del paisaje que armonicen con la receptividad ecosistémica del mismo (Massobrio, 2003; Massobrio et al., 2007; Irigoín, 2011).

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis

- **H1**-El grado de estabilidad de un agroecosistema está gobernada por los distintos factores geosféricos heredados.
- **H2-Alternativa**: El grado de artificialización de los distintos sistemas de uso de las tierras condiciona el grado de estabilidad del agroecosistema.
- **H3-Síntesis**: El grado de estabilidad de un agroecosistema está gobernado por los distintos factores geosféricos heredados, pero se expresa a través de los distintos grados de artificialización de las tierras.

Objetivos

Teniendo en cuenta los conceptos desarrollados con anterioridad, se plantean los siguientes objetivos:

Objetivo principal

Elaborar un modelo de aptitud de uso de las tierras para Kernza (*Thinopyrum intermedium*), a través de un sistema experto ante distintos escenarios climáticos y de estabilidad del agroecosistema en geoambientes presentes en el partido de Azul, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Objetivos específicos

- 1- Aplicar indicadores de fragilidad a la degradación física, química y biológica de las tierras y generar una cartografía específica.
- 2- Desarrollar un índice de fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE) del agroecosistema y generar una cartografía específica.
- 3- Desarrollar un índice de estabilidad (IE) del agroecosistema mediante indicadores biológicos de estabilidad.
- 4- Desarrollar un índice de vulnerabilidad de la estabilidad (IVE) del agroecosistema.
- 5- Aplicar el índice de fragilidad (IFDE) y vulnerabilidad de la estabilidad (IVE), para distintos grados de intensidad de uso de las tierras en un subambiente de lomas periféricas del partido de Azul
- 6- Clasificar las tierras en función de las capacidades y limitaciones permanentes de los suelos (Capacidad de Uso de las Tierras) y generar una cartografía específica.
- 7- Clasificar las tierras a través del Índice de Productividad (IP) y generar una cartografía específica.
- 8- Utilizar la herramienta de predicción de resultados de adopción y difusión de nuevas tecnología (ADOPT) para determinar si es factible la adopción de agricultura perenne en el área bajo estudio.
- 9- Desarrollar un modelo de aptitud agrícola para Kernza (*Thinopyrum intermedium*) en el área bajo estudio a través de un sistema experto (ALES) ante distintos escenarios climáticos y de estabilidad del agroecosistema.

MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES

Caracterización del área de estudio

Localización del área de estudio

El Partido de Azul está ubicado en el centro de la Provincia de Buenos Aires, República Argentina (36,13°37,27' S y 59,08°60,12' O), en la ecoregión Pampa (Matteucci, 2012), posee una superficie de 6.551 Km² y se encuentra limitado por los partidos de Tapalqué, Las Flores, Rauch, Tandil, Benito Juárez y Olavarría (Figura 1).

El partido de Azul se divide en dos grandes complejos: Pampa Serrana la mitad sur, y Pampa Deprimida la mitad norte (Matteucci, 2012). Además, según Zulaica (2005) el partido se haya compartimentado ecológicamente en tres: el Sistema de Serranías, Llanuras Periserranas y Planicies deprimidas.

Azul se halla comunicado a través de las rutas nacionales 3 y 226, y las provinciales 51 y 60. La ciudad de Azul, cabecera del partido, se encuentra a una distancia de 300 Km de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 240 Km del Puerto de Quequén, 265 Km de Mar del Plata y 365 Km de la Ciudad de Bahía Blanca. Actualmente, según estimaciones del INDEC (2020), el partido de Azul tiene 67.667 habitantes con una densidad de 10,23 Hab/Km².

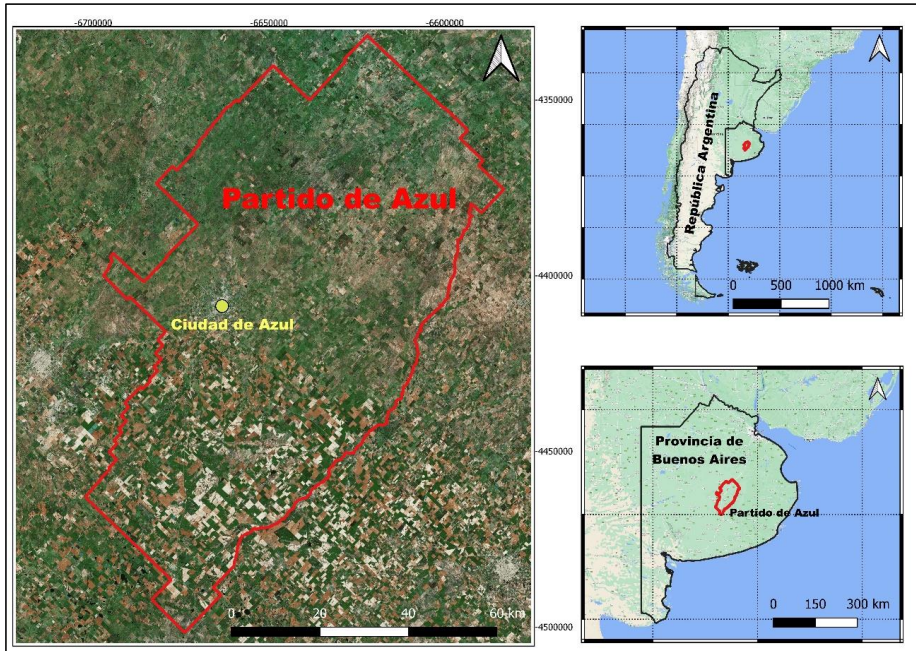


Figura 1. Ubicación del partido de Azul dentro de la República Argentina.

Clima

Según la clasificación de Köppen, el partido de Azul posee un clima templado húmedo con influencia oceánica, inviernos fríos, veranos cortos y frescos y presenta todas las estaciones húmedas. Pertenece a la región húmeda-subhúmeda (Requesens, 2011).

Temperaturas

Para la serie 1997-2018 de la Estación Meteorológica AeroAzul, localizada en la Ciudad de Azul, la temperatura media anual fue de 14,2 °C, con una media de 21,8 °C para el mes más cálido (enero) y 7 °C para el mes más frío (julio) (NOAA, 2019). Las temperaturas máximas medias fueron de 31,4 °C en el mes de enero y las mínimas medias

de -1,4 °C en el mes de julio (Figura 2). La velocidad promedio del viento fue de 12,4 Km/h (NOAA, 2019).

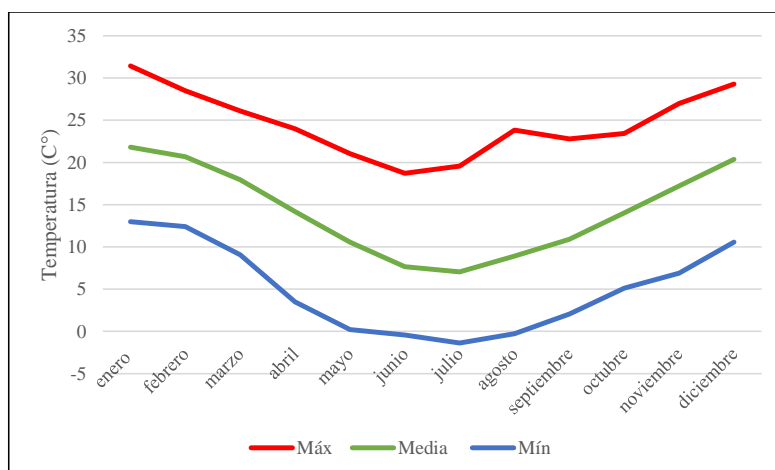


Figura 2. Temperaturas medias, mínimas medias y máximas medias mensuales para la serie 1997-2018.

La fecha media de la primera helada (helada agrometeorológica 3°C) para la serie 1995-2012 fue el 24 de marzo y la de la última el 17 de noviembre. Hay un período con heladas de 239 días y una frecuencia de 92 días por año con heladas (CIAg, 2013) (Tabla 1 y Figura 3).

Tabla 1. Fecha de primera helada (FPH), fecha de última helada (FUH), periodo con helada (PER), temperatura mínima anual (Tabs) y frecuencia de días con heladas anuales (FH) para serie 1995-2012 de la localidad de Azul (CIAg, 2013).

	FPH	FUH	PER	Tabs (C°)	FH
Valores medios	24-mar	17-nov	239	-7,1	92
Desvío estándar	29	21	36	1,2	17
Valores con probabilidad (20 %):	25-feb	2-dic	282	-8,1	106
Extremos	11-ene	24-dic	304	-10,1	126

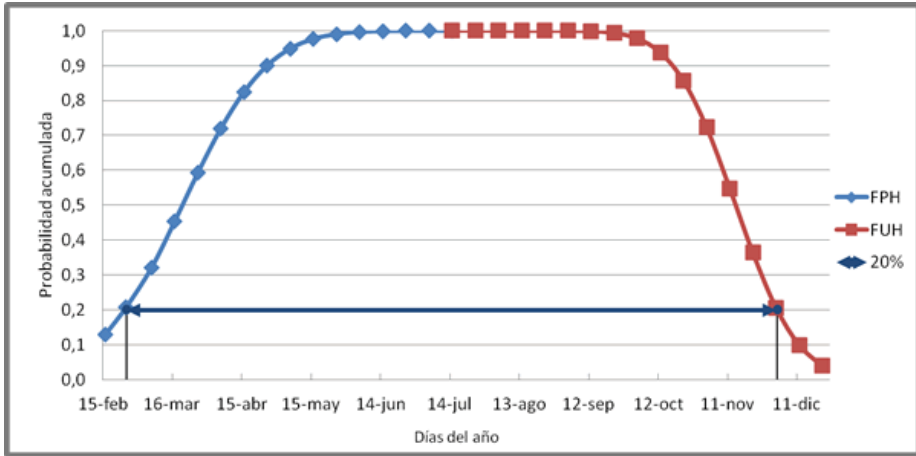


Figura 3. Probabilidad acumulada de ocurrencia primera (FPH) y última helada (FUH), para la serie 1995-2012 en la localidad de Azul (CIAg, 2013).

Precipitaciones

La media anual de precipitaciones fue de 921 mm, para la serie 1931-2017. El valor de precipitaciones mínimo anual fue de 590 mm, correspondiente al año 1935, y el de máximo anual de 1449 mm, ocurrido en el año 2012 (SMN, 2018; Cassani, 2020) (Tabla 2).

Según Cassani (2020b), mediante la aplicación de la prueba Mann-Kendall, hay una tendencia leve, pero positiva, de aumento de las precipitaciones desde el año 1931 al 2017. En los años 1933, 1939, 1946, 1963, 1977, 1978, 1980, 1990, 2000, 2001, 2002, 2012 y 2014 hubo grandes eventos de precipitaciones. Contrariamente, en los años 1935, 1937, 1942, 1950, 1959, 1962, 1970, 1979, 1981, 2005, 2008 y 2013 se desarrollaron sequías muy intensas (Figura 4). Estos eventos fueron detectados realizando el Método de la Anomalía Central Reducida (ACR), donde detectan anomalías en valores superiores en +/- 1 veces los desvíos estándar.

Cassani (2020b) advirtió la existencia de diversas periodicidades en intervalos de 12 años y 2,5 años en las precipitaciones, mediante la aplicación del método del análisis espectral (MESA). Los intervalos de 12 años se asociaron a los ciclos de manchas solares. Los intervalos de 2,5 años se los relacionó con la inversión periódica en la detección de los vientos en la estratosfera, que ocurre cada 27 meses, a las cuales se les llaman oscilaciones cuasi bianuales (Cassani, 2020). Otra causa es debido a la influencia del ENOS (El Niño Oscilación del Sur) que puede causar oscilaciones entre 3 y 8 años (WMO, 1985; Pérez et al., 2013).

Tabla 2. Medidas resumen para las precipitaciones medias mensuales para la estación Aero-Azul (1931-2017) (Cassani, 2020).

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual
Media	97	90	121	79	66	44	44	47	63	91	92	88	921
D.E.	56	47	63	75	55	41	33	48	41	62	53	45	181
CV	58	52	52	94	83	94	76	102	66	69	58	52	20
Mín	7	13	0	0	0	0	1	0	0	2	2	10	590
Máx	254	221	316	601	335	274	161	310	165	451	231	214	1449

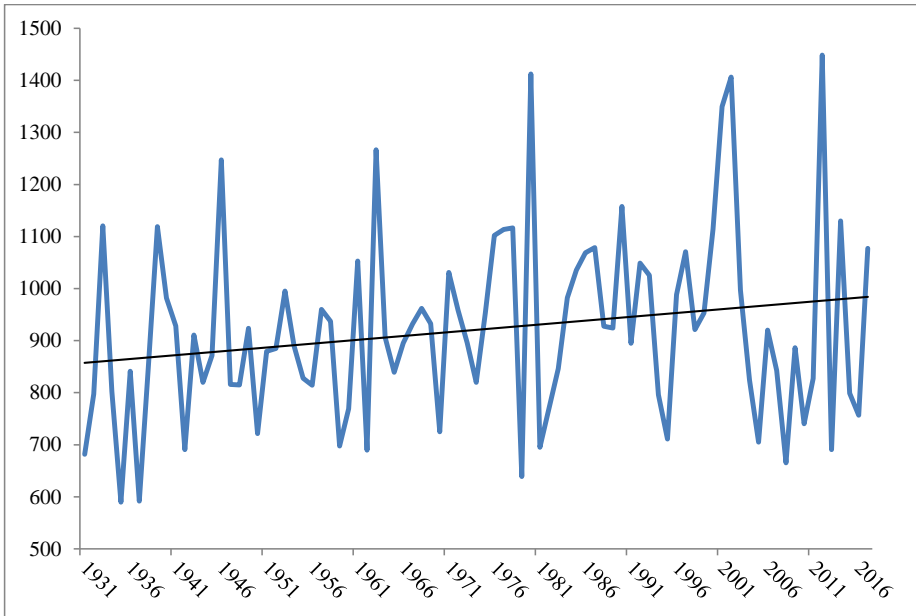


Figura 4. Precipitaciones totales anuales para cada año de la serie analizada en la localidad de Azul (1931-2017) (Cassani, 2020). Se muestran la línea de tendencia, donde se observa el leve incremento de las precipitaciones en el tiempo.

Evapotranspiración

Tabla 3. Evapotranspiración Potencial mensual media calculada por el Método de Thornthwaite (1) y Penman-FAO (2).

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual
ETP(1)	130,7	96,1	82,1	50,8	30	17	18,7	26,2	36	63	84,2	117,2	752
ETP(2)	141,6	107,1	79,1	43,6	20,5	10,5	14,3	31,9	54,8	85,8	117,1	137,4	843,6

Geomorfología

Según Piscitelli y Sfeir (2004), el partido de Azul se divide en seis ambientes físico-geográficos: a. Ambiente Serrano, b. Ambiente Periserrano, c. Ambiente Ondulado de Pie de Monte, (al sur del partido) d. Ambiente de Planicie Suavemente Ondulada, e.

Planicie de Derrames, f. Llanuras aluviales (al norte del partido) (Figura 5). Los primeros tres estarían insertos en el complejo de Pampa Serrana, los tres últimos en el complejo de Pampa Deprimida (Matteucci, 2012). Dentro del ambiente serrano se reconocen dos subambientes: cerros y lomas periféricas.

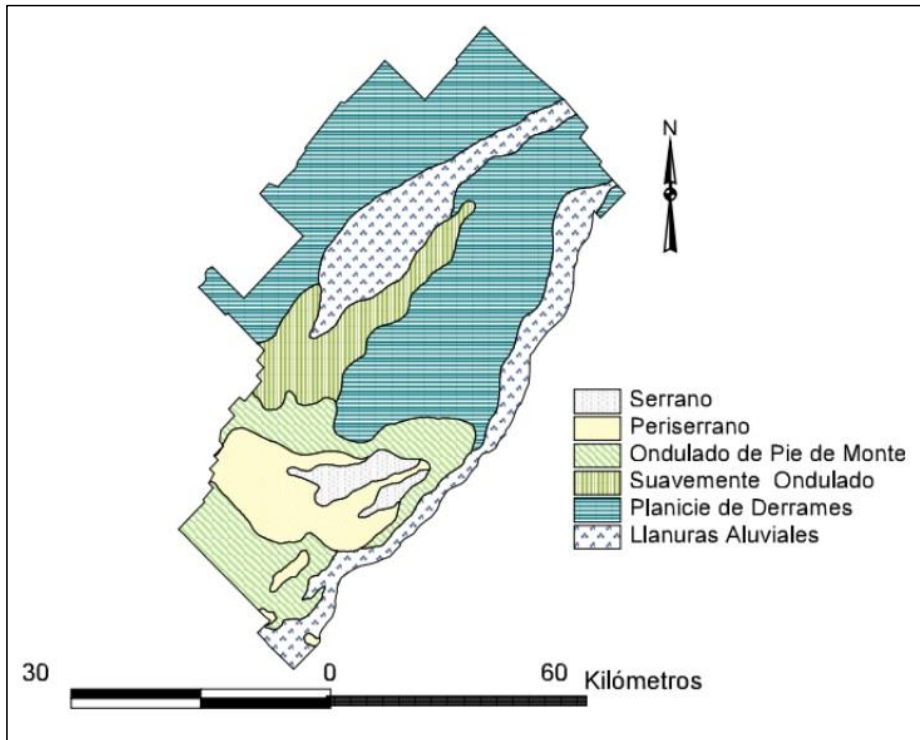


Figura 5. Ambientes físico-geográficos del partido de Azul. Extraído de Piscitelli y Sfeir (2004).

Los ambientes dentro de Pampa Serrana son ondulados y escarpados. El origen de estas sierras es muy antiguo, de alrededor de 400 millones de años. A través de los años, estos afloramientos rocosos fueron meteorizados, por lo cual los pequeños cerros que se encuentran en la actualidad son de baja altitud. Sobre esta formación a través de los milenios se fue depositando material sedimentario. El último pulso de sedimentación fue el llamado Loess Pampeano, que es el material original de los suelos presentes en el

partido de Azul y en la mayoría de la región Pampeana. Hacia el norte del partido, en los ambientes pertenecientes a la Pampa Deprimida, las pendientes en dirección sur-norte son muy bajas formando una gran planicie de derrames (Piscitelli y Sfeir, 2004).

Hidrología

El partido de Azul forma parte de tres cuencas endorreicas: Arroyo Tapalqué, Arroyo del Azul y Arroyo los Huesos (Piscitelli y Sfeir, 2004) (Figura 6). Los dos últimos, recorren en la totalidad al partido de Azul en dirección sur-norte, y dependiendo del ambiente en que se encuentren tiene diferentes comportamientos. Según estos mismos autores, se diferencia la cuenca alta al sur (Pampa Serrana) y la cuenca baja al norte (Pampa Deprimida). En la cuenca alta, los arroyos se comportan como ríos de montaña, y constituyen importantes colectores de los escurrimientos superficiales y subsuperficiales. En cambio, en la cuenca baja, estos mismos arroyos conjuntamente con otros de menor importancia, se comportan como típicos ríos de llanura, presentando un tipo de drenaje semiárido, circulando una distancia y luego se secan. En ocasiones, llegan hasta lagunas o unen cubetas que se conectan a través de los mismos durante épocas de lluvias extraordinarias, que luego se secan. Esta particularidad, que afecta la formación de suelos y en el manejo de las tierras, es producto de la insuficiente pendiente regional y no del clima (Tricart, 1973).

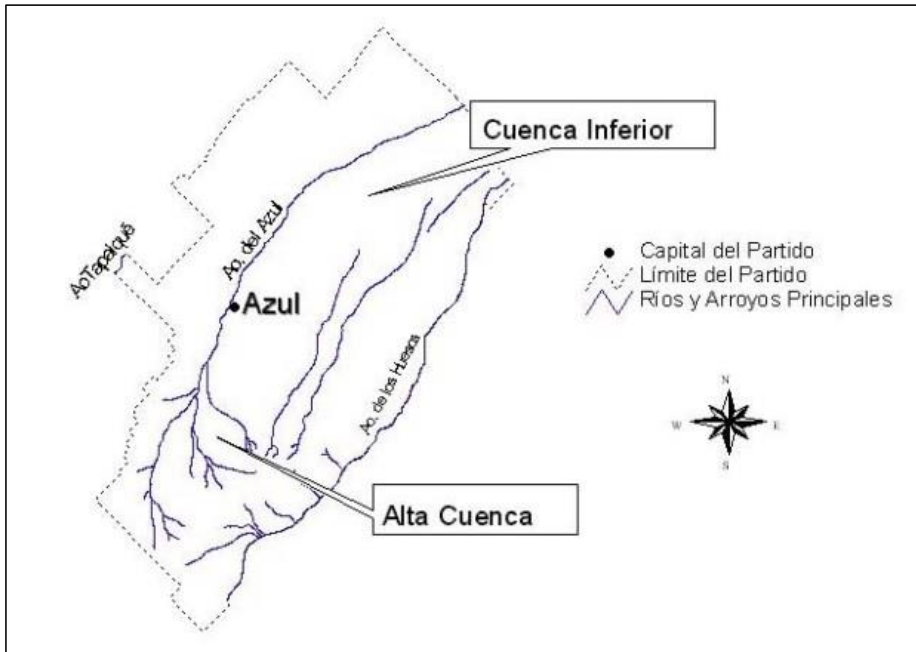


Figura 6. Cuencas del partido de Azul. Extraído de Piscitelli y Sfeir (2004).

Suelos

Al encontrarse el partido de Azul dividido entre dos grandes complejos, la Pampa Serrana y la Pampa Deprimida, los suelos están bien definidos y son contrastantes entre ambas pampas. Los suelos presentes en la Pampa Serrana son: Hapludoles, Hapludoles líticos; Argiudoles típicos, Argiudoles líticos, petrocálcicos y ácuicos; Natracuoles. En la Pampa Deprimida se presentan: Argiudoles típicos, Hapludoles thapto árgico y Hapludoles thapto nátricos, Natracuoles típicos y Natracualfes típicos (Piscitelli y Sfeir, 2004; INTA, 2005).

La información edáfica utilizada, correspondiente al Partido de Azul, comprende las cartas de suelos a escala de semidetalle de escala 1:50.000 realizadas por el INTA: 3760-28-1, 3760-27-2, 3760-23-1, 3760-22, 3760-21-2, 3760-21-4, 3760-17-1, 3760-17-3,

3760-16, 3760-15-2, 3760-15-4, 3760-11, 3760-10, 3760-9-4, 3760-5-3, 3760-4-3 y 3760-4-4 (Cruzate et al., 2010; Banchemo y Bellini Saibene, 2016).

Usos de las Tierras

En el partido de Azul, los principales usos de las tierras son similares al resto de la región Pampeana. Las principales actividades son la agricultura, la ganadería, y sistemas agrícola-ganaderos (Vázquez et al., 2012). Los cultivos agrícolas anuales más comunes son la soja (*Glycine max*), el maíz (*Zea mays*), el trigo (*Triticum aestivum*), la cebada (*Hordeum vulgare*) y el girasol (*Helianthus annuus*). Con una superficie sembrada en la campaña 2018-2019 de 142310 ha, 50944 ha, 43546 ha, 42835 ha y 19172 ha, respectivamente (Ministerio de Hacienda y Finanzas, 2019; Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2020). La ganadería ocupa un rol muy importante en el partido. Hay campos naturales (pastizales) y pasturas implantadas. El stock bovino fue de 536910 cabezas, el ovino 60224 cabezas y porcino 12789 cabezas para el año 2019 (Ministerio de Hacienda y Finanzas, 2019).

ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

Para el desarrollo de los objetivos propuestos, la tesis se organiza de la siguiente manera:

- En el Capítulo 1, “**Fragilidad a la degradación de la estabilidad de las tierras**”, se desarrollaron los objetivos 1, 2, 3, 4 y 5: 1) Aplicar indicadores de fragilidad a la degradación física, química, biológica de las tierras y generar una cartografía específica; 2) Desarrollar un índice de fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE) del agroecosistema y generar una cartografía específica; 3) Desarrollar un índice de estabilidad (IE) del agroecosistema mediante indicadores biológicos de estabilidad; 4) Desarrollar un índice de vulnerabilidad de la estabilidad (IVE) del agroecosistema; 5) Aplicar el índice de fragilidad (IFDE) y vulnerabilidad de la estabilidad (IVE), para distintos grados de intensidad de uso de las tierras en un subambiente de lomas periféricas del partido de Azul.
- En el Capítulo 2 “**Aplicación de distintos sistemas de Evaluación de Tierras**”, se desarrollaron los objetivos 6, 7, 8 y 9: 6) Clasificar las tierras en función de las capacidades y limitaciones permanentes de los suelos (capacidad de uso de las tierras) y generar una cartografía específica. 7) Clasificar las tierras a través del índice de productividad (IP) y generar una cartografía específica. 8) Utilizar herramienta de predicción de resultados de adopción y difusión de nuevas tecnología (ADOPT) para determinar si es factible la adopción de agricultura perenne en el área bajo estudio. 9) Desarrollar un modelo de aptitud agrícola para Kernza (*Thinopyrum intermedium*) en el área bajo estudio a través de un sistema experto (ALES) ante distintos escenarios climáticos y de estabilidad del agroecosistema.

- En el capítulo 3 “**Síntesis y conclusiones**”, se desarrolló una síntesis de los objetivos y puesta a prueba de las hipótesis en relación a los resultados y la discusión. Además, se presentaron las conclusiones generales en castellano e inglés.

CAPÍTULO 1

FRAGILIDAD A LA DEGRADACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LAS TIERRAS

INTRODUCCIÓN

Cuando el hombre, por desidia, ignorancia o falta de alternativas, abusa de los recursos que le proporciona el ambiente, el equilibrio natural se altera, desencadenando procesos que culminan en una intensa degradación de los agroecosistemas (Cassani et al., 2021).

Los recursos naturales son finitos en el tiempo y el espacio, esto nos lleva a la necesidad de reconocer y valorizar los efectos y costos ambientales de las actividades humanas en un agroecosistema para el logro de un desarrollo sustentable. El grado de alteración generado depende, principalmente, del grado de fragilidad heredada, la intensidad de su uso (artificialización) y la irracionalidad de su manejo (Massobrio, 1998, 2004; Pereyra Iraola, 2019).

Los procesos de degradación son los mayores problemas que afectan la capacidad de producción de las tierras agrícolas. La falta de planificación del uso del territorio ha provocado grandes procesos de degradación (Halbac-Cotoara-Zamfir et al., 2020). Desde tiempos inmemoriales las civilizaciones han caído muchas veces asociadas a los colapsos en la producción de alimentos ocasionados por la degradación de las tierras (Cendrero et al., 2006; Vico Martín, 2018). En la Argentina, los procesos de erosión hídrica y eólica ocupan un 36% de la superficie nacional, aproximadamente 1.000.000 Km² (Gaitán et al., 2017; Wilson et al., 2020; Observatorio Nacional de la Degradación de Tierras y Desertificación, 2021), y se ven agravados por los procesos de degradación física, química, biológica y salinización y sodificación en valles de riego (Casas, 2017). Según FAO (1980), la degradación es un proceso antropogénico que disminuye la capacidad actual y potencial de las tierras para producir bienes y servicios, cuantitativa y cualitativamente, y aumenta la energía necesaria para producir. Adicionalmente, genera pasivos ambientales, externalidades, como la contaminación de cursos de agua y aguas subterráneas y la polución del aire y del suelo (Tsoraeva et al., 2020).

Fragilidad a la degradación de las tierras

La fragilidad es una característica heredada y se pone de manifiesto a través del uso de las tierras (vulnerabilidad). Este proceso genera costos de sostenibilidad ambiental (Cendrero et al., 1992).

La fragilidad a los procesos de degradación se expresa a través de una tasa anual de cambio. Esto permite predecir el grado de degradación esperado con distintas intensidades de uso de las tierras. Esta información es perdurable en tiempo humano, ya que para su cálculo utiliza variables permanentes de la geósfera heredada (Cendrero, 1997). La identificación de la fragilidad a la degradación y su cartografía es de suma utilidad para la planificación del uso del territorio.

OBJETIVOS

- 1- Aplicar indicadores de fragilidad a la degradación física, química y biológica de las tierras y generar una cartografía específica.
- 2- Desarrollar un índice de fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE) del agroecosistema y generar una cartografía específica.
- 3- Desarrollar un índice de estabilidad (IE) del agroecosistema mediante indicadores biológicos de estabilidad.
- 4- Desarrollar un índice de vulnerabilidad de la estabilidad (IVE) del agroecosistema.
- 5- Aplicar el índice de fragilidad (IFDE) y vulnerabilidad de la estabilidad (IVE), para distintos grados de intensidad de uso de las tierras en un subambiente de lomas periféricas del partido de Azul.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fragilidad a la degradación física, química y biológica

Para cumplir con los objetivos propuestos se aplicarán los cálculos a la fragilidad a la degradación física, química y biológica (De Paz et al., 2006), según la metodología FAO (1980) y Cendrero (1997) con sus respectivas modificaciones. Esta es una metodología estandarizada con criterios uniformes para categorizar las características heredadas a los procesos de degradación de las tierras por acciones antrópicas. Según esta metodología, la evaluación de la fragilidad de degradación expresa el valor máximo alcanzado a la degradación de una tierra determinada. La misma se calcula a través de los factores permanentes de la geósfera heredada, utilizando parámetros de agresión, del clima y de resistencia del sistema edáfico siendo:

$$\text{Fragilidad a la Degradación} = C \times S \times T$$

Donde:

C = Factor Climático.

S = Factor Edáfico.

T = Factor Topográfico.

Tanto para la fragilidad física, como química y biológica, el resultado fue calculado para cada unidad cartográfica presente en las carta de suelos a escala 1:50000 del Partido de Azul (INTA, 2005; Cruzate et al., 2010).

Se calcularon las fragilidades de cada unidad taxonómica de cada una de las unidades cartográficas, consociaciones, asociaciones y complejos de suelos. Con esto, en las

unidades cartográficas compuestas, se calculó el valor mediante la ponderación de los resultados de cada una de las series que forman la unidad cartográfica.

Fragilidad a la degradación física

Cálculo de la fragilidad a la degradación física

a) Factor climático (C):

Para la escala de trabajo propuesta (1:50.000) se utilizó el factor de erosividad de las lluvias R (Wischmeier y Smith, 1978) propuestos por Gaitán et al. (2017). Dichos autores calcularon, para la localidad de Azul, un R de 406 ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Para el cálculo del R, se realizó una recopilación de información de factores R para varias localidades de la República Argentina, donde, para su cálculo, se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$C(R) = \sum_{j=1}^n (EI_{30j})$$

R = Erosividad de la lluvia

n = Número de eventos durante el año

EI_{30j} = Índice de erosividad para un evento

A su vez el índice de erosividad para un evento (EI_{30}) es:

$$EI_{30} = (E_C) \cdot (I_{30})$$

EI_{30} = Índice de erosividad para un evento ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$).

C = Energía cinética de la lluvia ($\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$).

I_{30} = Intensidad máxima en 30 minutos continuos de lluvia ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$).

Al valor de R utilizado, según la metodología FAO (1980), se le asignan valoraciones para evaluar la incidencia del clima en la fragilidad a la degradación física.

Valores de conversión para el factor C:

C (R) =	0-50	50-500	500-1000	>1000
Valoración	0-5	5-7,5	7,5-10	10

Se consideró que los rangos que la metodología establece para asignar valoraciones sobre los resultados obtenidos de aplicar el factor C, son grandes, por lo que se decidió realizar interpolaciones para lograr mejores aproximaciones, obteniendo un valor de C de 6,78.

b) Factor edáfico (S):

Para la escala de trabajo la metodología aconseja la utilización del factor K, calculado mediante la siguiente ecuación de estimación establecida por Wischmeier y Smith (1978).

$$K = (2,1 \{(\% \text{ limo} + \text{arena muy fina}) (100 - \% \text{ arcilla})\}^{1,14} \cdot 10^{-4} \cdot (12 - \% \text{ MO}) + 3,25(B-2) + 2,5(C-3)) / 77,4$$

Donde:

Limo: fracción de 2 a 50 μm .

Arena muy fina: fracción de 50 a 100 μm .

Arcilla: fracción inferior a 2 μm .

MO: materia orgánica de la capa superficial de suelo en %.

B: grado de estructura del suelo según la siguiente escala.

1: muy buena estructura. Granular muy fina.

2: buena estructura. Granular fina.

3: estructura regular.

4: mala estructura, laminar o masiva.

C: permeabilidad, según la siguiente escala.

1: muy rápida, mayor a 12,5 cm hora⁻¹.

2: moderadamente rápida, de 6,25 a 12,5 cm hora⁻¹.

3: moderada, de 2,0 a 6,25 cm hora⁻¹.

4: moderadamente lenta, de 0,5 a 2,0 cm hora⁻¹.

5: lenta, entre 0,125 y 0,500 cm hora⁻¹.

6: muy lenta, inferior a 0,125 cm hora⁻¹.

c) Factor topográfico (T): declive dominante (Soil Survey Manual 1993).

Realizado el análisis de relieve mediante planchetas topográficas escala 1:50.000 del

Instituto Geográfico Nacional la valoración de este factor es 1.

Clases de intensidad de fragilidad a la degradación física

Se establecieron clases, respecto de las cuales la intensidad del proceso se expresa en unidades pertinentes a los mismos (Tabla 4). Estas clases advierten sobre la fragilidad a la degradación física de las tierras.

Tabla 4. Expresión de la fragilidad a la degradación física a través del aumento de la Densidad Aparente (% en cambio anual) respecto de los valores iniciales.

Clase	Cambio anual (%)
ninguna a ligera	< 2,5
moderada	2,5 – 3,5
moderada-alta	3,5 – 5
alta	5 – 7,5
muy alta	>7,5

Elaboración de mapa temático para la fragilidad a la degradación física

Con los resultados alcanzados por el cálculo de la fragilidad a la degradación física se confeccionó un mapa temático utilizando el software QGIS v3.10.8-A Coruña (QGIS.org 2021).

Fragilidad a la degradación química

Cálculo de fragilidad a la degradación química

a) Factor climático (C):

$$C = \sum P - PET$$

Siendo P precipitación y PET evapotranspiración potencial

Para todos los $P - PET > 0$:

0-100	100-500	500-1000	>1000
Ninguna-ligera	moderada	alta	muy alta

Valoración: el factor numérico se divide por 100.

b) Factor edáfico (S):

Las clases de texturas consideradas en esta metodología han sido las del Mapa Mundial de Suelos (FAO-UNESCO, 1980), y son las siguientes:

- Textura gruesa (epipedones con un contenido en arcilla inferior al 18% y en arena superior al 65%).
- Textura media (menos del 35% arcilla y más de 65% de arena, o entre 18 y 35% arcilla y más de 65% arena).
- Textura fina (epipedones con un contenido en arcilla superior al 35%).

Cada una de estas clases texturales lleva asociada la siguiente valoración:

Textura del suelo	gruesa	media	fina
Valoración	2	1	0,5
Tipo de arcilla	Caolinita	Illita	Montmorillonita
Valoración	1	0,5	0,25

c) Factor topográfico (T):

Declive dominante: valoración 1 (son válidas las aclaraciones realizadas para el factor topográfico y el cálculo de la degradación física).

Clases de intensidad de fragilidad a la degradación química

Se establecieron clases respecto de las cuales la intensidad del proceso se expresa en unidades pertinentes a los mismos (Tabla 5). Estas clases advierten sobre la fragilidad a la degradación química de las tierras.

Tabla 5. Expresión de la fragilidad a la degradación química a través de la disminución de la saturación de bases (% en cambio anual) respecto de los valores iniciales.

Clase	Disminución de la saturación de bases
Ninguna a muy ligera	< 1,5 % anual
Ligera	1,5 – 2,5 % anual
Moderada	2,5 – 5 % anual
Alta	5 – 10 % anual
Muy Alta	> 10 % anual

Elaboración de mapa temático para la fragilidad a la degradación química

Con los resultados alcanzados por el cálculo de la fragilidad a la degradación química se confeccionó un mapa temático utilizando el software QGIS v3.10.8-A Coruña (QGIS.org 2021).

Fragilidad a la degradación biológica

La degradación biológica está relacionada con la disminución del contenido de materia orgánica, hojarasca y fauna edáfica del suelo. Las distintas prácticas de manejo y el clima influyen en la mineralización de la materia orgánica (De Paz et al., 2006).

Índice de degradación biológica (IDB)

Para el cálculo de la fragilidad a la degradación biológica, se aplicó el índice propuesto por De Paz et al. (2006) bajo las directrices de FAO (1980) que toma solo al contenido de materia orgánica como principal factor de la degradación biológica.

Cálculo de la fragilidad a la degradación biológica

Para el cálculo se realizó un cociente entre 1 y los valores de % de materia orgánica.

$$IDB = \frac{1}{MO\%}$$

MO%: Porcentaje de materia orgánica

Grado de fragilidad a la degradación biológica

Se establecieron grados respecto a los IDB calculados, según De Paz et al. (2006) (Tabla

6). Estos grados advierten sobre la fragilidad a la degradación biológica de las tierras.

Tabla 6. Expresión de la fragilidad a la degradación biológica a través del índice de degradación biológica (IDB).

Grado de fragilidad a la degradación	Índice de degradación biológica (IDB)
Muy baja	0 – 0,1
Baja	0,11 – 0,2
Moderadamente baja	0,21 – 0,3
Moderadamente alta	0,31 – 0,6
Alta	0,61 – 1
Muy alta	1,1 – 2,5

Elaboración de mapa temático para la fragilidad a la degradación biológica

Con los resultados alcanzados por el cálculo de la fragilidad a la degradación biológica se confeccionó un mapa temático utilizando el software QGIS v3.10.8-A Coruña (QGIS.org 2021).

Fragilidad a la degradación de la estabilidad de las tierras

Se propuso la realización de un índice, siguiendo la metodología de Cendrero et al. (2002). Este índice está conformado por la fragilidad a la degradación física, fragilidad a la degradación química y fragilidad a la degradación biológica. Estos fueron tomados como indicadores para crear el índice de fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE).

Cálculo del Índice de la fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE)

Para el cálculo del IFDE, cada valor de fragilidad a la degradación física, química y biológica fue normalizado, para obtener valores entre 0,01 y 1.

Para dicha normalización, primero cada valor para fragilidad a la degradación física, química y biológica, se convirtió de la siguiente manera:

Fragilidad a la degradación física	
Valores	Se transforman en:
< 2,5 %	2,5
entre 2,5 % y 7,5 %	quedan igual
> 7,5 %	7,5

Fragilidad a la degradación química	
Valores	Se transforman en:
< 1,5 %	1,5
entre 1,5 % y 10 %	quedan igual
> 10 %	10

Fragilidad a la degradación biológica	
Valores	Se transforman en:
< 0,3	0,3
entre 0,3 y 1	quedan igual
> 1	1

Posteriormente, dichos valores se normalizaron para cada degradación según:

$$\text{Valor } N = 1 - \left[\frac{(IM - I \text{ min})}{I \text{ max} - I \text{ min}} \right]$$

Donde:

Valor N = Valor normalizado.

IM= Indicador de medida.

I_{max}= Valor del indicador máximo.

I_{min}= Valor del indicador mínimo.

A continuación, para obtener los valores del IFDE, se utilizó la nueva fórmula desarrollada para este caso:

$$\text{IFDE} = \{1 - [(Valor N \text{ fis} \cdot (\text{Peso I})) + (Valor N \text{ qui} \cdot (\text{Peso I})) + (Valor N \text{ bio} \cdot (\text{Peso I}))]\} \cdot 100$$

Donde:

IFDE: índice de fragilidad a la degradación de la estabilidad.

Valor N fis: valor normalizado del indicador fragilidad a la degradación física.

Valor N qui: valor normalizado del indicador fragilidad a la degradación química.

Valor N bio: valor normalizado del indicador fragilidad a la degradación biológica.

Peso I: peso relativo del indicador.

Para el partido de Azul, el valor del peso relativo seleccionado fue 0,8 para la física, 0,1 para la química y 0,1 para la biológica.

Grados de Fragilidad a la Degradación de la Estabilidad

Se establecieron grados según Cendrero et al. (2002) para los valores calculados (Tabla 7). Éstos indican la fragilidad a la degradación de la estabilidad de las tierras.

Tabla 7. Expresión de la fragilidad a la degradación de la estabilidad a través del índice IFDE.

Grado	Índice IFDE
Muy baja	0 – 0,09
Moderadamente muy baja	0,10 – 0,19
Baja	0,20 – 0,29
Moderadamente baja	0,30 – 0,39
Moderada	0,40 – 0,59
Moderadamente alta	0,60 – 0,69
Alta	0,70 – 0,79
Moderadamente muy alta	0,80 – 0,89
Muy alta	0,90 – 1

El resultado fue expresado para cada unidad cartográfica obtenida de las cartas de suelo del INTA 1:50000. Para ello, primero se calcularon las respectivas fragilidades para cada unidad taxonómica definida a nivel de serie y luego se ponderaron respecto al porcentaje de ocupación de dichas series en cada unidad cartográfica.

Vulnerabilidad de la estabilidad de las tierras

Al incorporar el factor por el uso antrópico de las tierras, se puede determinar la degradación de la estabilidad, es decir, su vulnerabilidad. Para ello, se planteó el índice de vulnerabilidad de la estabilidad (IVE). Este nuevo índice se obtiene afectando al índice IFDE con un coeficiente, llamado índice de estabilidad (IE). El mismo se obtiene mediante la combinación de dos indicadores biológicos: oribátido/prostigmata (Andrés, 1990) y ácaro/colémbolo (Mateos, 1992).

Estos indicadores biológicos, consideran a la mesofauna edáfica como buenos diagnosticadores del estado de estabilidad del agroecosistema (Socarrás, 2013). El indicador Oribátida/Prostigmata, en agroecosistemas estables toma valores ≥ 1 , valores < 1 agroecosistemas inestables. El indicador Ácaro/Colémbolo, en agroecosistemas estables toma valores ≤ 1 , valores > 1 son agroecosistemas inestables. Las métricas poblacionales utilizadas para el cálculo de los índices fueron obtenidas en muestreos a campo y análisis de separación y clasificación en laboratorio (Cassani et al., 2020).

Con los resultados del IE (índice de estabilidad) se procedió a realizar una clasificación del grado de estabilidad del agroecosistema.

RESULTADOS

Fragilidad a la degradación física

Los resultados del cálculo de la fragilidad a la degradación física de las tierras para cada una de las unidades cartográficas de suelos del partido de Azul se presentan en el anexo II. En la Figura 7 se presenta el mapa de fragilidad a la degradación física de las tierras del partido de Azul.

Se observó que la mayoría de las tierras ubicadas en la parte meridional del partido de Azul obtuvieron una fragilidad a la degradación física de nula a ligera, con valores de % de cambio anual en la densidad aparente de entre 0 a 2,5. En la parte septentrional, las tierras del partido de Azul obtuvieron fragilidades a la degradación física mayores de moderadas a moderada-altas, con valores de % de cambio anual en la densidad aparente de entre 2,5 a 3,5 para las moderadas, y de entre 3,5 a 5 para moderada a alta. En la parte más al norte y en una pequeña franja del centro-norte del partido Azul se observaron tierras con valores de fragilidad a la degradación física de nula a ligeras, con % de cambio anual en la densidad aparente de entre 0 a 2,5. Se observó en una muy pequeña superficie en la parte más septentrional del partido de Azul, tierras con valores de % de cambio anual de la densidad aparente de 5 a 7,5, clasificados como alta para fragilidad a la degradación física.

La mayoría de la superficie al sur del partido de Azul tuvo tierras con ninguna a ligera fragilidad a la degradación física. En cambio la mayoría de la superficie al norte del partido de Azul obtuvo tierras con moderada a moderada-alta fragilidad a la degradación física.

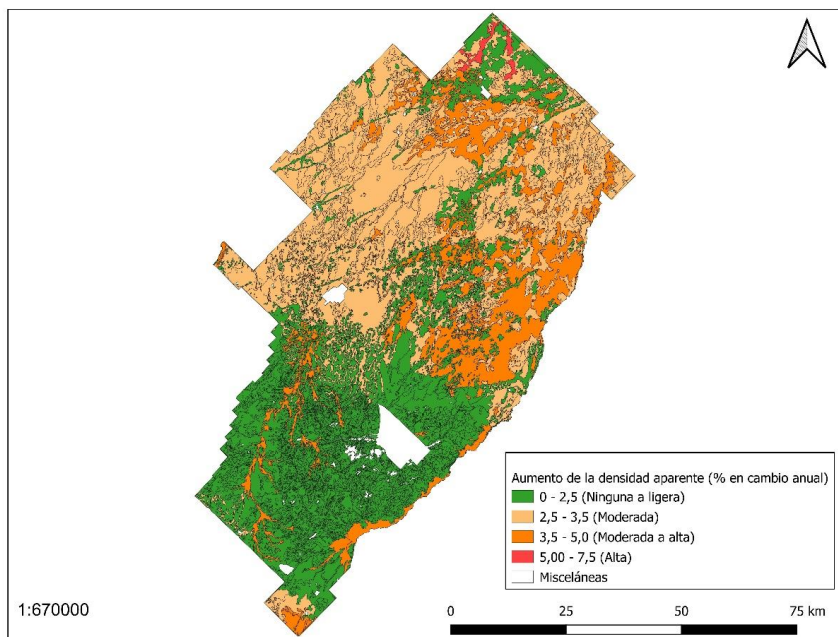


Figura 7. Mapa de fragilidad a la degradación física de las tierras para el partido de Azul.

Fragilidad a la degradación química

Los resultados del cálculo de la fragilidad a la degradación química de las tierras para cada una de las unidades cartográficas de suelos de partido de Azul se presentan en el Anexo II. En la Figura 8 se presenta el mapa de fragilidad a la degradación química de las tierras presentes en el partido de Azul.

Se observó que casi la totalidad de las tierras ubicadas en la parte meridional y algunas en partes más septentrionales del partido de Azul, obtuvieron fragilidades a la degradación química de ninguna a muy ligera, con valores de % de cambio anual en la disminución de bases de entre 0 a 1,5. El resto de las tierras de la parte septentrional del partido de Azul obtuvieron fragilidades a la degradación química mayores, aunque bajas, clasificadas como ligeras, con valores de % de cambio anual en la disminución de bases

de entre 1,5 a 2,5. En una pequeña superficie, al sur, se observaron tierras con los mismos resultados.

La mayoría de la superficie del partido de Azul obtuvo tierras con ninguna a ligera fragilidad a la degradación química.

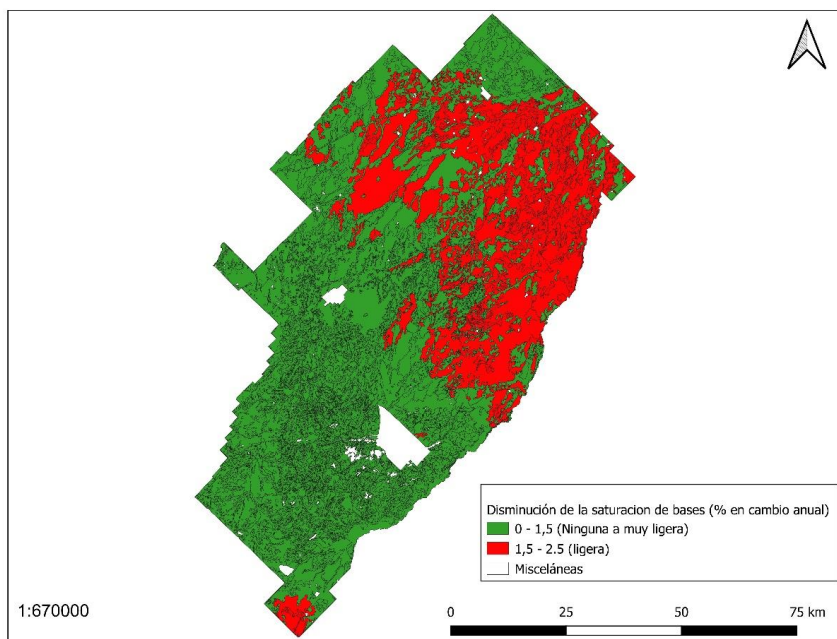


Figura 8. Mapa de fragilidad a la degradación química de las tierras para el partido de Azul.

Fragilidad a la degradación biológica

Los resultados del cálculo de fragilidad a la degradación biológica de las tierras para cada una de las unidades cartográficas de suelos de partido de Azul se presentan en el Anexo II. En la Figura 9 se presenta el mapa de fragilidad a la degradación biológica de las tierras presentes en el partido de Azul.

En la mayoría de la parte meridional del partido de Azul se observaron tierras con valores de IDB de entre 0 a 0,1 clasificadas por su fragilidad a la degradación biológica como bajas. En la parte septentrional del partido de Azul, se observaron tierras con valores de

IDB de entre 0,2 – 0,3 clasificadas por su fragilidad a la degradación biológica como moderadamente bajas. En la parte más al norte y en algunas pequeñas franjas del centro-este del partido Azul se observan valores del IDB de entre 0 – 0,1 clasificadas por su fragilidad a la degradación biológica como bajas. Se observó, en una muy pequeña superficie en la parte más septentrional y también una pequeña superficie en la parte más meridional del partido de Azul, tierras con valores de IDB entre 0,6 a 1, clasificadas por su fragilidad a la degradación biológica como altas. Se observaron tierras con valores de IDB entre 1 a 2,5 en una muy pequeña superficie en el centro-sur del partido de Azul, clasificadas por su fragilidad a la degradación biológica como muy altas. En tierras aledañas a las anteriores, se observaron los menores valores del IDB, de entre 0 a 0,1, clasificadas por su fragilidad a la degradación biológica como muy bajas.

La mayoría de la superficie del partido de Azul obtuvo tierras con muy baja a moderadamente baja fragilidad a la degradación.

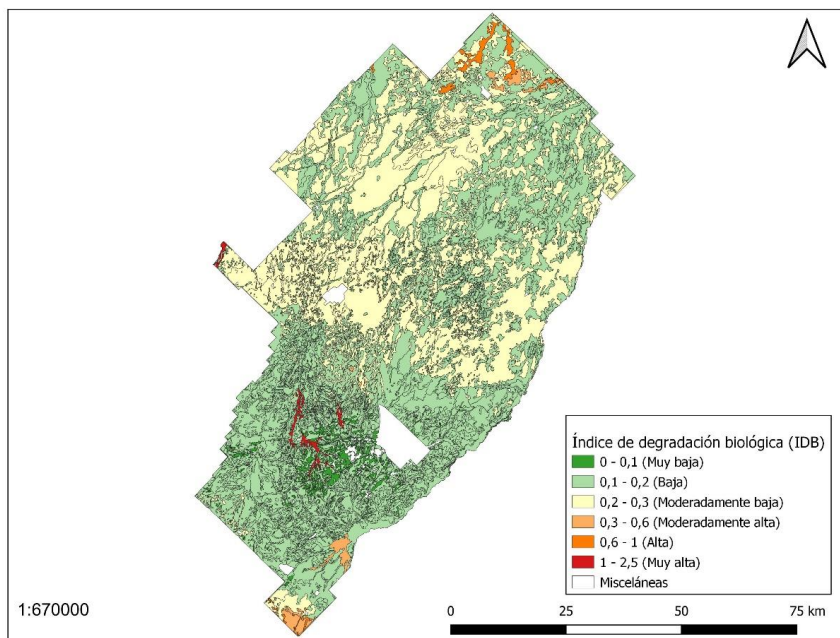


Figura 9. Mapa de fragilidad a la degradación biológica de las tierras para el partido de Azul.

Índice de fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE)

Los resultados del cálculo del índice de fragilidad a la degradación de la estabilidad de las tierras (IFDE) para cada una de las unidades cartográficas de suelos de partido de Azul se presentan en el Anexo II. En la Figura 10 se presenta el mapa del índice de fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE) de las tierras en el partido de Azul.

Se observó que la mayoría de las tierras ubicadas en la parte meridional del partido de Azul obtuvieron una fragilidad a la degradación de la estabilidad de muy baja. En cambio en la parte septentrional las tierras del partido de Azul poseen fragilidades a la degradación de la estabilidad mayores, de moderadamente-bajas a bajas. También, para la misma zona pero en menor porcentaje, se observaron tierras con muy baja fragilidad a la degradación de la estabilidad. En una pequeña franja, en la parte más al norte del partido de Azul se observaron tierras con valores de fragilidad a la degradación de la estabilidad de moderadas, siendo estas últimas las que poseen los mayores valores observados para las tierras del partido de Azul.

La mayoría de la superficie al sur del partido de Azul posee tierras con muy baja fragilidad a la degradación de la estabilidad. En cambio, la mayoría de la superficie al norte del partido de Azul posee tierras con moderadamente muy baja a baja fragilidad a la degradación de la estabilidad.

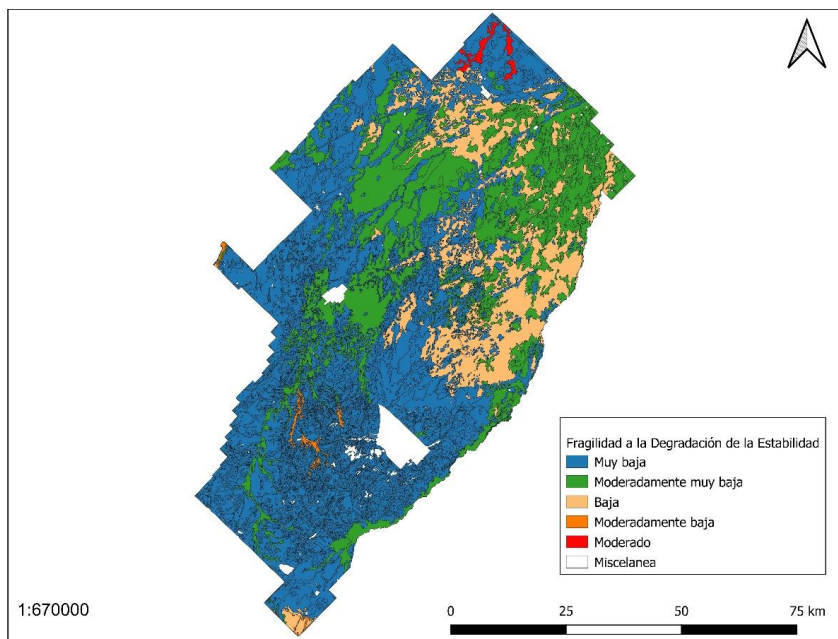


Figura 10. Mapa del Índice de Fragilidad a la Degradación de la Estabilidad (IFDE) de las tierras para el partido de Azul.

Desarrollo del índice de estabilidad (IE) del agroecosistema mediante indicadores biológicos de estabilidad

Para el cálculo de (IE) se normalizaron los valores de los indicadores biológicos: oribátido/prostigmata y ácaro/colémbolo.

- Para el indicador oribátida/prostigmata, se definió un valor mínimo de 0,1 (como la peor condición) y un valor máximo de 1 (como la mejor condición). Valores > 1 se transforman en 1. Estos rangos surgen de los valores observados por Cassani (2020):

Donde para el indicador oribátido/prostigmata:

$$\text{Valor N} = (\text{IM} - 0,1)/(1 - 0,1)$$

Donde:

Valor N = Valor normalizado.

IM = Indicador de medida.

- Para el indicador ácaro/colémbolo, se definió un valor mínimo de 1 (como la mejor condición), y un valor máximo de 4 (como la peor condición). Valores > 4 se transforman en 4. Estos rangos surgen de los valores observados por Cassani (2020):

$$\text{Valor N} = 1 - \left[\frac{(\text{IM} - 1)}{4 - 1} \right]$$

Donde:

Valor N = Valor normalizado.

IM= Indicador de medida.

Utilizando los valores de los indicadores normalizados, se colocan en la fórmula desarrollada para el cálculo del índice de estabilidad (IE). En dicha fórmula ambos indicadores tienen una misma relevancia o importancia de 50% (0,5):

$$IE = 1 - \left(\left(\text{Valor N} \frac{\text{Oribátida}}{\text{Prostigmata}} \right) \cdot (0,5) \right) + \left(\left(\text{Valor N} \frac{\text{Ácaro}}{\text{Colémbolo}} \right) \cdot (0,5) \right)$$

Donde:

Valor N oribátida/prostigmata: valor normalizado del indicador.

Valor N ácaro/colémbolo: valor normalizado del indicador.

Desarrollo del modelo para el cálculo del índice vulnerabilidad de la estabilidad (IVE)

Con el valor del índice de estabilidad (IE) y con los valores del indicador índice de fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE), se calcula el índice de vulnerabilidad de la estabilidad (IVE):

$$IVE = (IFDE \cdot IE)$$

Donde:

IVE: índice de vulnerabilidad de la estabilidad.

IFDE: índice de fragilidad a la degradación de la estabilidad.

IE: índice de estabilidad.

Resultado de la aplicación del índice de fragilidad (IFDE) y vulnerabilidad de la estabilidad (IVE) para distintos grados de intensidad de uso de las tierras en un subambiente de lomas periféricas del partido de Azul, utilizando la información generada por Cassani (2020)

Se plantearon dos situaciones de artificialización de las tierras, a) y b).

Los datos obtenidos de los indicadores biológicos, para un alto grado de artificialización de las tierras (a), fueron los siguientes:

Indicador biológico - oribátida/prostigmata = 0,25

Indicador biológico - ácaro/colémbolo = 3,5

Para un muy bajo a nulo grado de artificialización (b), fueron:

Indicador biológico - oribátida/prostigmata = 1,25

Indicador biológico - ácaro/colémbolo = 1,5

Analizando la unidad cartográfica MP16 presente en el área de estudio el valor de IFDE es 0,01 (Aanexo II) y teniendo en cuenta el valor de los indicadores biológicos (Tabla 8 y Tabla 9):

Tabla 8. Vulnerabilidad de las Tierras con un alto grado de artificialización a).

a) Tierra con un alto grado de artificialización:

Normalización de indicadores biológicos:

oribátida/prostigmata = 0,25

$$\text{Valor } N = (IM - 0,1)/(1 - 0,1)$$

Por lo tanto

$$\text{Valor } N = \frac{(0,25 - 0,1)}{1 - 0,1} = 0,1667$$

ácaro/colémbolo = 3,5

$$\text{Valor } N = 1 - \left[\frac{(IM - 1)}{4 - 1} \right]$$

Por lo tanto:

$$\text{Valor } N = 1 - \left[\frac{(3,5-1)}{4-1} \right] = 0,1667$$

$$IE = 1 - \left[\left(\text{Valor } N \frac{\text{Oribátida}}{\text{Prostigmata}} \right) \cdot (0,5) \right] + \left[\left(\text{Valor } N \frac{\text{Ácaro}}{\text{Colémbolo}} \right) \cdot (0,5) \right]$$

Por lo tanto:

$$IE = 1 - [((0,1667) \cdot (0,5)) + ((0,1667) \cdot (0,5))]$$

$$IE = 1 - (0,08335 + 0,08335) = 0,8333$$

$$IVE = (IFDE \cdot IE)$$

Entonces:

$$IVE = (0,01 \cdot 0,8333)$$

$$IVE = 0,08333$$

Tabla 9. Vulnerabilidad de las Tierras con un muy bajo a nulo grado de artificialización b).

<p>b) Tierra con un muy bajo a nulo grado de artificialización:</p> <p>Normalización de indicadores biológicos:</p> <p>Oribátida/Prostigmata = 1,25</p> $\text{Valor } N = (IM - 0,1)/(1 - 0,1)$ <p>Por lo tanto</p> $\text{Valor } N = \frac{(1 - 0,1)}{1 - 0,1} = 1$ <p>Ácaro/Colémbolo = 1,5</p> $\text{Valor } N = 1 - \left[\frac{(IM - 1)}{4 - 1} \right]$ <p>Por lo tanto:</p> $\text{Valor } N = 1 - \left[\frac{(1,5 - 1)}{4 - 1} \right] = 0,8334$ $IE = 1 - \left[\left(\text{Valor } N_{\frac{\text{Oribátida}}{\text{Prostigmata}}} \cdot \left(\frac{0,5}{2} \right) \right) + \left(\left(\text{Valor } N_{\frac{\text{Ácaro}}{\text{Colémbolo}}} \right) \cdot \left(\frac{0,5}{2} \right) \right) \right]$ <p>Por lo tanto:</p> $IE = 1 - [(1) \cdot (0,5) + ((0,8334) \cdot (0,5))]$ $IE = 1 - (0,5 + 0,4167) = 0,08$ $IVE = IFDE \cdot IE$ <p>Entonces:</p> $IVE = (0,01 \cdot 0,08)$ $IVE = 0,0008$

Propuesta de clasificación de los valores de los índices de estabilidad (IE)

En base a los valores obtenidos en el punto anterior (Tabla 8 y Tabla 9), se establecieron grados de estabilidad del agroecosistema (Socarrás, 2013; Cassani, 2020) (Tabla 10).

Tabla 10. Valores del IE y el grado de estabilidad del agroecosistema.

Valor del IE	Grado de estabilidad del agroecosistema
0,01 – 0,1	Máxima estabilidad
0,11 – 0,2	Moderadamente alta estabilidad
0,21 – 0,40	Moderada estabilidad
0,41 – 0,60	Moderadamente baja estabilidad
0,61 – 0,80	Baja estabilidad
0,81 – 0,90	Muy baja estabilidad
0,91 – 1	Nula a ligera estabilidad

Clasificación de las tierras del agroecosistema por grado de estabilidad en relación con la intensificación del uso

Para la situación a) alto grado de artificialización, se obtuvo un valor IE de 0,83, con una clasificación del grado de estabilidad del agroecosistema muy baja (Tabla 10). Con el uso intensivo de la tierra la vulnerabilidad expresa el 83% de la fragilidad heredada.

En la situación b), con un muy bajo a nulo grado de artificialización, se obtuvo un valor de IE de 0,08, con una clasificación del grado de estabilidad del agroecosistema de muy estable (Tabla 10). Con un grado de artificialización muy bajo a nulo de las tierras la vulnerabilidad expresa el 8% de la fragilidad heredada.

El IVE indica cuanto del IFDE se está expresando actualmente por los distintos grados de artificialización del uso de la tierra.

DISCUSIÓN

Fragilidad a la degradación física, química, índice de degradación biológica y de la fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE) de las tierras

En la región pampeana (Álvarez et al., 2012a; Castiglione et al., 2013; Duval et al., 2015; Martínez et al., 2020; Landriscini et al., 2020) y en el partido de Azul (Piscitelli et al., 2010; Vázquez et al., 2016) son varios los autores que han investigado la degradación física, química y biológica de los suelos. Siendo pocos los trabajos con una visión sistémica que analicen los grados de fragilidad ambiental de las tierras (Zuberman, 2005; Rocha, 2018; Garat, 2019; Perayra Iraola, 2019), los resultados obtenidos en este trabajo plantearon un análisis de la fragilidad a la degradación física, química y biológica de las tierras que permitieron el desarrollo de una nueva propuesta sintética de fragilidad: fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE).

En el desarrollo del cálculo del índice de fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE), fue la fragilidad a la degradación física, el indicador más importante entre los tres utilizados (física, química y biológica, con valores de ponderación de 0,8 0,1 y 0,1, respectivamente), encontrándose una diferencia marcada entre la parte meridional y septentrional de las tierras del partido de Azul (Figura 7). Coincidente con la división de ambientes del partido de Azul (geomorfología), pampa deprimida al norte, donde se observó una mayor fragilidad a la degradación física (de moderada a moderada-alta) y pampa serrana al sur, donde se observó una fragilidad a la degradación física muy baja, de nula a ligera. Al norte del partido, Pampa Deprimida, predominan suelos con un alto porcentaje de sodio intercambiable (%PSI) (suelos). Este actúa como agente dispersante de los coloides, de manera que se encuentran peptizados (Imbellone et al., 2010). Esto produce estructuras débiles y una baja permeabilidad, otorgando un valor de K de Wischmeier (Wischmeier y Smith, 1978) alto (Anexo I). En la parte sur, en cambio, la

gran cantidad de materia orgánica y texturas francas, confieren estructuras más fuertes (Agostini et al., 2018), permitiendo una adecuada permeabilidad. Siendo el K de Wischmeier (Wischmeier y Smith, 1978) bajo (Anexo I). Como resultado final de clasificación de la fragilidad, además de las clases, se expresa una tasa de % de cambio anual en la densidad aparente, donde a mayor valor de K, mayor la posibilidad de densificación ante un uso antrópico (vulnerabilidad). Esta afirmación es sustentada por Piscitelli et al. (2010), que encontraron una relación positiva en suelos del partido de Azul: a mayor valor de K, mayor la densidad aparente registrada.

En los resultados de la fragilidad a la degradación química, se observaron muy pocas diferencias dentro de las tierras del partido de Azul. La gran mayoría del partido tiene tierras con ninguna -muy ligera a ligera. Esto se debe a que el tipo de arcilla predominante en la pradera pampeana es la illita, que es un tipo de arcilla con una elevada superficie específica ($80-100 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) y del tipo 2:1, que explica su alta adsorción de nutrientes (Vázquez et al., 2006; Imbellone et al., 2010). Los ligeros cambios en los porcentajes de arcilla encontrados, han otorgado una ligera variabilidad en los resultados obtenidos. A pesar de que actualmente la fertilidad química de la región pampeana está en niveles medios a bajos (Álvarez et al., 2012b), se interpreta sobre los resultados obtenidos, que como las tasas de cambio anual son muy bajas, debieron pasar muchos años para llegar a los valores actuales de fertilidad química.

Respecto a la fragilidad a la degradación biológica, no se observaron grandes diferencias entre las tierras del partido de Azul. Donde para su cálculo el principal factor es el contenido de materia orgánica, y las tierras del partido de Azul están muy bien provistas de esta última (Agostini et al., 2018).

Se entiende por fragilidad el grado de deterioro como resultado de la interacción de las características heredadas del sistema que facilitan o no los

procesos de degradación o alteración del recurso (Cendrero, 1997; Massobrio, 2003; Massobrio, 2004). Se planteó, entonces, que los resultados de los cálculos de la fragilidad a la degradación física, química y biológica dieron información muy relevante para la generación del nuevo cálculo de fragilidad a la estabilidad (Figura 10). Estos cálculos permiten una visión sistémica para el estudio de los procesos de fragilidad a la degradación de las tierras y la información generada es perdurable en tiempo humano poniendo de manifiesto las limitaciones permanentes del sistema (Cendrero, 1997). El desarrollo de esta novedosa fragilidad permite la integración de los tres indicadores de degradación de las tierras calculados (fragilidad a la degradación física, química y biológica) y dependiendo de en qué zona de estudio nos encontrásemos, se podría modificar la importancia o ponderación de cada una de ellas en su cálculo. Según Casas (2017), Agostini et al. (2018) y Wilson et al. (2020), uno de los procesos de degradación más significativos, por su efecto en la productividad de las tierras agrícolas e internalidades y externalidades asociadas, es la degradación física de los suelos. Por lo que fue adecuado plantear que la fragilidad a la degradación física es la más importante dentro de las fragilidades para la construcción de la metodología del cálculo de fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE) para el partido de Azul.

Según los resultados el partido de Azul posee, en su gran mayoría, entre una nula a baja fragilidad a la degradación de la estabilidad. Sin embargo, esto no quita que ante niveles de alta artificialización continuos a través del tiempo, se puedan expresar significativos niveles de degradación (vulnerabilidad).

Índices de estabilidad (IE) y vulnerabilidad de la estabilidad (IVE)

Bajo la conceptualización de que los agroecosistemas son sistemas complejos, y que un análisis de las métricas poblaciones de fauna edáfica dan información del grado de

sensibilidad del agroecosistema frente a las perturbaciones ocasionadas por el hombre (Barrios, 2007; George et al., 2017; Rocha, 2018; Cassani et al., 2020; Cassani, 2020), se utilizaron dos indicadores biológicos de estabilidad: oribátido/prostigmata, propuesto por Andrés (1990), y ácaro/colémbolo propuesto por Mateos (1992) para la confección de un nuevo índice, llamado índice de estabilidad (IE). Teniendo en cuenta lo expresado con anterioridad, la utilización de los diferentes grupos de mesofauna permitió evaluar la estabilidad del agroecosistema (Cassani et al., 2020). Indicando en forma sintética cuál es su condición en relación con la energía antrópica externa, artificialización, que recibe y su capacidad para metabolizarla y mantener el control sobre su condición y persistir (Socarrás, 2013; Cassani et al., 2020).

Para un análisis de la vulnerabilidad, es decir, un análisis de las perturbaciones ocasionadas por los distintos niveles de intensidad de uso, se desarrolló el Índice de Vulnerabilidad (IVE), donde se utilizó información generada por Cassani (2020) de dos situaciones de intensidad de uso muy contrastantes (Tabla 8 y Tabla 9). Esto puso de manifiesto cómo varían las distintas expresiones de vulnerabilidad de la estabilidad (IVE) cuando es afectado el índice de fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE) por el índice de estabilidad (IE). En dichos resultados se observó que la unidad cartográfica MP16 obtuvo una fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE) clasificada como muy baja. Esta, al ser afectada por el IE (Índice de estabilidad) clasificado de muy baja estabilidad (0,83), expresó un alto valor de vulnerabilidad. Esto quiere decir que se encontró en un 83% de su fragilidad heredada, situación correspondiente a usos agrícolas intensivos durante los últimos 25 años. Estas tierras, a pesar de que son muy estables, con bajo altos niveles de artificialización (25 años de agricultura continua), pueden expresar altos valores de vulnerabilidad. Resultados similares obtuvo Rocha (2018) en el análisis de ecológico de un sistema fluvial en el subambiente de lomas periféricas del partido de

Azul, donde los índices bióticos fueron sensibles frente a los distintos grados de artificialización de las tierras. Distinto resultado se observó cuando a la misma unidad cartográfica MP16 se la afectó por un valor de IE (índice de estabilidad) de muy alta estabilidad (0,08), donde expresó la máxima estabilidad. Siendo esta situación analizada la correspondiente a una clausura de 25 años, un uso de la tierra de muy baja artificialización que expresó la máxima estabilidad.

Concordando con Barrios (2007), que insta a la búsqueda de nuevas metodologías de monitoreo de las tierras ante determinados usos, esta novedosa metodología de análisis resulta en muy útil para la generación de información que ayude a predecir y poder anticiparse ante nuevos usos o usos actuales, siendo una poderosa herramienta para la planificación del uso del territorio y de la empresa agropecuaria. Esto coincide con lo dicho por George et al. (2017) que proponen líneas de monitoreo, ante distintos usos de las tierras, utilizando a la fauna edáfica. Además, esta nueva forma de estudiar las fragilidades nos permite introducir nuevas prácticas de control de degradación de las tierras cuyos resultados a nivel del agroecosistema puedan ser monitoreados a través de los efectos producidos en las métricas poblacionales de mesofauna que manifiesten mejores niveles de estabilidad (Rocha, 2018), buscando así identificar las mejor opciones de uso y gestión de la tierra que produzcan una armonización entre la producción agrícola y el resto de los componentes y factores del paisaje (Barrios, 2007).

CONCLUSIONES

- La mayoría de las tierras al sur del partido de Azul poseen ninguna a ligera fragilidad a la degradación física. Al norte del partido de Azul, las tierras poseen una moderada a moderada-alta fragilidad a la degradación física.
- La gran mayoría de las tierras del partido de Azul presentan ninguna -muy ligera a ligera fragilidad a la degradación química.
- La gran mayoría de las tierras del partido de Azul presentan de muy baja a moderadamente baja fragilidad a la degradación biológica.
- Los estudios de la fragilidad a la degradación física, química y biológica de las tierras permitieron el desarrollo de una nueva propuesta sintética de fragilidad: fragilidad a la degradación de la estabilidad. El IFDE integra a tres indicadores (fragilidad a la degradación física, química y biológica de las tierras), y se le puede modificar la importancia o ponderación de cada una de ellos en su cálculo. En el partido de Azul, la fragilidad a la degradación física fue la más importante.
- El índice de fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE) permite una visión sistémica de los procesos de fragilidad a la degradación de las tierras. La información generada es perdurable en tiempo humano poniendo de manifiesto las limitaciones permanentes del sistema (geósfera heredada).
- El índice de estabilidad (IE) indica el grado de sensibilidad del agroecosistema frente a las perturbaciones ocasionadas por los distintos grados de artificialización de las tierras (intensidad de uso). Dicho índice se construyó con dos indicadores biológicos de estabilidad de mesofauna: oribátido/prostigmata y ácaro/colémbolo.
- El índice de vulnerabilidad de la estabilidad (IVE) permitió el análisis de la expresión de la degradación por el uso de las tierras. Puso de manifiesto las

perturbaciones ocasionadas por los distintos niveles de artificialización de las tierras, expresando distintos grados de vulnerabilidad.

CAPÍTULO 2

APLICACIÓN DE DISTINTOS SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE TIERRAS

INTRODUCCIÓN

Evolución histórica

Cuando la Humanidad pasó de nómada a sedentaria, empezó a preocuparle la producción de alimentos alrededor de su comunidad. Desde ese momento, ha estado preocupada por la relación entre el manejo y uso de las tierras, el conocimiento y la predicción de las consecuencias del cambio de uso de las mismas.

Desde el segundo milenio a.C., los griegos desarrollaron tratados sobre las propiedades de los suelos, llegando a establecer el concepto de “perfil del suelo”, integrado por diversos horizontes o capas, así como el concepto de erosión del suelo. Tomando y continuando los conocimientos heredados de los griegos, los romanos, promulgaron la agricultura como “Ciencia”, considerando al suelo como uno de sus principales componentes. Desarrollaron un sistema de clasificación de los suelos de Italia, y posteriormente de Hispania, Galia y el resto de su imperio. En China, hace más de 2000 años en el antiguo libro “Guanzi-Diyupian” la tierra estaba dividida en clases, encontrándose tierras de alta, media y baja calidad. Esta clasificación se basaba en las características edáficas y sus efectos sobre la agricultura. Paralelamente, los romanos ampliaron los conocimientos sobre la fertilidad de los suelos y la forma de mantenerla y recuperarla. Precisamente, el escritor agrónomo Lucius Junius Moderatus “Columela”, publicó “De Re Rustica” los trabajos; esta obra, se inspira en “De Agri Cultura” (escrita por Catón el Viejo), “De Re Rustica” (Marco Terencio Varrón) y otros autores latinos, griegos y cartagineses, donde realiza una detallada descripción de los suelos del Imperio Romano. Para las sociedades occidentales, la Edad Media supuso un periodo de retroceso y pérdida del conocimiento helénico y romano, salvo algunas excepciones como la “Enciclopedia Agrícola”, que colecciona la descripción de los suelos Bizantinos en el 410 d.C. También los árabes recogieron gran parte de los conocimientos griegos y romanos,

así la Escuela Islámica de Córdoba recopila en su “Calendario Agrícola” (Abú M. Al-Idrisi 1100-1165) muchos de los conocimientos sobre fertilidad de suelos que se tenían, para diferentes cultivos. Durante el Renacimiento, el Español Gabriel Alonso de Herrera (1470-1539), publica “Agricultura General”, basándose en Columela y recogiendo todos los conocimientos precedentes en agricultura. Su obra desempeñó un rol fundamental en la agricultura moderna europea, destacando sus ideas sobre la calidad de los suelos (De la Rosa, 2013; Mitchell, 2014; Massobrio et al., 2019).

Durante los últimos 500 años, fue Leonardo da Vinci (1452- 1519) quien propuso la formación parcial del suelo a partir de la descomposición de la materia orgánica. Charles Darwin (1809-1882), desarrolló el concepto de “multihorizonte” del perfil del suelo, al estudiar el hábitat de la lombriz de tierra. Llegando a fines del siglo XIX, el científico ruso Vasili Dokuchayev (1840-1903), considerado el padre de la ciencia del suelo moderna, realizó importantísimos avances en la Edafología, con vastos estudios sobre los suelos y siendo uno de los primeros en cartografiarlos. A mediados del siglo XX, los estudios realizados por los autores citados anteriormente empezaron a confluir en la moderna sub-disciplina de la Evaluación de Tierras dentro de la Ciencia del Suelo. Desde la década de los 60 del siglo XX, la clasificación de la Capacidad de Uso de la Tierra del USDA (Land Capability Classification) (Klingebiel y Montgomery, 1961) es uno de los sistemas de clasificación cualitativos más utilizados en todo el mundo y ha sido adaptado a las condiciones particulares de numerosos países (McCormak, 1986), incluida a la Argentina (Miaczynsky, 1961). Luego se desarrollaron modelos de evaluación de tierras, como el Índice de Productividad (IP) (Riquier, 1974) adaptado en la Argentina por Sobral y Nakama (1988) y Sobral et al. (2010), paramétricos multiplicativos y dando como resultado una valoración cuantitativa. Estos últimos según De La Rosa et al. (2004) son considerados una transición entre capacidad de uso y los modelos matemáticos.

Los sistemas de evaluación de tierras evolucionaron al considerar todos los atributos de un paisaje que intervienen en un acto productivo. Estas evaluaciones multiatributos fueron evolucionando hasta la elaboración de los modelos expertos. Estos son programas informáticos que utilizan modelos matemáticos para la toma de decisiones, como el MicroLEIS (De la Rosa et al., 1992), el ALES (Rossiter y Wambeke, 1997), el RULES (Riveira y Maseda, 2006), el ALSE (Elsheikh et al., 2013) y el LSE (Nguyen et al., 2020).

Sistemas Expertos

Los sistemas expertos son programas informáticos que simulan las capacidades resolutorias de personas expertas en un campo determinado, proporcionando información para los planificadores del uso del territorio.

Un modelo es una representación simplificada de un sistema, mediante la cual se obtienen resultados de su funcionamiento sin necesidad de realizar experimentos a campo. Así, la utilización de modelos no sólo nos permite predecir resultados en condiciones reales, sino también generar nuevas hipótesis o resultados hipotéticos en escenarios de cambio. Estos posibles resultados facilitan medidas de gestión y adaptación a cambios futuros (Ball y De La Rosa, 2006).

Los árboles de decisión son uno de los mecanismos de inferencia del conocimiento más utilizados al programar un sistema experto para la evaluación de tierras (Irigoin, 2011; De la Rosa, 2013; Nguyen et al., 2020).

Nuevas alternativas

En los últimos años, la evolución fue modelando hacia un concepto de sistema de uso conservacionista de la tierra (Lal et al., 2007). Sin embargo, hasta la actualidad ningún sistema de uso de la tierra tuvo en cuenta el grado de estabilidad del agroecosistema. Según Cassani et al. (2020), la utilización de la mesofauna como indicador biológico permitió determinar la estabilidad de los agroecosistemas.

Los sistemas de agricultura perenne favorecerían el logro de un aumento de la sostenibilidad del agroecosistema al proponer sistemas de mayor estabilidad. El Kernza, es una nueva variedad del *Thinopyrum intermedium* desarrollada por Land Institute (Muckey, 2019). Es un cultivo de grano perenne de invierno con un grano relativamente grande, el cual es similar al del trigo (Lanker et al., 2019). Según Lanker et al. (2019) el Kernza, por todos sus beneficios y servicios ecosistémicos que puede proveer, tiene una alta potencialidad para cambiar el paradigma actual en la agricultura hacia un sistema más estable.

Teniendo en cuenta las consideraciones expuestas con anterioridad, en la República argentina todavía no se desarrollaron modelos expertos para determinar la aptitud de una agricultura perenne en el partido de Azul y no se encuentra información con relación a la aptitud del Kernza (*Thinopyrum intermedium*).

OBJETIVOS

6- Clasificar las tierras en función de las capacidades y limitaciones permanentes de los suelos (capacidad de uso de las tierras) y generar una cartografía específica.

7- Clasificar las tierras a través del índice de productividad (IP) y generar una cartografía específica.

8- Utilizar herramientas de predicción de resultados de adopción y difusión de nuevas tecnología (ADOPT) para determinar si es factible la adopción de agricultura perenne en el área bajo estudio.

9- Desarrollar un modelo de aptitud agrícola para Kernza (*Thinopyrum intermedium*) en el área bajo estudio a través de un sistema experto (ALES) ante distintos escenarios climáticos y de estabilidad del agroecosistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

Capacidad de Uso de las Tierras

Se utilizará el sistema de clasificación de “Capacidad de Uso de las Tierras agrícolas de secano mecanizadas” (Klingebiel y Montgomery, 1961). Esta se fundamenta en clasificar Unidades Cartográficas de suelos según su capacidad para sostener tipos generales de uso, sin degradación, para la planificación de empresas agropecuarias. Estas unidades responden de manera similar a la aplicación de determinados sistemas de manejo de cultivos y pasturas. Los rendimientos de los suelos agrupados dentro de la unidad, no deben diferir en más del 25% (Miaczynski, 1961).

Los grandes usos predeterminados por esta clasificación son:

- Agrícola sin prácticas específicas.
- Agrícola con restricciones y/o prácticas específicas.
- Pasturas mejoradas.
- Pastoreo de pastizales - uso forestal.
- Recreación, conservación de la flora y fauna.

Este sistema se basa en dos conceptos: *Capacidad* y *Limitaciones*.

Capacidad: potencial de la tierra para su uso de una manera específica o con prácticas específicas de manejo.

Limitación: es todo lo que restringe la capacidad.

La estructura de la clasificación por Capacidad de Uso es la siguiente:

Hay tres categorías: - *Clase*-, -*Subclase*-, y -*Unidad*-

Clase: indica el grado relativo a la limitación o riesgo. Va desde la clase I a la VIII.

I a IV: tierras agrícolas.

V a VIII: tierras no agrícolas.

A medida que avanzamos de clase I a la IV, aumenta el riesgo de deterioro, disminuye la oportunidad de elección de cultivos y aumenta la intensidad de prácticas de manejo y conservación.

Subclase: indica el tipo de limitación o problema principal de conservación.

- Riesgo de erosión, caracterizado por el símbolo (e): se halla integrada por suelos en los que la susceptibilidad o el riesgo de erosión es el problema de uso dominante. Susceptibilidad de erosión y daños producidos por una erosión anterior, son los factores dominantes para ubicar suelos en esta subclase.
- Exceso de humedad, drenaje deficiente, o peligro de inundación (w): está formada por suelos donde el exceso de agua es el riesgo o la limitación de uso dominante. Los suelos con drenaje deficiente, exceso de humedad; napa de agua próxima a la superficie o sujetos a inundaciones, son los que integran esta subclase.
- Limitaciones en la zona de actividad radical (s): como su nombre lo indica, en esta subclase se incluyen los suelos que tienen limitaciones en la capa de actividad de las raíces. Estas limitaciones son el resultado de la incidencia de factores tales como suelos someros, piedras, baja capacidad de retención de humedad, baja fertilidad, difícil de corregir y salinidad o alcalinidad sódica.
- Limitaciones climáticas: está formada por suelos donde el clima (temperatura y falta de humedad) es el único riesgo o limitación para su uso.

Unidad de Capacidad de uso: agrupamiento de suelos con el mismo tipo y grado de limitación, con una misma capacidad productiva ante manejos semejantes.

El sistema de evaluación de tierras por Capacidad de Uso no determina la aptitud de uso de las tierras. La diferencia entre ambas (aptitud y capacidad) se basa en que la capacidad de la tierra incluye todos los usos del suelo, en este caso los usos agrarios, mientras que

la aptitud se refiere a un uso específico del suelo (Dent y Young, 1981). Por otra parte, este método de evaluación está orientado a la conservación del suelo, sobre todo a evitar la erosión, e ignora los factores económicos, no tiene en cuenta cuestiones como la distancia a mercados, infraestructuras viarias, entre otros (Massobrio, 2019).

Se utilizó la información de las cartas de suelo del INTA 1:50000 (INTA, 2005; Cruzate et al., 2010), expresando los valores de Capacidad de Uso por unidad cartográfica. Para ello, primero se calculó para cada unidad taxonómica definida a nivel de serie, su respectivo valor de Capacidad de Uso. Luego, utilizando conocimiento experto, teniendo en cuenta el comportamiento de cada unidad taxonómica en cada unidad cartográfica, se calcularon los respectivos valores de Capacidad de Uso de las Tierras. Dichos resultados se expresaron en informes con mapas temáticos mediante el software QGIS v3.10.8-A Coruña (QGIS.org 2021).

Se realizó un resumen de la superficie ocupada por cada clase y subclase de Capacidad de Uso.

Índice de productividad (IP)

El Índice de Productividad (IP) de Riquier (1974) es un sistema paramétrico multiplicativo y fue adaptado a la región pampeana por Sobral y Nakama (1988) y Sobral et al. (2010). Este sistema relaciona, en forma multiplicativa, los valores o niveles de propiedades que tienen cierta influencia sobre la productividad de la tierra.

Las propiedades que integran el índice 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 hídrica actual y potencial (EH); erosión eólica actual y potencial (EE).

Expresión del Índice de Productividad:

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

El valor de partida, el factor de condición macro climática (H), está definido en función de la temperatura y precipitaciones de una serie histórica de años, la cual varía entre valores de 100 y 50. Para el partido de Azul se utilizó un factor de condición macroclimática (H) de 90, según Nakama y Sobral (1987).

Se utilizó la información de las cartas de suelo del INTA 1:50000 (INTA, 2005; Cruzate et al., 2010), para determinar los factores drenaje (D); profundidad efectiva (Pe); textura superficial (Ta); textura subsuperficial (Tb); salinidad (Sa); sodicidad (Na); materia orgánica (Mo); capacidad de intercambio catiónico (T); erosión hídrica actual y potencial (EH); erosión eólica actual y potencial (EE).

Los valores de IP se expresaron por unidad cartográfica. Para ello, primero se calculó para cada unidad taxonómica definida a nivel de serie, su respectivo IP. Luego, se ponderaron los IP de cada unidad taxonómica que componen cada unidad cartográfica en relación al porcentaje que ocupan en la misma.

Los valores de IP de las unidades cartográficas fueron agrupados en seis categorías productivas: muy alta (> 80), alta (80-66), moderada (65-51), moderadamente baja (50-36), baja (35-21) y muy baja (< 20).

Dichos resultados se expresaron en informes con mapas temáticos mediante el software QGIS v3.10.8-A Coruña (QGIS.org 2021).

Se realizó un resumen de la superficie ocupada por cada categoría de IP.

ADOPT

Con el objetivo de comprobar si es posible la adopción de un nuevo sistema de cultivo de grano perenne, Kernza, se utilizó el software ADOPT (Kuehne et al., 2017). Este es un paso previo que dio mayores certezas para poder plantear un modelo de evaluación de tierras que incluyera al cultivo de Kernza en zonas donde nunca antes ha realizado, donde se tomó como población objetivo a los pequeños, medianos y grandes productores agropecuarios del partido de Azul.

Se utilizó la versión online de ADOPT: <https://adopt.csiro.au/>, la cual es recomendable para países en vías de desarrollo. ADOPT con sus siglas en inglés (Herramienta de Predicción de Resultados de Adopción y Difusión, en castellano), es una herramienta basada en MS Excel que evalúa y predice el nivel probable de adopción y difusión de tecnologías y prácticas agrícolas específicas, teniendo en cuenta una población objetivo particular. Para poder ir contestando las preguntas del software se contó con información del último censo nacional agropecuario 2018 (INDEC, 2021). Asimismo, se contó con conocimiento experto de la realidad socioeconómica de Azul.

Modelo de Aptitud agrícola para Kernza

Armado del modelo de aptitud

Para el armado del modelo se utilizó el software ALES v4.65e (Rossiter et al., 1997) y se siguieron los lineamientos del manual para usuarios (Rossiter et al., 1995). Se utilizó la información de las cartas de suelo del INTA 1:50000 (INTA, 2005; Cruzate et al., 2010) y los resultados se expresaron en informes con mapas temáticos mediante el software QGIS v3.10.8-A Coruña (QGIS.org 2021).

Tipo de Utilización de la Tierra (TuT)

TuT: KERNZA

Cultivo de Kernza, para grano y forraje, en seco con una duración de 4 años. El nivel tecnológico es medio-alto con siembra directa, fertilización nitrogenada y fosforada, con aplicación de agroquímicos y cosecha mecanizada. La fecha de siembra es el mes de marzo, con cosecha de granos en enero y dos cosechas de forraje: a continuación de la cosecha de granos y en abril-mayo.

Requisitos del Uso de la Tierra (RuT)

Tabla 11. Requisitos del uso de la tierra para Kernza y la bibliografía consultada.

<u>Requisitos</u>	<u>Kernza</u>	<u>Bibliografía</u>
Fecha de siembra	Marzo, un mes antes de las heladas.	Muckey, 2019
	Mayo.	Locatelli*
Vernalización	Requiere horas de frío para inducir floración	Muckey, 2019
Retención de humedad de los suelos	Los suelos de textura gruesa con baja capacidad de retención de agua pueden ser utilizados, particularmente en las zonas con abundantes precipitaciones debido a su gran capacidad de exploración radicular.	Muckey, 2019
Etp en periodo reproductivo	328 mm (octubre a enero).	De Oliveira et al., 2017
Etp en periodo vegetativo	349 (febrero a septiembre).	De Oliveira et al., 2017
Densidad de siembra	11 a 13 kg·ha ⁻¹	De Oliveira et al., 2017
	16,81 kg·ha ⁻¹	Pugliese et al., 2019
	13 kg·ha ⁻¹ de semillas 130 semillas·m ² a 0,15 m de distancia 19,7 semillas·m lineal ⁻¹	Culman et al., 2013; de Oliveira et al., 2017
	Lograr un stand de 20 plantas vivas·m ²	Locatelli*
Profundidad de siembra	1,2 a 2,5 cm	De Oliveira et al., 2017
Distanciamiento entre hileras	75 cm	De Oliveira et al., 2017
	15 cm	Culman et al., 2013
	Desde 15,24 cm hasta 30,48 cm	

Fertilización	Nitrógeno: 110 kg·ha ⁻¹ a la siembra (1er año), 100 kg·ha ⁻¹ (2do año), 90 kg·ha ⁻¹ (3er año) y luego decreciente hasta los 80 kg·ha ⁻¹ (4to año); fósforo: 10 a 20 ppm	De Oliveira et al. 2017
	Nitrógeno: primer año a la siembra 36kg·ha ⁻¹ de n. Posterior a la cosecha y comienzos de primavera en cada fecha 36 kg·ha ⁻¹ de n. Fósforo: en el primer año fosfato monoamónico (map, 52% p2o5) 67 kg·ha ⁻¹	Pugliese et al. 2019
	Nitrógeno: primer año a la siembra 50 kg·ha ⁻¹ de n y en primavera otros 50 kg·ha ⁻¹ de n	Culman et al. 2013
	Fósforo: fosfato monoamónico (map, 52% p2o5) 15 kg·as ⁻¹	Pugliese 2017
Cosecha de granos	Enero, con un rendimiento muy dispar desde 280,21 kg/ha hasta los 1120,85 kg/ha. El segundo año produce más que el primero y luego decae hasta el cuarto año, cuando se debería resembrar.	Culman et al. 2013; de Oliveira et al 2017; Pugliese et al. 2019
Cosecha de forraje	Inmediatamente después de la cosecha de semillas, se realiza un corte mecánico a 10 cm del suelo y otro en abril. O solo una cosecha de forraje en abril.	Pugliese 2017; Pugliese et al. 2019.
Anegamiento	No tolera el anegamiento.	Muckey 2019
Ciclos del cultivo	Tiene tres etapas: vegetativa temprana, comprende desde el rebrote luego de la cosecha hasta antes del comienzo de las temperaturas más frías (febrero hasta abril); vegetativa tardía, comprende el período de elongación de tallos justo antes de la floración (mayo a septiembre); etapa reproductiva a partir de floración hasta la cosecha (noviembre a enero).	Pugliese et al. 2018

*Ing. Agr. Andrés Locatelli (Universidad de la República, Uruguay), comunicación personal.

Definición de las unidades de las Tierras

Las unidades cartográficas identificadas en las cartas 1:50000 (INTA, 2005; Cruzate et al., 2010) fueron utilizadas como las unidades de las tierras para este trabajo. Se identificaron 134 unidades cartográficas, compuestas por 90 series de suelos y sus fases.

Características de la Tierra (CaT)

La determinación del grado de satisfacción de los requerimientos de cada tipo de uso o actividad (RuT) proporcionada por la tierra es producto de la confrontación de los requerimientos del cultivo frente a las cualidades de las tierras (CuT) seleccionadas de las características de las tierras (CaT).

Para el desarrollo del modelo de evaluación de tierras a través del software ALES, se seleccionaron características edáficas (Tabla 11) y climáticas (Tabla 12), determinándose diferentes clases y rangos. 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 (Irigoien, 2011). En el software ALES, cada clase de cada característica tiene un código de identificación que representa la abreviatura de su nombre descriptivo. Los datos edáficos fueron obtenidos de los perfiles de suelos de las cartas de suelos 1:50000 (INTA, 2005; Cruzate et al., 2010) y del análisis de la bibliografía recopilada, el conocimiento experto. Los datos climáticos fueron obtenidos del análisis climático del trabajo de Cassani (2020) y del SMN (2018).

De las características edáficas, el agua útil (AU) fue obtenida indirectamente con la función de pedotransferencia de Travasso y Suero (1994), que fue desarrollada y validada para la región pampa austral bonaerense. Esta función tiene dos fórmulas: la primera que tiene en cuenta el agua retenida a capacidad de campo a -33kPa y la segunda a punto de marchitez permanente a -1500 kPa . Para el cálculo del agua útil (AU) de cada perfil de suelo, se realizó un cociente entre el agua retenida en capacidad de campo y el agua retenida en punto de marchitez permanente. El cálculo se realizó por cada horizonte de suelo hasta los 100 cm de profundidad salvo cuando el perfil sea de menor profundidad, multiplicando el valor por los cm de profundidad del cada horizonte y multiplicándolo por 100, obteniéndose como resultado la lámina de agua en $\text{mm}\cdot\text{m}^{-1}$ de profundidad.

Travasso y Suero (1994):

$$\Theta_{.33} = 5,5868 + 0,61 * C + 0,203 * LF$$

$$\Theta_{.1500} = -0,0686 + 0,476 * \Theta_{.33}$$

$\Theta_{.33}$: Contenido de agua % en volumen en capacidad de campo

$\Theta_{.1500}$: Contenido de agua % en volumen en punto de marchitez permanente

C: arcilla < 2 mm (%)

LF: limo fino, 2-20 mm (%)

Tabla 12. Características edáficas seleccionadas con sus rangos y clases.

Código	CaT	Rangos y clases	
Prof_Ef	Profundidad efectiva (m)	0,15 – 0,30	Muy poco profundo (MuyPocoP)
		0,31 – 0,60	Poco profundo (PocoP)
		0,61 – 0,90	Moderadamente profundo (ModP)
		0,91 – 1,20	Profundo (P)
		< 1,21	Muy profundo (MuyP)
Agua_Util	Agua útil (mm/m)	0 – 50	Muy baja (MB)
		50,1 – 75	Baja (B)
		75,1 – 100	Moderada (M)
		100,1 – 135	Alta (A)
		< 135,1	Muy alta (MA)
Aneg	Anegamiento	No anegable (N)	
		Moderadamente anegable (M)	
		Altamente anegable (A)	
		Muy Anegable (MA)	
CIC	Capacidad de intercambio catiónico (cmol ⁺ Kg ⁻¹ suelo)	0 – 16	Bajo (B)
		16,1 – 24	Medio (M)
		< 24,1	Alto (A)
Cond_Elec	Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0 – 2	Baja (B)
		2,1 – 4	Media (M)
		4,1 – 6	Alta (A)
		6,1 – 9	Muy alta (MA)
Dren	Drenaje	Muy pobremente drenado (MPD)	
		Pobremente drenado (PD)	

		Algo Pobrementemente drenado (APD)	Moderadamente bien drenado (MBD)	Bien drenado (BD)	Algo excesivamente drenado (AED)	Excesivamente drenado (ED)
MO	Materia orgánica (%)	0 – 1	Baja (B)			
		1,1 – 2	Media (M)			
		< 2,1	Alta (A)			
pH	Concentración de iones de hidrógeno	0 – 5,5	Ácido (A)			
		5,6 – 6	Moderadamente ácido (MA)			
		6,1 – 6,5	Ligeramente ácido (LA)			
		6,6 – 7,3	Neutro (N)			
		7,4 – 7,8	Ligeramente básico (LB)			
		7,9 – 8,3	Moderadamente básico (MB)			
		8,4 – 14	Básico (B)			
PSI_Sup	PSI (%) superficial 0 – 0,20 m	0 – 5	Bajo (B)			
		5,1 – 10	Medio (M)			
		10,1 – 15	Alto (A)			
		< 15,1	Muy alto (MA)			
PSI_SubS	PSI (%) subsuperficial 0,21 – 0,50 m	0 – 5	Bajo (B)			
		5,1 – 10	Medio (M)			
		10,1 – 15	Alto (A)			
		< 15,1	Muy alto (MA)			

Tabla 13. Características climáticas seleccionadas con sus rangos y clases.

<u>Código</u>	<u>CaT</u>	<u>Clases y rangos</u>	
PP_Repro	Precipitaciones en el período reproductivo (mm)	50-150	Muy baja (MB)
		151 – 250	Baja (B)
		251 – 350	Media (M)
		351-500	Alta (A)
		> 501	Muy alta (A)
PP_Vegeta	Precipitaciones en el período vegetativo (mm)	100-250	Muy baja (MB)
		251 – 300	Baja (B)
		301 – 350	Media (M)
		351-500	Alta (A)
		> 501	Muy alta (A)

Cualidades de la tierra (CuT)

Para la construcción del modelo de evaluación de tierras, el software ALES permitió el armado de árboles de decisión que utilizaron a las características de la tierra que se consideraron pertinentes para determinar las cualidades de la tierra. Las cualidades se evaluaron mediante cuatro categorías (Irigoin, 2011; Nguyen et al., 2020), de menor a mayor nivel severidad o limitación de uso (Tabla 14).

Tabla 14. Categorías de evaluación y su valor.

Categoría	Valor
Aptas	1
Aptas con ligeras limitaciones	2
Aptas con moderadas limitaciones	3
No aptas	4

Se determinaron 7 cualidades de la tierra para el desarrollo del modelo, que fueron construidas mediante árboles de decisión:

- Disponibilidad de oxígeno (Disp_O): fue definido por las clases de drenaje de los suelos (Dren). Expresa la dinámica del agua en el perfil. Las clases de drenaje son: muy pobremente drenado, pobremente drenado, algo pobremente drenado, moderadamente bien drenado, bien drenado, algo excesivamente drenado y excesivamente drenado (FAO, 1985).
- Capacidad de exploración radicular (Exp_Rad): fue definida por la profundidad efectiva (Prof_Ef), siendo una limitante un contacto lítico (piedra) o paralítico (carbonato de calcio consolidado).
- Disponibilidad de nutrientes (Disp_Nut): fue definida por la materia orgánica (MO), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el pH (pH). La fertilidad de un suelo se halla

estrechamente relacionada con la riqueza en bases de sus materiales originarios, sobre todo en Ca^{+2} . La CIC es una propiedad de las arcillas de retículo cristalino y de la materia orgánica que evita el excesivo lavado de las bases por las aguas de percolación, manteniéndolas al mismo tiempo en condiciones de poder ser asimilados por los organismos del suelo. En la región pampeana argentina, el principal catión adsorbido en suelos bien drenados es el Ca^{2+} . (Imbellone et al., 2010). El pH del suelo expresa si los elementos están precipitados, acomplejados o en solución; pH inferiores a 5,5 evidencian una elevada insaturación; entre 5,5 y 8,4 el predominio del ion Ca^{2+} y valores superiores a 8,4 una creciente intervención del ion Na^+ .

- Porcentaje de sodio intercambiable (PSI): fue definida por el porcentaje de sodio intercambiable superficial de 0-20 cm de profundidad (PSI_Sup) y el porcentaje de sodio intercambiable subsuperficial de 20-50 cm de profundidad (PSI_SubS). En la región pampeana de Argentina, los suelos hidromórficos de los planos aluviales, el ion Na^+ muchas veces supera el 15 % y hasta el 50 % de la capacidad de intercambio. En el primer caso los coloides inorgánicos y orgánicos se mantienen flocculados, en el segundo, están peptizados (Imbellone et al., 2010).

- Anegamiento (Aneg): fue definido por la posibilidad de inundación las tierras (Aneg).

- Disponibilidad de agua (Disp_Agua): fue definida por las precipitaciones en la etapa reproductiva (PP_Repro), por las precipitaciones en la etapa vegetativa (PP_Vegeta) y por el agua útil (Agua_Util).

Propuesta de distintos escenarios

Escenarios climáticos

Del análisis climático realizado por Cassani (2020) para el partido de Azul, se observó que existe una serie de variaciones estacionales de entre 2.5, 3, 8 y 12 años. Por lo tanto, resultó interesante plantear diferentes escenarios de precipitaciones. El Kernza es un cultivo perenne que tiene una vida útil de 4 años para el TuT planteado, por lo que es muy probable que pueda sufrir tanto sequías como eventos de excesos de precipitaciones. Se plantearon escenarios de acuerdo a la probabilidad acumulada de precipitaciones para el área de estudio: P20%, P50% y P80% (Tabla 15). Dichos escenarios fueron calculados mediante los datos obtenidos del SMN (2018) y con la utilización del software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2018).

Escenarios de estabilidad

El partido de Azul, como así también la mayor parte de la región pampeana, está sujeto a distintos niveles de intensidad de uso de las tierras. Teniendo en cuenta que el uso actual o futuro de las tierras puede tener consecuencias para la planificación y, por lo tanto, modificar la aptitud de un cultivo, se simuló para cada escenario de precipitación acumulada, un escenario de máxima intensidad de uso (mínima estabilidad) y de mínima intensidad (máxima estabilidad).

Visto que para el partido de Azul (ver Capítulo 1) el índice de fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE) está construido principalmente por la fragilidad a la degradación física, y al afectar el IFDE por el índice de estabilidad (IE) obtenemos el índice de vulnerabilidad de la estabilidad (IVE). Teniendo en cuenta que el valor obtenido del IE está dado por el uso, o sea el nivel de artificialización, pudiendo ser máximo, alto, moderado, bajo o nulo; se planteó entonces, simular un escenario con un alto nivel de

artificialización con muy baja estabilidad. Para ello, teniendo en cuenta a la degradación física, se calculó una densificación máxima teórica DA_{max} , según la fórmula de Duval et al. (2015). Esto dio como resultado una disminución del 20% del agua útil en promedio (Anexo I), simulando la ocurrencia de densificaciones superficiales y subsuperficiales, que disminuyeron la infiltración y la percolación del agua. Esto generó distintos puntos de partida para el TuT seleccionado para la cualidad disponibilidad de agua (Tabla 15). Se asumió entonces que las tierras con un alto nivel de artificialización y baja estabilidad tuvieron una vulnerabilidad de la estabilidad (IVE) alta y, por ende, estaban degradados física, química y biológicamente, donde la degradación física tiene mayor peso, y donde el agua útil disponible es menor. Y en caso de excesos de precipitaciones, la capacidad de salida del agua de las tierras se vio limitada.

Tabla 15. Simulación de distintos escenarios para las precipitaciones. Se observan las distintas probabilidades de ocurrencia de precipitaciones para cada período y para cada grado de estabilidad del agroecosistema.

Probabilidad	Precipitación (mm)		
	Periodo reproductivo	Periodo vegetativo	
20	186	215	Máx Estabilidad
50	368	554	
80	548	889	
20	149	172	Mín Estabilidad
50	294	443	
80	438	711	

Aplicación del modelo mediante el software ALES

Para la evaluación de aptitud del TuT Kernza se realizó la confrontación de los requisitos del tipo de uso de la tierra (RuT) vs. las Cualidades de la Tierra (CuT) mediante la aptitud física del TuT Kernza, teniendo en cuenta el método de la máxima limitación para cada uno de los árboles de decisión creados.

En una primera salida del modelo, para los distintos escenarios planteados, no se obtuvo una respuesta única de evaluación de las distintas unidades cartográficas. Por lo tanto, se procedió a realizar un análisis a posteriori, donde se ampliaron las categorías de salida con el fin de lograr un resultado único de valor por cada unidad cartográfica (Tabla 16).

Tabla 16. Distintas categorías de clasificación de las tierras para cada valor obtenido en el modelo del software ALES.

Categoría de clasificación	Valor obtenido en ALES
Muy apta	1
Ligeramente apta	1-2
Moderadamente apta	2
Moderada a severamente apta	2-3
Severamente apta	3
Muy severamente apta	3-4
Inaptas	4
Inapta condicional*	4
Inapta permanente*	4

*sólo dentro de la aplicación del modelo para el escenario de muy baja estabilidad.

En el escenario de muy baja estabilidad, se incorporaron dos nuevas categorías de clasificación: las tierras inaptas condicionales y las tierras inaptas permanentes.

Las tierras inaptas condicional pueden ser reversibles; esto significa que eliminando la limitación pueden transformarse en tierras aptas. Esto no ocurre con las tierras inaptas permanentes. Se consideró para este modelo que la limitación es la densificación superficial y subsuperficial (ver escenarios de estabilidad).

RESULTADOS

Capacidad de Uso

Clases de Capacidad de Uso

Los resultados de la clasificación en clases de Capacidad de Uso para cada una de las unidades cartográficas de suelos del partido de Azul se presentan en la Figura 11.

Se observó que la mayoría de la parte meridional de las tierras del partido de Azul obtuvo clases II, III y IV. En cambio, la parte septentrional obtuvo tierras con clase VI principalmente. En la parte más al norte y en una pequeña franja del centro-norte del partido Azul se observaron tierras con clases III y IV. Se observó, en una muy pequeña superficie en la parte más septentrional y al sur-este, tierras con clase VII.

La mayoría de la superficie al sur del partido de Azul obtuvo tierras Aptas para agricultura con clases II, III y IV. En cambio, la mayoría de la superficie al norte del partido de Azul obtuvo tierras No Aptas para agricultura con clase VI principalmente.

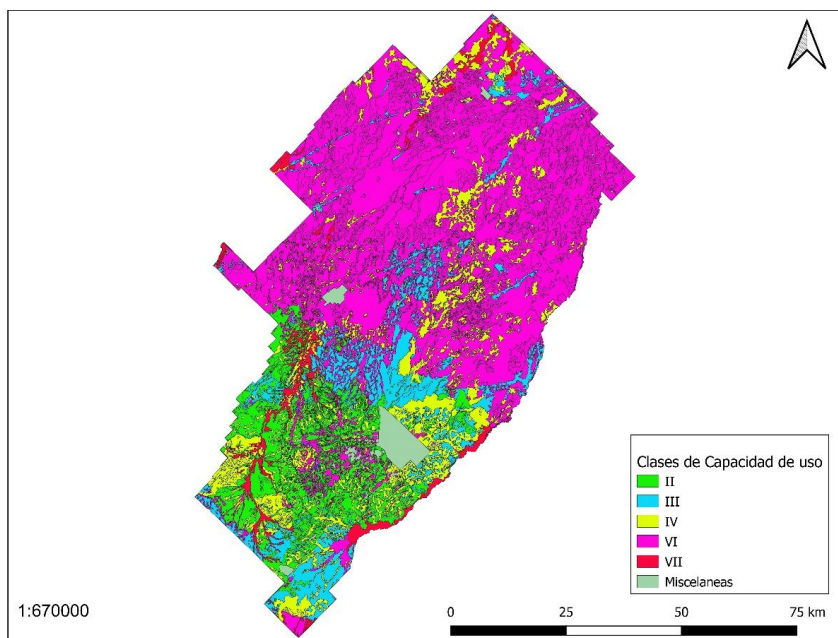


Figura 11. Mapa de Clases de Capacidad de Uso de las tierras para el partido de Azul.

Subclases de Capacidad de Uso

Los resultados de la clasificación en clases de Capacidad de Uso para cada una de las unidades cartográficas de suelos del partido de Azul se presentan en la Figura 12.

Se observó que la mayoría de las tierras ubicadas en la parte meridional del partido de Azul obtuvo subclases “e” y “es”, y una muy pequeña superficie de tierras, la subclase “s”. También se observaron tierras con subclase “ws” en la parte meridional del partido. En cambio, en la parte septentrional, las tierras obtuvieron la subclase “ws” principalmente. En una pequeña superficie del centro-norte del partido Azul se observaron tierras con subclase “e”.

La mayoría de las tierras al sur del partido de Azul obtuvieron las subclases “e” (limitaciones por erosión hídrica) y “es” (limitaciones por erosión hídrica y profundidad efectiva). La mayoría de las tierras al norte del partido de Azul obtuvo la subclase “ws” (limitaciones por drenaje y sodicidad).

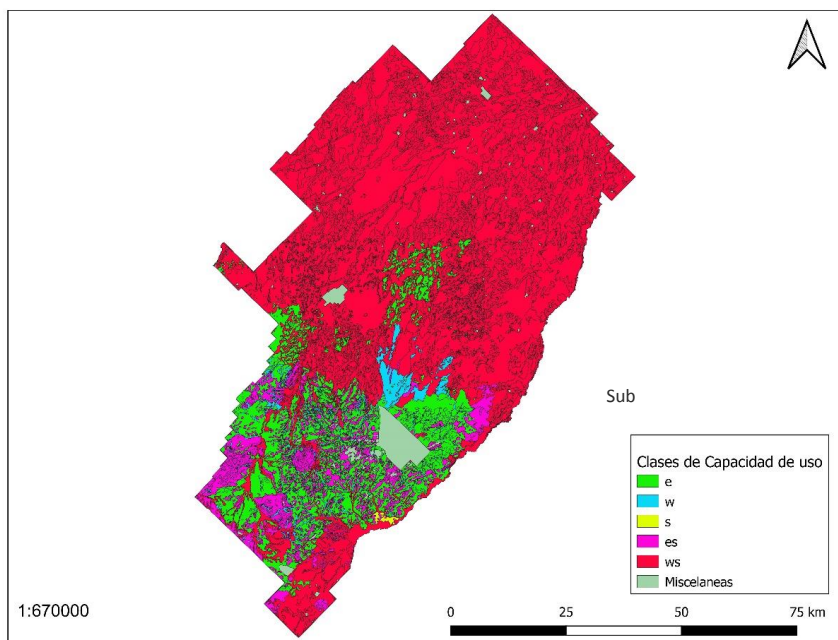


Figura 12. Mapa de Subclases de Capacidad de Uso de las tierras para el partido de Azul.

Clases y subclases de Capacidad de Uso

Los resultados de la clasificación en clases y subclases de Capacidad de Uso para cada una de las unidades cartográficas de suelos del partido de Azul se presentan en la Figura 13. Este mapa es una síntesis de los mapas de las figuras 11 y 12.

Se observó que la mayoría de tierras ubicadas en parte meridional fueron clasificadas como agrícolas (clases II a IV) con limitaciones por erosión hídrica (e) y profundidad efectiva principalmente (s). En la parte septentrional del partido, predominaron tierras no agrícolas (clases VI a VII) con limitaciones por exceso de agua (w), problemas de drenaje (w) y problemas de sodicidad (s).

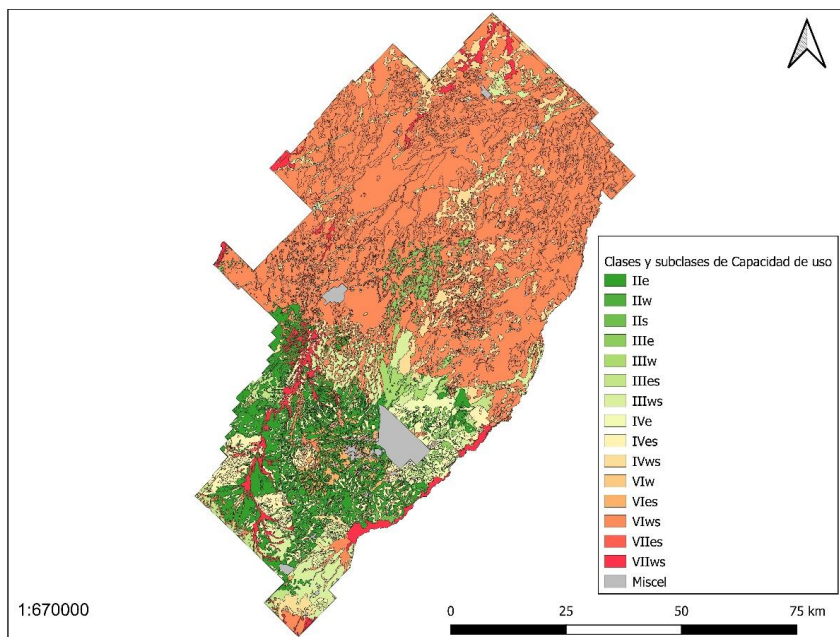


Figura 13. Mapa de Clases y Subclases de Capacidad de Uso de las tierras para el partido de Azul.

Superficie ocupada por las distintas unidades de Capacidad de Uso

Los resultados en superficie ocupada por las distintas unidades de Capacidad de Uso, por su clase y subclase se presentan en las Tablas 17, 18 y 19.

La mayor superficie del partido de Azul fue ocupada por la clase VI. Le siguieron la clase IV, la II, la III y la VII (Tabla 17). Dentro de las limitaciones permanentes, la subclase de Capacidad de Uso ws fue la que ocupó la mayor superficie del partido. Le siguieron e, es, w y s (Tabla 18).

La clase y subclase que mayor superficie ocupó fue la VI ws, seguida por la II e. Las que menor superficie ocuparon fueron la II s y VI w (Tabla 19).

Tabla 17. Superficie ocupada por las distintas Clases de Capacidad de Uso en el partido de Azul.

Clases de Capacidad de uso	Superficie (km ²)
II	784
III	667
IV	929
VI	3807
VII	215
Misceláneas	150
Total	6551

Tabla 18. Superficie ocupada por las distintas Subclases de Capacidad de Uso en el partido de Azul.

Subclase de Capacidad de uso	Superficie (km ²)
e	907
w	166
s	6
es	529
ws	4794
Misceláneas	150
Total	6551

Tabla 19. Superficie ocupada por las distintas Clases y Subclases de Capacidad de Uso en el partido de Azul.

Clase y subclase de Capacidad de Uso	Superficie (km ²)
II e	683
II w	95
II s	6
III e	109
III es	125
III w	68
III ws	366
IV e	115
IV es	313
IV ws	500
VI es	84
VI w	3
VI ws	3719
VII es	6
VII ws	209
Misceláneas	150
Total	6551

IP

Los resultados de la aplicación del sistema IP (Índice de Productividad) para cada una de las unidades cartográficas de suelos del partido de Azul se presentan en la Figura 14.

Se observó que la mayoría de las tierras ubicadas en la parte meridional del partido de Azul obtuvieron valores de moderada a muy alta productividad. En la parte septentrional, se observaron tierras con valores de baja a muy baja productividad. En pequeñas unidades cartográficas del centro-norte del partido Azul se observaron tierras con valores de moderada a moderadamente baja productividad. Se observó tierras en una muy pequeña superficie en la parte más al sur del partido, con valores de baja a muy baja productividad.

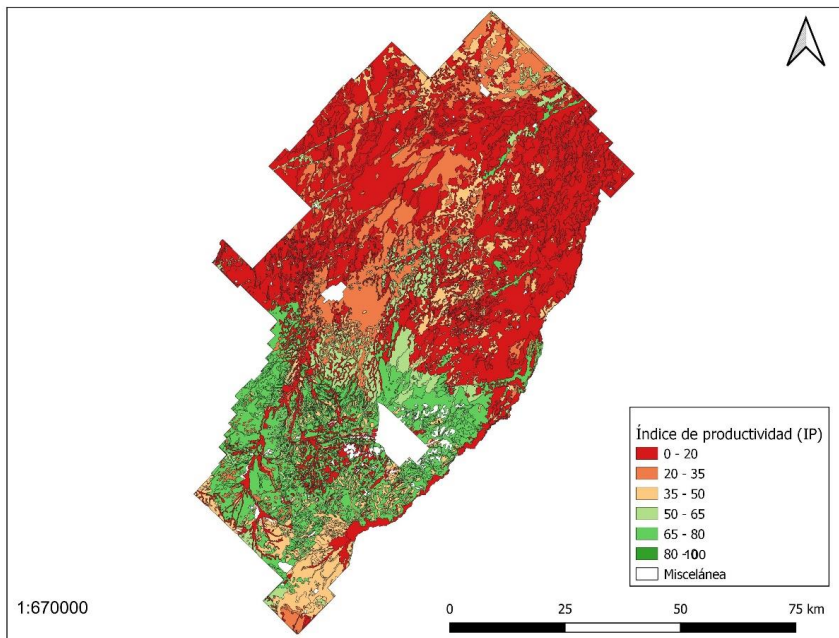


Figura 14. Mapa del Índice de Productividad (IP) de las tierras para el partido de Azul.

Superficie ocupada por las distintas categorías de IP

En la Tabla 20 se presentan las distintas categorías de IP y la superficie que ocupan. Se observó que la mayor superficie fue ocupada por los valores de 0 – 20, correspondientes a una productividad muy baja. Le sigue en superficie ocupada los valores de 65-80, correspondientes a una alta productividad. La superficie con menor ocupación obtuvo valores de 80 – 100 correspondiente a una muy alta productividad.

Tabla 20. Superficie ocupada para las distintas categorías de IP en el partido de Azul.

Categorías de IP	Superficie km ²
0-20 (muy baja)	3200
20-35 (baja)	866
35-50 (moderadamente baja)	739
50-65 (moderada)	427
65-80 (alta)	1132
80-100 (muy alta)	38
Misceláneas	150
Total	6551

ADOPT

Los datos de salida de la aplicación del software ADOPT, se presentan en el Anexo III.

El resultado de la aplicación del programa es un archivo .pdf en inglés, por lo que a continuación se presentaran los datos más relevantes en modo de resumen.

Los resultados indicaron que se alcanzaría un valor muy cercano al pico máximo de adopción de la nueva tecnología de cultivos de granos perennes de un 97% a los 12 años.

Se observó que a los 5 años se alcanzaría al 42% de la adopción de la nueva tecnología, y se estimó que hacen falta 10 años para alcanzar un nivel de 91% (Figuras 15 y 16).

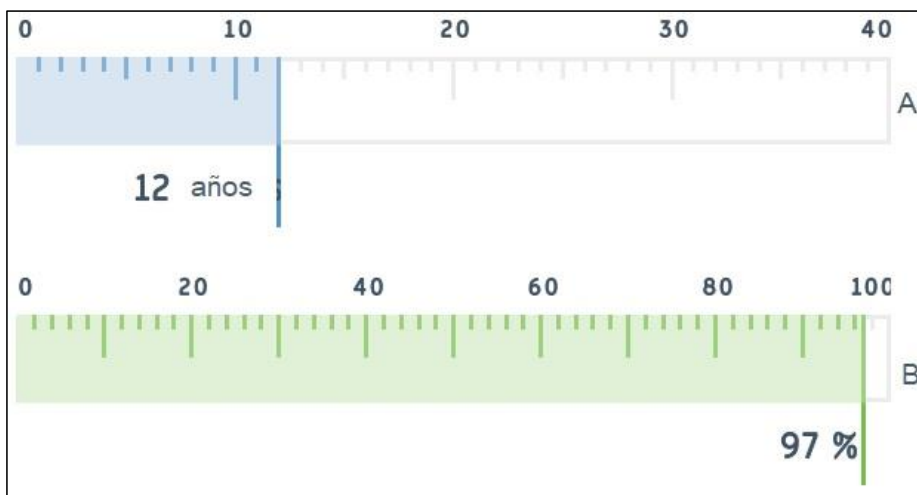


Figura 15. Años (A) y porcentaje de adopción máximo (B) estimado para la nueva tecnología por parte de los productores agropecuarios del partido de Azul.



Figura 16. Porcentajes estimados de adopción a los 5 y 10 años, y años estimados para llegar al 50% de adopción.

En cuanto a las preguntas más sensibles que puedan modificar el pico de adopción de la nueva tecnología, fue la pregunta: “What proportion of the target households will need to develop substantial new skills and knowledge to use the innovation?”, que traducida al

castellano significa: “¿Qué proporción de los destinatarios de la nueva tecnología tendrá que desarrollar nuevas habilidades y conocimientos sustanciales para utilizar la innovación”, cuya respuesta fue: que solo una minoría de los productores necesitarían desarrollar nuevas habilidades y conocimientos sustanciales. Si la respuesta a esa pregunta hubiese sido: “casi ninguno necesitaría desarrollar nuevas habilidades y conocimientos sustanciales”, el pico de adopción se adelantaría 1,6 años, siendo en 10,8 años. En cambio, si la respuesta hubiese sido: “alrededor de la mitad de los productores necesitarían desarrollar nuevas habilidades y conocimientos sustanciales”, el pico de adopción se atrasaría 1,7 años, llegando a los 14 años (Anexo III).

Modelo de aptitud de las tierras para Kernza

Los resultados de los modelos expertos, incluyen el armado de los árboles de decisión de las cualidades de las tierras y la evaluación de aptitud de uso de las unidades cartográficas, empleando los árboles de decisión y el factor de máxima limitación.

Árboles de decisión

A continuación (Figuras 17 a 23) se presenta el armado de árboles de decisión que utilizan a las características de la tierra (CaT) que se consideren pertinentes para determinar las cualidades de la tierra (CuT) a utilizar. Las cualidades se evaluaron mediante cuatro categorías como fue detallado anteriormente (Tabla 14).

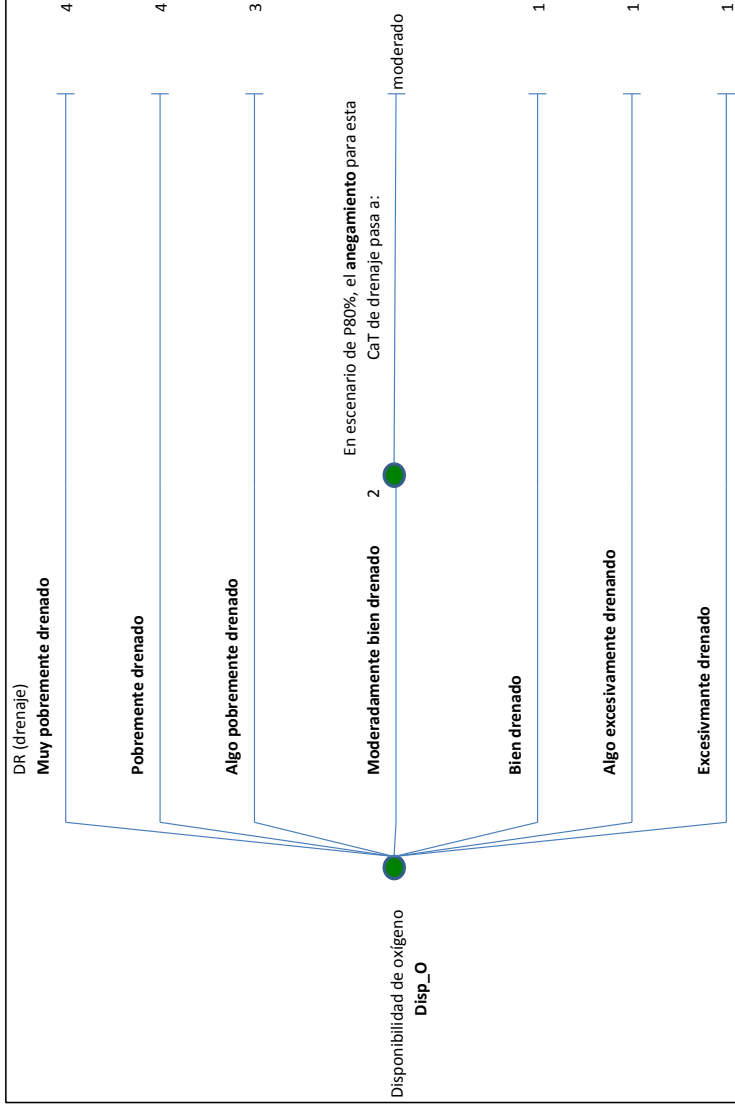


Figura 17. Árbol de decisión para la calidad Disponibilidad de oxígeno para el TuT Kernza. Cuando nos encontramos en el escenario de P80%, los que tienen una clase de drenaje Moderadamente bien drenada, su anegamiento pasa a ser Moderado.

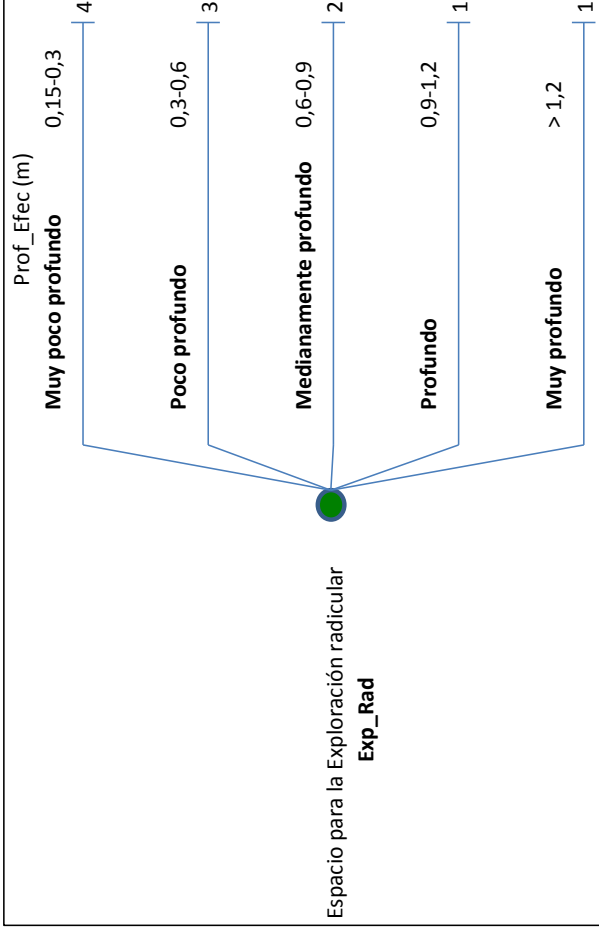


Figura 18. Árbol de decisión para la cualidad Espacio para la Exploración Radical para el TuT Kemza.

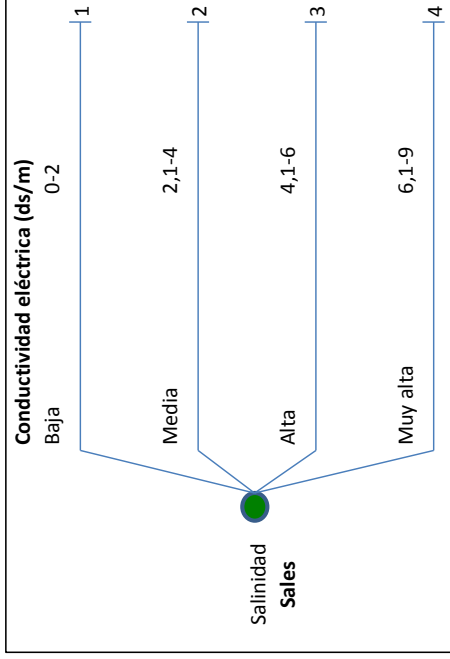


Figura 19. Árbol de decisión para la cualidad Salinidad para el TuT Kemza.

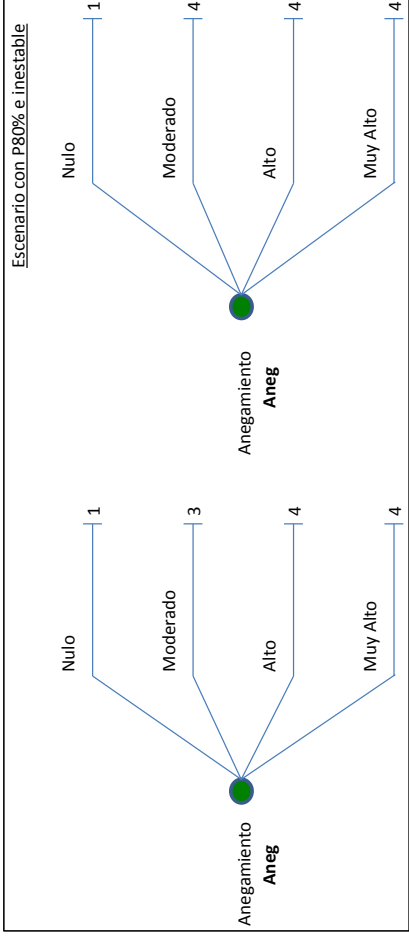


Figura 20. Árbol de decisión para la cualidad Aneamiento y para Aneamiento con un P80% e inestable para el TuiT Kerriza.

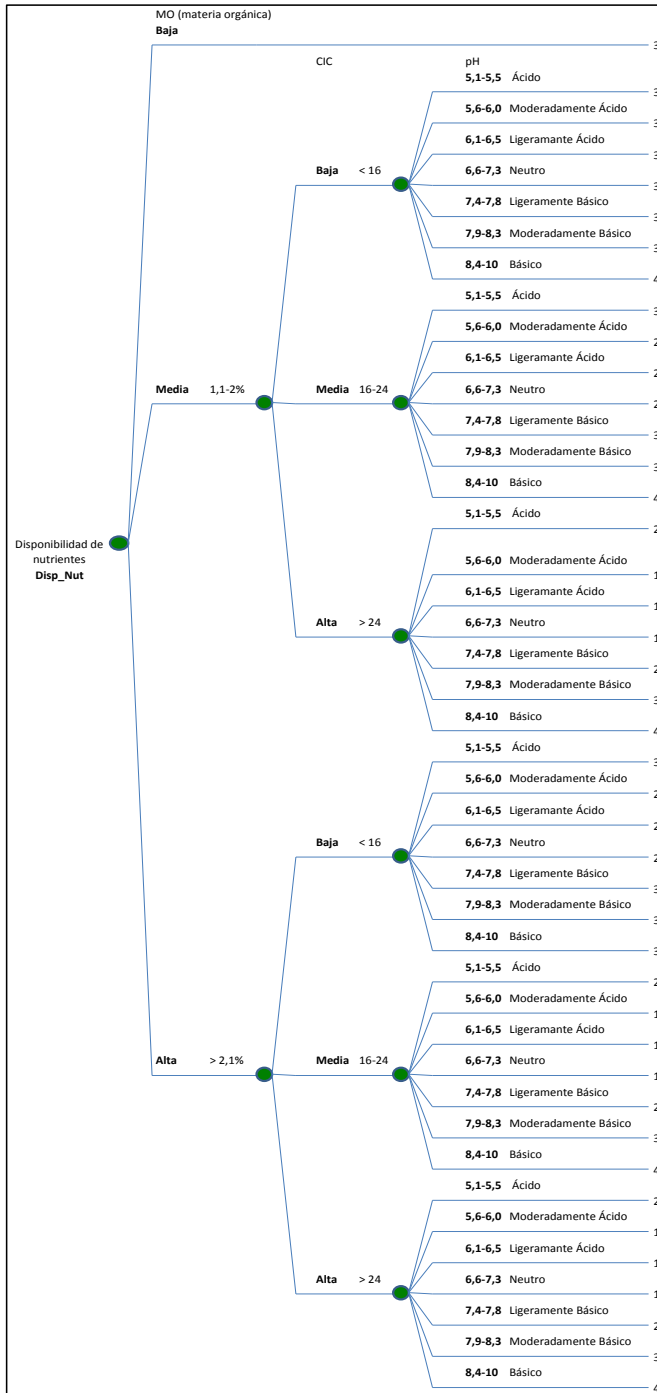


Figura 21. Árbol de decisión para la cualidad Disponibilidad de Nutrientes para el TuT Kernza.

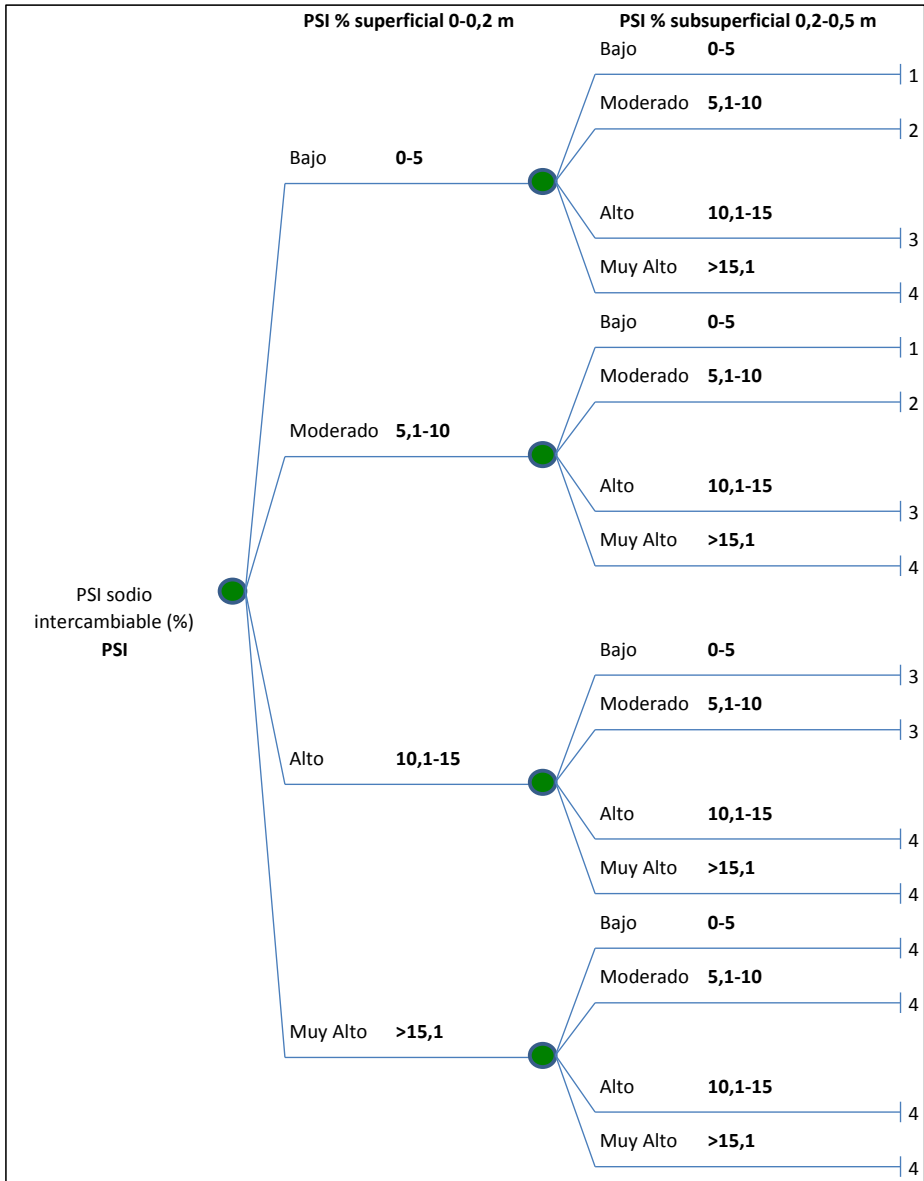


Figura 22. Árbol de decisión para la calidad PSI Sodio Intercambiable (%) para el TuT Kernza.

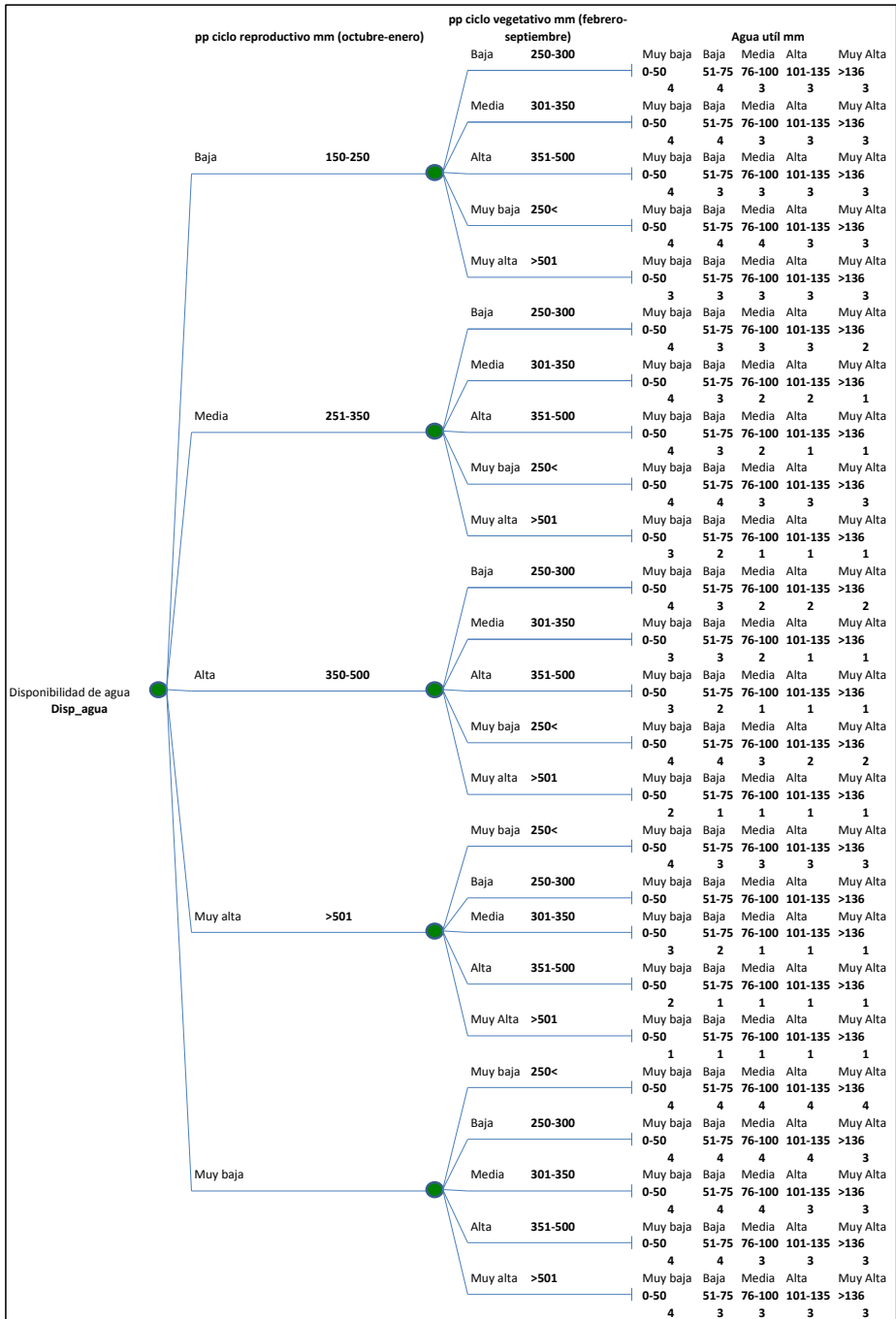


Figura 23. Árbol de decisión para la calidad Disponibilidad de Agua para el TuT Kernza.

Clases de aptitud de las tierras del partido de Azul para Kernza

Escenario de máxima estabilidad

P20%

Los resultados de la aptitud de uso para Kernza para el escenario de máxima estabilidad y P20% en las tierras del partido de Azul se presentan en la Figura 24.

Se observó que la mayoría de las tierras del partido fueron inaptas. En la parte meridional se observó que la aptitud de las tierras fue de severa a muy severamente aptas. Se identificó solamente una muy pequeña superficie de tierras moderada a severamente aptas.

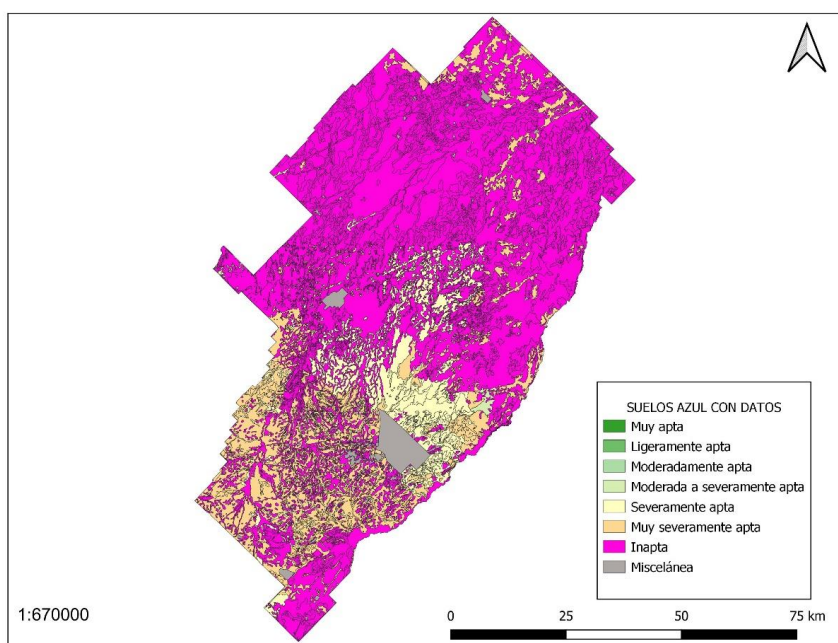


Figura 24. Mapa de aptitud de las tierras para Kernza en el escenario de máxima estabilidad P20% para el partido de Azul.

P50%

Los resultados de la aptitud de uso para Kernza para el escenario de máxima estabilidad y P50% en las tierras del partido de Azul se presentan en la Figura 25.

Se observó que la mayoría de las tierras al norte del partido fueron inaptas. Se observó que en la parte meridional del partido, la mayoría de las tierras de muy alta a moderada aptitud. Se destacó una superficie en la parte centro norte de muy alta aptitud junto con tierras severamente aptas. En el extremo sur del partido se observaron tierras inaptas y muy severamente aptas.

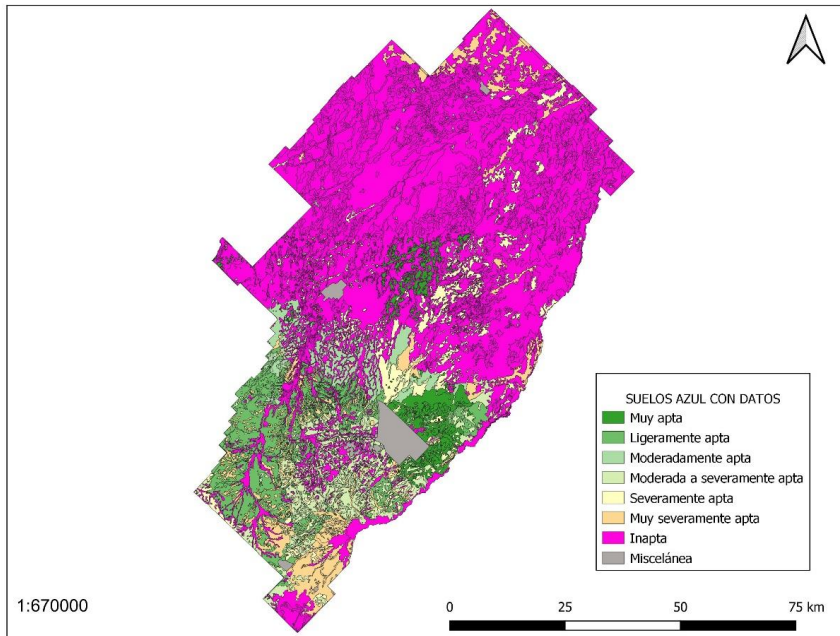


Figura 25. Mapa de aptitud de las tierras para Kernza en el escenario de máxima estabilidad P50% para el partido de Azul.

P80%

Los resultados de la aptitud de uso para Kernza para el escenario de máxima estabilidad y P80% en las tierras del partido de Azul se presentan en la Figura 26.

Se observó que la mayoría de las tierras al norte del partido fueron inaptas. Se observó que en la parte meridional del partido, la mayoría de las tierras de muy alta a moderada aptitud. Se destacó una superficie en la parte centro norte de muy alta aptitud junto con tierras de severamente aptas. En el extremo sur del partido se observaron tierras inaptas y severamente aptas.

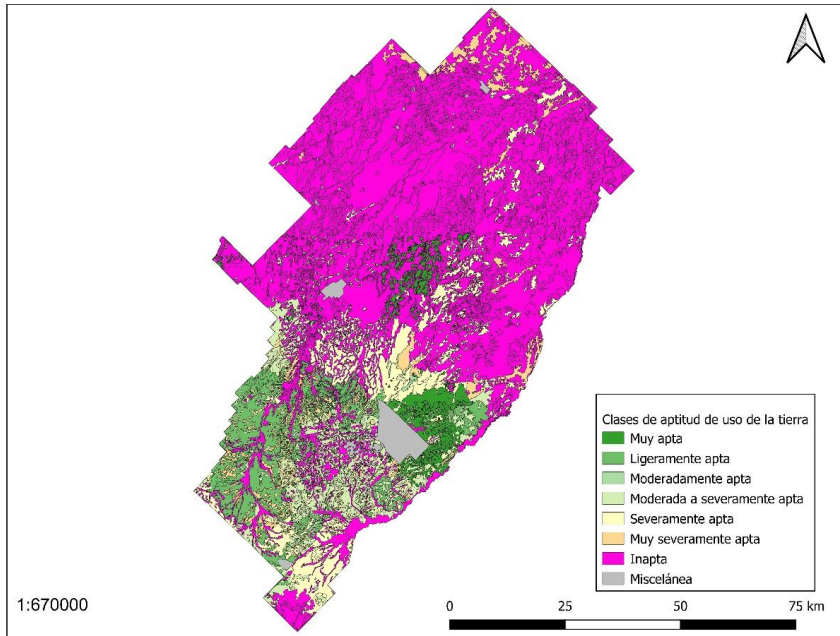


Figura 26. Mapa de aptitud de las tierras para Kernza en el escenario de máxima estabilidad P80% para el partido de Azul.

Escenario de mínima estabilidad

P20%

Los resultados de la aptitud de uso para Kernza para el escenario de mínima estabilidad y P20% en las tierras del partido de Azul se presentan en la Figura 27.

Se observó que todas las tierras fueron inaptas. Dentro de la anterior categoría, en la parte meridional del partido se observó que la mayoría de las tierras fueron clasificadas como inaptas condicional. El resto de las tierras fueron inaptas permanentes.

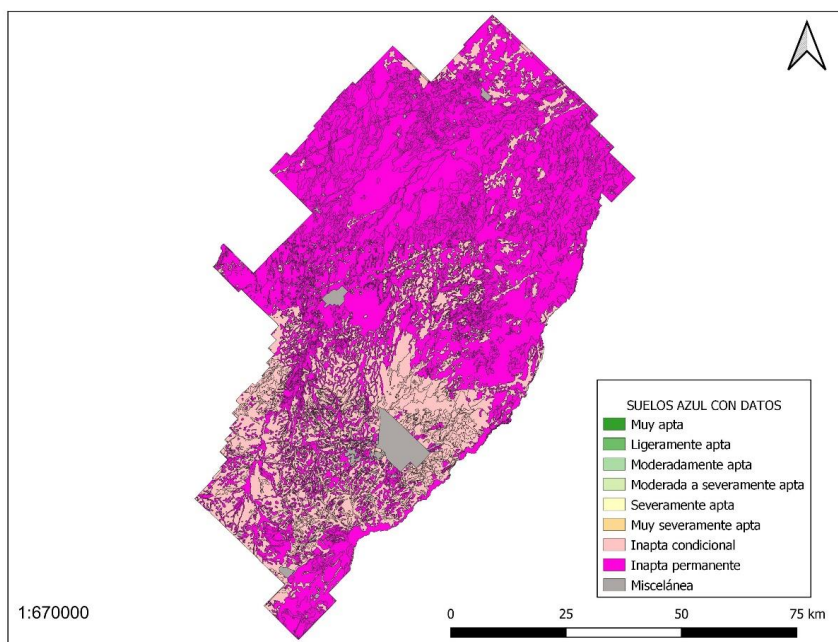


Figura 27. Mapa de aptitud de las tierras para Kernza en el escenario de mínima estabilidad P20% para el partido de Azul.

P50%

Los resultados de la aptitud de uso para Kernza para el escenario de mínima estabilidad y P50% en las tierras del partido de Azul se presentan en la Figura 28.

Se observó que la mayoría de las tierras al norte del partido fueron inaptas. En la parte meridional del partido se observó que la mayoría de las tierras su aptitud fue de muy alta a moderada-severamente aptas. Se destaca una superficie en la parte centro norte de muy alta aptitud. En el extremo sur del partido se observaron tierras inaptas y muy severamente aptas.

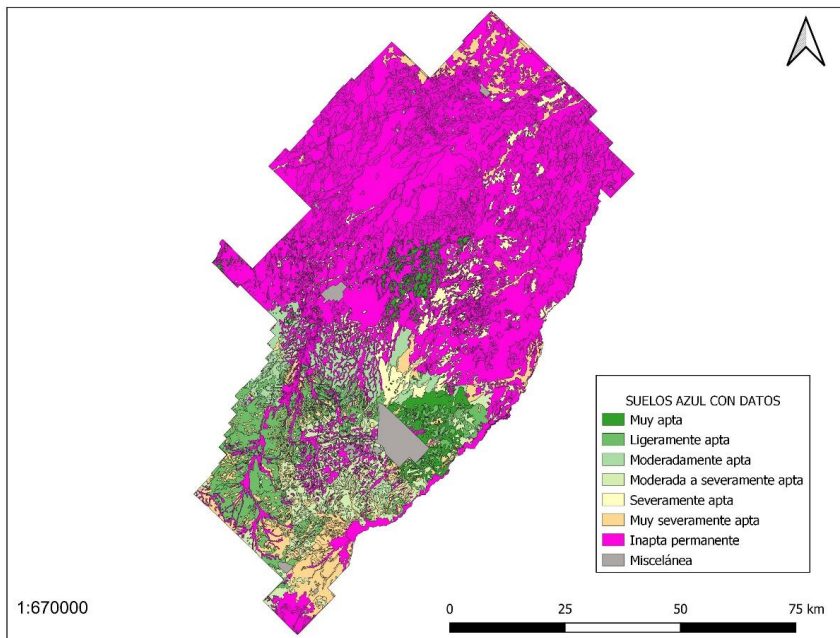


Figura 28. Mapa de aptitud de las tierras para Kernza en el escenario de mínima estabilidad P50% para el partido de Azul.

P80%

Los resultados de la aptitud de uso para Kernza para el escenario de máxima estabilidad y P80% en las tierras del partido de Azul se presentan en la Figura 29.

Se observó que la mayoría de las tierras al norte del partido fueron inaptas. En la parte meridional del partido, para la mayoría de las tierras su aptitud fue de muy alta a moderada-severamente apta. Se destaca una superficie en la parte centro norte de muy alta aptitud. En la misma zona se observó tierras muy severamente aptas junto con inaptas condicionales. En el extremo sur del partido se observaron tierras inaptas, tanto permanentes como condicionales.

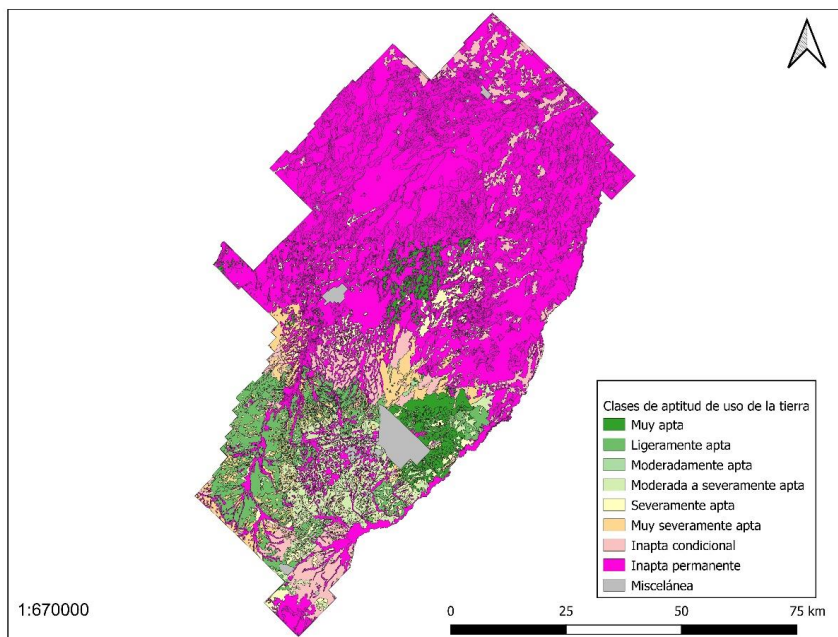


Figura 29. Mapa de aptitud de las tierras para Kernza en el escenario de mínima estabilidad P80% para el partido de Azul.

Superficie ocupada por las distintas clases de aptitud para Kernza

Escenario de máxima estabilidad

Se observó que en los tres escenarios climáticos, la clase inapta es la mayor para todas las clases (Tabla 21).

En el escenario P20%, no hubo superficie ocupada por las clases muy apta, ligeramente apta y moderadamente apta. Una muy pequeña superficie fue ocupada por las clases moderada a severamente apta. El resto de la superficie fue ocupado por la clases severamente apta y muy severamente apta (Tabla 21).

En el escenario P50% y P80%, las clases muy aptas y ligeramente aptas, obtuvieron un importante porcentaje de ocupación siendo prácticamente iguales los valores de ocupación en ambos escenarios. En el escenario P50% la clase moderadamente apta obtuvo un porcentaje alto de ocupación en relación al escenario P80% donde fue prácticamente despreciable. Se observó un desplazamiento de la superficie ocupada hacia la clase severamente apta en el escenario P80% en relación al escenario P50%. En cambio, la clase muy severamente apta fue superior en el escenario P50% respecto al P80% (Tabla 21).

Escenario de mínima estabilidad

Se observó que en los tres escenarios climáticos, la clase inapta permanente es la mayor para todas las clases (Tabla 22).

La mayor superficie observada para la clase inapta condicional fue en el escenario P20%, seguida por el escenario P80%. En el escenario P50% no se registró esta última clase.

En el escenario P20%, no hubo superficie ocupada por las clases muy apta, ligeramente apta, moderadamente apta, moderada a severamente apta, severamente apta y muy severamente apta (Tabla 22).

En el escenario P50% y P80%, las clases muy aptas y ligeramente aptas, obtuvieron un importante porcentaje de ocupación siendo similares los valores de ocupación en ambos escenarios. En el escenario P50% la clase moderadamente apta obtuvo un porcentaje alto de ocupación en relación al escenario P80% donde es prácticamente despreciable. En el escenario P50% la clase moderada a severamente apta obtuvo un porcentaje un poco mayor de ocupación en relación al escenario P80% (Tabla 22).

Se observó un desplazamiento de la superficie ocupada hacia la clasificación inapta condicional en el escenario P80% en relación al escenario P50%. En cambio, la clasificación severa y muy severamente apta fue superior en el escenario P50% respecto al P80% (Tabla 22).

Tabla 21. Superficie ocupada por las distintas clases de aptitud de Kernza para los tres escenarios climáticos en el escenario de máxima estabilidad.

Clase de aptitud	P20%			P50%			P80%		
	Sup km ²	Clase de aptitud	Sup km ²	Clase de aptitud	Sup km ²	Clase de aptitud	Sup km ²	Clase de aptitud	Sup km ²
Muy apta	0	Muy apta	238	Muy apta	238	Muy apta	238	Muy apta	238
Ligeramente apta	0	Ligeramente apta	508	Ligeramente apta	508	Ligeramente apta	495	Ligeramente apta	495
Moderadamente apta	0	Moderadamente apta	236	Moderadamente apta	236	Moderadamente apta	5	Moderadamente apta	5
Moderada a severamente apta	13	Moderada a severamente apta	410	Moderada a severamente apta	410	Moderada a severamente apta	430	Moderada a severamente apta	430
Severamente apta	652	Severamente apta	347	Severamente apta	347	Severamente apta	702	Severamente apta	702
Muy severamente apta	1170	Muy severamente apta	457	Muy severamente apta	457	Muy severamente apta	294	Muy severamente apta	294
Inapta	4566	Inapta	4205	Inapta	4205	Inapta	4237	Inapta	4237
Misceláneas	150	Misceláneas	150	Misceláneas	150	Misceláneas	150	Misceláneas	150
Total	6551	total	6551	total	6551	total	6551	total	6551

Tabla 22. Superficie ocupada por las distintas clases de aptitud de Kernza para los tres escenarios climáticos en el escenario de mínima estabilidad.

Clase de aptitud	P20%			P50%			P80%		
	Sup km ²	Clase de aptitud	Sup km ²	Clase de aptitud	Sup km ²	Clase de aptitud	Sup km ²	Clase de aptitud	Sup km ²
Muy apta	0	Muy apta	209	Muy apta	209	Muy apta	238	Muy apta	238
Ligeramente apta	0	Ligeramente apta	481	Ligeramente apta	481	Ligeramente apta	495	Ligeramente apta	495
Moderadamente apta	0	Moderadamente apta	290	Moderadamente apta	290	Moderadamente apta	5	Moderadamente apta	5
Moderada a severamente apta	0	Moderada a severamente apta	411	Moderada a severamente apta	411	Moderada a severamente apta	320	Moderada a severamente apta	320
Severamente apta	0	Severamente apta	268	Severamente apta	268	Severamente apta	209	Severamente apta	209
Muy severamente apta	0	Muy severamente apta	537	Muy severamente apta	537	Muy severamente apta	287	Muy severamente apta	287
Inapta condicional	1835	Inapta condicional	0	Inapta condicional	0	Inapta condicional	610	Inapta condicional	610
Inapta permanente	4566	Inapta permanente	4205	Inapta permanente	4205	Inapta permanente	4237	Inapta permanente	4237
Misceláneas	150	Misceláneas	150	Misceláneas	150	Misceláneas	150	Misceláneas	150
Total	6551	total	6551	total	6551	total	6551	total	6551

DISCUSIÓN

Capacidad de Uso de las Tierras

El sistema de Capacidad de Uso de las Tierras, es un sistema de clasificación originario de los EE. UU. que se aplicó con éxito en la región pampeana y extrapampeana. Fue introducida en la República Argentina en la década del 60, por el Ing. Agr. Carlos O. Miaczynski (Miaczynski, 1961). Es un sistema muy robusto y sigue siendo ampliamente utilizado en la República Argentina (Cruzate et al., 2010; Irigoien, 2011; Massobrio et al., 2020).

En el partido de Azul no se identificaron tierras sin limitaciones permanentes e, w, s, (clase I). Sí se observó la presencia de tierras aptas con niveles crecientes del grado de las limitaciones presentes, e, w y s, clasificadas con las clases II, III y IV. Estas tierras ocuparon 2380 km², un 36,3% de la superficie del partido, y se ubicaron en su gran mayoría en la parte meridional del partido de Azul.

La presencia de tierras no aptas para la agricultura fue clasificada, en su mayoría, en la zona septentrional del partido. Estas fueron clasificadas como clases VI ws y VII ws, ocupando 4022 km², un 61,4% de la superficie del partido. Estas tierras son aptas para pasturas implantadas (VI), pastoreo de pastizales, uso forestal, recreación y conservación de la flora y fauna (VII y VIII). Se manifiesta una clara división entre los resultados de Capacidad de Uso de las Tierras en el norte respecto al sur del partido de Azul. Lo mismo se observó para las subclases de Capacidad de Uso, donde en el norte fue a causa del exceso de agua por falta de drenaje (w) y la presencia de sodio en altísimos niveles (s). Contrariamente al sur, fue la erosión hídrica y la profundidad efectiva (e y s) las principales limitaciones permanentes identificadas. Estas categorías de capacidad de uso

pusieron de manifiesto las diferentes unidades geomorfológicas del partido, al norte la Pampa Deprimida y al sur la Pampa Serrana (Piscitelli y Sfeir, 2004; Mateucci, 2012).

En un trabajo realizado por Vázquez et al. (2012) se analizaron con imágenes satelitales las tierras del partido de Azul y mediante una clasificación supervisada identificaron distintos usos de las tierras. Dichos autores indicaron que en el año 2001, la superficie agrícola del partido alcanzaba un área de 3555 km² y en el año 2011 alcanzó la superficie de 4046 km². A priori se podría afirmar que la superficie agrícola ha aumentado a expensas de la no agrícola, pero lo más importante a destacar son los grandes riesgos a la degradación que implicaría utilizar tierras clasificadas como no aptas para agricultura por Capacidad de Uso. Según esta clasificación, sólo 2380 km² serían aptos para agricultura en comparación con los 4046 km² registrados en el 2011 y los 3555 km² registrados en la imagen del 2001 (Vázquez et al., 2012).

Según Massobrio et al. (2004) y Rocha (2018), en el ambiente serrano y periserrano del partido de Azul, se produjo un cambio en los sistemas de uso de las tierras en los últimos 25 años. De sistemas ganaderos extensivos que ocupaban la mayor parte de los establecimientos de la región, hacia los actuales sistemas de siembra directa, produciendo un proceso de agriculturización creciente en el tiempo. Esto facilitó la siembra en zonas con una alta fragilidad ambiental, que poseían baja profundidad efectiva y alta energía potencial, zonas clasificadas por Capacidad de Uso con mayores limitaciones. Estos cambios en el uso de la tierra ocasionaron cambios en las escorrentías cuando se sucedieron lluvias intensas lo que provocó grandes inundaciones en la ciudad de Azul, ubicada en zonas más bajas (Infobae, 2002; Clarín, 2012).

Según Irigoin (2011) y Massobrio et al. (2020) la clasificación por Capacidad de Uso de las Tierras, al no tomar en cuenta a las variaciones climáticas de las precipitaciones, pero sí basarse en las limitaciones permanentes de los factores geosféricos heredados

asociados a los suelos (textura, drenaje, alcalinidad, pendiente y presencia de roca y tosca en plancha), nos acerca al concepto de fragilidad ambiental (Cendrero, 1997; Massobrio y Giberti, 2013) donde dichos factores gobiernan el tipo de limitación y el grado de éstas.

Índice de Productividad

El índice de productividad expresa un porcentaje respecto al promedio de productividad máxima de los cultivos comunes para una zona, entendida como el rendimiento del mismo cultivo en un suelo sin limitaciones permanentes (Añó Vidal y Sánchez Díaz, 2002). Sus resultados, sólo son válidos para ser comparados entre sí a nivel regional (Sfeir et al., 2017).

El índice de productividad, a diferencia de la clasificación por Capacidad de Uso, tiene en cuenta a las precipitaciones y las temperaturas, con el factor H de condición macroclimática. Pudiendo éste variar de acuerdo a un cambio en las medias históricas de precipitaciones, ya sean por cambios abruptos o de largo plazo (Irigoin, 2011, Pérez et al., 2019). El IP también toma en consideración las texturas subsuperficiales como una posible limitación, a diferencia de Capacidad de Uso que no la tiene en cuenta. Si tenemos en consideración que gran parte de los suelos de la región pampeana, incluidos los del partido de Azul, presentan horizontes b texturales o b fuertemente texturales (Piscitelli y Sfeir, 2004; Imbellone et al., 2010), el parámetro textura subsuperficial toma un valor relevante.

En el partido de Azul se observó una gran diferencia en los valores obtenidos de IP para las tierras ubicadas en la parte septentrional con respecto a las meridionales. Las tierras con mayor productividad se ubicaron al sur del partido, con valores de 50 a 100, de moderada a muy alta. Comparativamente diferentes son las tierras ubicadas en la parte norte donde se obtuvieron los menores valores de productividad, de 0 a 50, de muy baja

a moderadamente muy baja, donde las tierras de muy baja productividad fueron las dominantes.

Teniendo en cuenta lo descripto anteriormente, hay una clara división de la productividad de las tierras en el norte respecto al sur, que puso de manifiesto la división ambiental del partido de Azul, al norte, pampa deprimida y al sur, la pampa serrana (Piscitelli y Sfeir, 2004; Mateucci, 2012), para una misma condición macroclimática, siendo la parte sur la agrícolamente más productiva.

Comparación de los resultados entre capacidad de uso e IP

Del análisis de la comparación entre los dos sistemas de evaluación de tierras, Capacidad de Uso e IP, se observó que cada clase de Capacidad de Uso agrupa distintos valores de IP.

En la Figura 30, se observó para las distintas series de suelos utilizadas, valores agrupados decrecientes para los IP a medida que las clases de Capacidad de Uso se vuelven más limitantes (de la clase I, II, II, IV, VI, VI, VII, a la VIII, y de las subclases “e”, “w” a la “s”). Mismas observaciones se encontraron en la Figura 31, para las distintas unidades cartográficas estudiadas. Al comparar los resultados de las distintas unidades cartográficas con IP (Figura 30) se observó que la clase II obtuvo valores de IP entre 54 y 84, la clase III entre 43 y 81, la clase IV entre 16 y 77, la clase VI entre 9 y 41, la clase VII entre 3 y 9, la clase VIII 10,8. Se observó que hay una relación inversa entre Capacidad de Uso e IP.

Según Irigoien (2011) la información generada por los sistemas de evaluación de tierras Capacidad de uso e IP, al basarse en las características geosféricas heredadas del sistema edáfico, son permanentes en tiempo humano permitiendo a los usuarios o planificadores

del territorio desarrollar estrategias para disminuir la expresión de la fragilidad (vulnerabilidad), además de conocer la productividad potencial de dichas tierras.

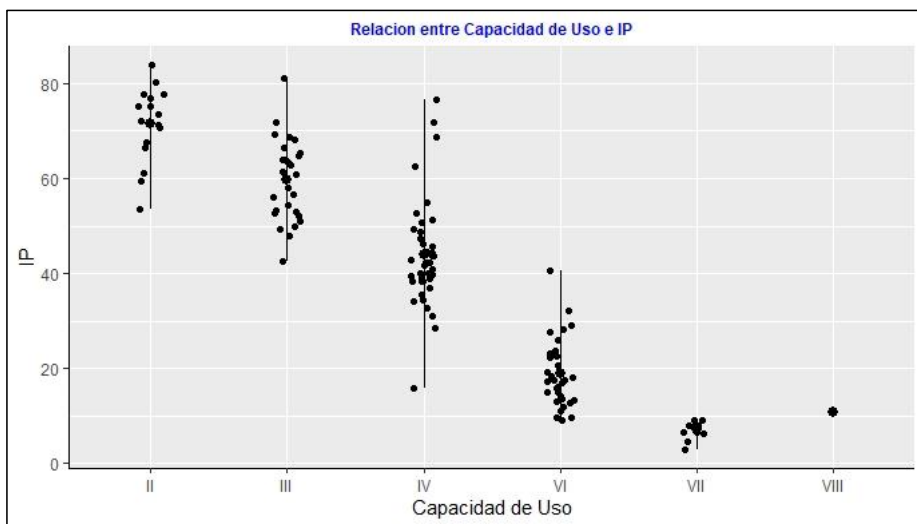


Figura 30. Relación entre las distintas Clases de Capacidades de Uso y los IP para las unidades cartográficas del Partido de Azul.

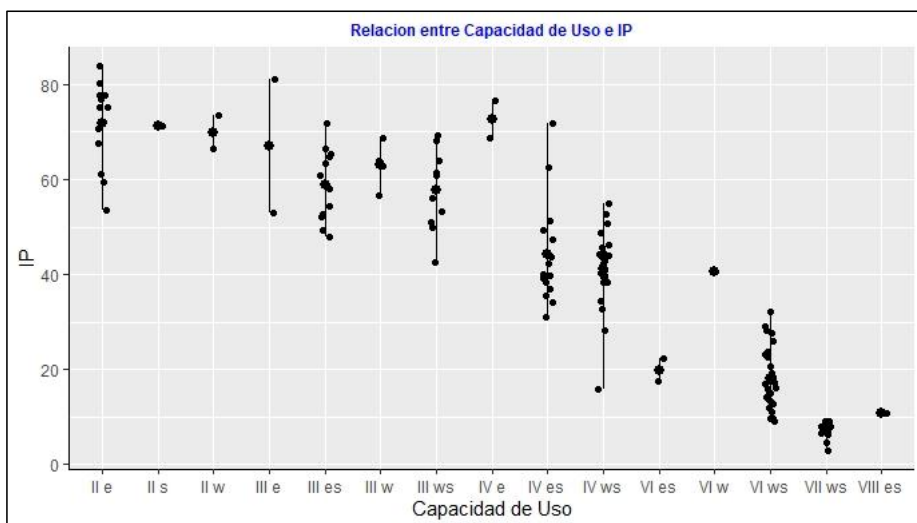


Figura 31. Relación entre las distintas Clases y Subclases de Capacidades de Uso y los IP para las unidades cartográficas del Partido de Azul.

ADOPT

Para poder predecir la incorporación de un nuevo cultivo y tecnología por parte de la sociedad, paso previo a la realización de un modelo de aptitud física de la tierra, se utilizó el software australiano ADOPT. El objetivo fue obtener resultados cuantitativos probables para la incorporación de nueva tecnología, en este caso del Kernza, un cultivo de granos perenne. Según Ekboir (2003), poder predecir la adopción o incorporación por parte de los productores agropecuarios de un nuevo cultivo o sistema de labranza es un gran desafío, que no obstante el software ADOPT lo cumplió. Otorgó información muy relevante del valor al pico máximo de adopción de la nueva tecnología, que fue del 97% a los 12 años; además, estimó que a los 5 años se alcanzaría al 42% de la adopción de la nueva tecnología y que harían falta 10 años para alcanzar un nivel de 91%. El software se basa en 22 preguntas que están centradas en: a) las características de la práctica que influyen en su ventaja relativa, b) las características de la población que influyen en su percepción de la ventaja relativa de la práctica, c) las características que influyen en la facilidad y la rapidez del aprendizaje de la práctica, y d) las características de los nuevos usuarios potenciales que influyen en su capacidad para aprender sobre la práctica (Kuehne et al., 2017). En los resultados se observó que existieron preguntas que fueron más sensibles que otras, como:

-¿Qué proporción de los destinatarios de la nueva tecnología tendrá que desarrollar nuevas habilidades y conocimientos sustanciales para utilizar la innovación?

Respuesta: solo una minoría de los productores necesitaría desarrollar nuevas habilidades y conocimientos sustanciales.

En la región pampeana, la incorporación de sistemas de labranza cero y siembra directa viene ocurriendo desde aproximadamente 25 a 45 años con una amplia adopción (AAPRESID, 2021). Los productores del partido de Azul no escapan a esa realidad

(Vázquez et al., 2012). Por consiguiente, para el cultivo del Kernza, que se puede sembrar con una sembradora de siembra directa, que está cuatro años implantado, que se realiza una cosecha grano para consumo humano y dos cortes anuales de su follaje para consumo animal, no se necesitaría desarrollar nuevas habilidades y conocimientos sustanciales dado la experiencia anteriormente planteada con los sistemas de labranza cero y siembra directa. Sin embargo, sí sería preciso solamente un cambio en el paradigma impuesto, de que la creciente intensificación de cultivos es la solución para los desequilibrios ambientales que produce la agricultura y la falta de alimentos por la creciente población mundial (Garnett et al., 2013; Hunter et al., 2017); ya que, en realidad, el hambre en el mundo es un tema político y no de falta de alimentos (Berners-Lee et al., 2018; Ickowitz et al., 2019).

Modelo de aptitud de las tierras para Kernza bajo distintos escenarios climáticos y de estabilidad

El paso más importante para la elaboración de un modelo de aptitud de uso de las tierras es determinar los requerimientos de cada cultivo (RuT), para el tipo de uso específico (TuT) en función de las cualidades de la tierra (CuT) (Vargas et al., 2008; Elsheikh et al., 2013; Irigoien, 2011; Nguyen et al., 2020). La aptitud física se construyó mediante la confrontación de los requerimientos del Kernza (nicho) frente a las cualidades de la tierra seleccionada (hábitat).

El Kernza es un cultivo muy novedoso por lo que no se encontró bibliografía para la Argentina sobre sus requerimientos. Se utilizó la bibliografía descripta por Culman et al. (2013), De Oliveira et al. (2017), Pugliese (2017), Pugliese et al. (2018), Pugliese et al. (2019), Muckey (2019) para los EEUU y el conocimiento experto del Ing. Agr. Andrés Locatelli, docente e investigador de la Universidad de la República, Uruguay.

Según Rossiter (1995) y, Makoi y Mmbaga (2020), el mejor enfoque para la evaluación de la aptitud física de la tierra es el “método de la limitación máxima”. Se observó que, para todos los escenarios, la probabilidad de ocurrencias de precipitaciones tuvo una gran influencia en los resultados, afectando notablemente la cualidad Disponibilidad de Agua. En todos los escenarios, las cualidades disponibilidad de oxígeno y el porcentaje de sodio intercambiable tuvieron un rol significativo por los altísimos niveles de sodio intercambiable (%PSI) y el drenaje deficiente. Se observó en consecuencia, que la aptitud del Kernza en una gran mayoría de las tierras del partido de Azul fue inapta. Solamente en la parte sur del partido se observaron tierras sumamente aptas para el Kernza, con condiciones muy propicias para su cultivo. Estos resultados, ligados a los diferentes escenarios climáticos con su consecuencia en las variaciones de la disponibilidad de agua, también fueron registrados por Irigoín (2011), en la región Pampa Arenosa, Argentina. En ambos complejos, Pampa Serrana y Pampa Arenosa, las fluctuaciones climáticas relacionadas con el fenómeno ENZO son recurrentes cada 2-3 años (Irigoín, 2011; Cassani, 2020), siendo muy importante tenerlas en cuenta a la hora de la planificación del uso de la tierra.

La incorporación de la categoría inapta condicional fue muy acertada para el escenario de mínima estabilidad. Esta permitió identificar tierras que transitoriamente, por causa de su inestabilidad, no son aptas para Kernza. Las distintas densificaciones superficiales y subsuperficiales por ejemplo, ocasionan inconvenientes en la dinámica del agua en el perfil de los suelos, pero son reversibles, pudiendo las tierras inaptas condicionales cuando la impedancia sea eliminada, pasar a ser aptas para el Kernza. En el escenario de mínima inestabilidad, debido a que el ingreso del agua en el sistema se vio obstaculizado, el agua útil fue de 321 mm para todo el año en comparación con el mismo escenario P20% pero con máxima estabilidad donde fue de 401 mm (Tabla 15). Esto dio como resultado

la totalidad de las tierras clasificadas como inaptas condicionales. En el escenario de P80% y mínima estabilidad, se observó que para varias tierras del partido de Azul, las mayores precipitaciones ocasionaron cambios en las categorías con respecto a la P50%. En tierras anteriormente aptas, pasaron a ser inaptas condicionales, en este caso se relacionó con el exceso de agua que ocasionó mayor anegamiento y, por lo tanto, menor disponibilidad de oxígeno para las raíces.

Las tierras ubicadas al sur del partido fueron las que resultaron más aptas, en distintas categorías, para el cultivo del Kernza. Estas tierras poseen suelos muy favorables para el crecimiento vegetal. En su mayoría son Argiudoles y Hapludoles, típicos y líticos, en general profundos, de texturas franca, con elevado contenido de materia orgánica y estructuras granular a migajosa en los horizontes superficiales, y de bloques fuertes subsuperficialmente. Tienen un drenaje de bien a moderadamente bien drenado y un contenido de agua útil alto. Todas estas características de los suelos le otorgaron, a las tierras compuestas con ellos, cualidades ideales para satisfacer los requerimientos del cultivo de Kernza, expresando la máxima aptitud en el escenario de P50%, un escenario promedio de ocurrencia, para ambos escenarios de estabilidad.

Comparación de los resultados entre el modelo de aptitud de las tierras para Kernza e IP, en el escenario de máxima estabilidad y P50%

En la Figura 32 se observó la relación entre los resultados del modelo de aptitud de las tierras para Kernza, y los distintos valores de IP. Cada clase de aptitud diferente agrupó diversos valores de IP. Se observaron valores decrecientes de IP a medida que se avanza en las clases de aptitud más limitantes (de Muy apta, Ligeramente Apta, Moderadamente Apta, Moderada a severamente Apta, Severamente Apta, Muy severamente Apta a No

Apta). Los valores de IP dentro de las clases apta observados fueron dentro de 31 a 84. Para la clase no apta, los valores de IP observados fueron dentro de 3 a 44.

La gran diferencia entre el modelo de aptitud para Kernza y el IP, radica en el clima. Mientras el IP utiliza valores climáticos a nivel regional, el modelo experto es específico para el cultivo del Kernza, y utiliza la cualidad Disponibilidad de Agua, la cual varía notablemente entre las distintas tierras. Además el IP expresa un porcentaje respecto al promedio de productividad máxima de los cultivos comunes para una región, mientras que el modelo de aptitud es específico para un cultivo, en este caso el Kernza.

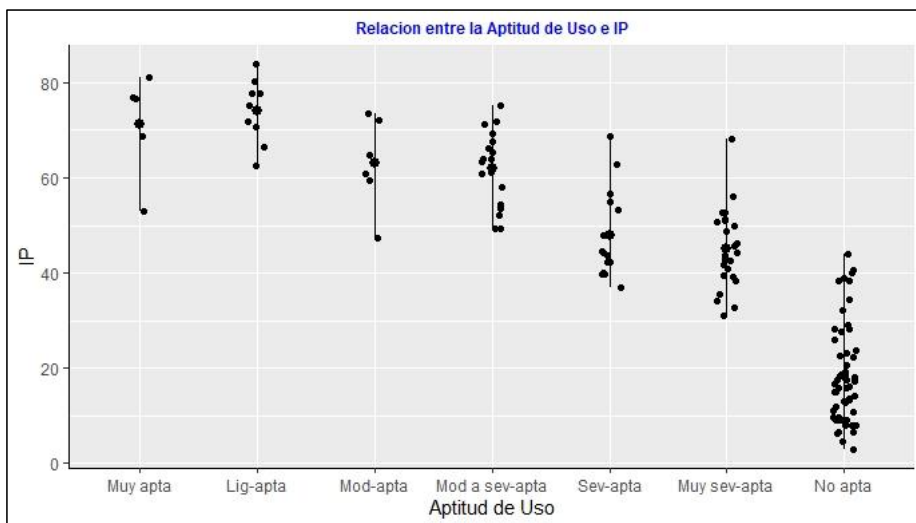


Figura 32. Relación entre las distintas aptitudes de la tierra y los IP para las unidades cartográficas del Partido de Azul.

CONCLUSIONES

- Según la Clasificación por Capacidad de Uso, en el partido de Azul no se encontraron tierras sin limitaciones, clasificadas como clase I.
- Según la aplicación de Capacidad de Uso e IP, se observó una clara división de las tierras en el norte respecto al sur del partido. En la parte sur, se observaron tierras clasificadas como agrícolas por capacidad de uso (clases II a IV con limitaciones por erosión hídrica “e” y profundidad efectiva “s” principalmente), con altos valores de IP (de 50 - 100). En la parte norte se observaron tierras no agrícolas (clases VI a VII con limitaciones por drenaje “w” y sodio “s”), con bajos valores de IP.
- El software ADOPT otorgó información muy relevante de la estimación de la adopción de la nueva tecnología del cultivo de granos perennes, Kernza, para el partido de Azul. El valor pico máximo de adopción de la nueva tecnología, fue del 97% a los 12 años, a los 5 años se alcanzaría al 42% de la adopción de la nueva tecnología y que harían falta 10 años para alcanzar un nivel de 91%.
- Según el modelo de aptitud de uso de la tierra para Kernza, se observó que la mayoría de las tierras al norte del partido de Azul fueron inaptas para los distintos escenarios climáticos y de estabilidad. En la parte sur del partido se observaron tierras sumamente aptas (de muy aptas a moderadas) para el Kernza, con condiciones muy propicias para su cultivo tanto para los escenarios climáticos (P50% y P80%) como de mínima y máxima estabilidad.
- Los diferentes escenarios de precipitaciones planteados: P20%, P50% y P80%, fueron de suma utilidad para la planificación del desarrollo del modelo de aptitud de las tierras para el cultivo de Kernza, que tiene un ciclo de cuatro años.

- Los diferentes escenarios de estabilidad planteados, tuvieron en cuenta la importancia de la historia de uso de las tierras. Al simular un uso de máxima intensidad (mínima estabilidad) y de mínima intensidad (máxima estabilidad).
- La incorporación de las categorías inapta condicional fue muy acertada para el escenario de mínima estabilidad. Esta permitió identificar tierras que transitoriamente por causa de su inestabilidad no son aptas para Kernza, pero al ser reversibles, cuando se elimine la impedancia pasar a ser aptas para el Kernza.
- En el escenario de mínima estabilidad y P20% todas las tierras fueron inaptas.
- La máxima aptitud se observó en el escenario de P50%, tanto para los escenarios de máxima como de mínima estabilidad.

CAPÍTULO 3

SÍNTESIS Y CONCLUSIONES

SÍNTESIS

El objetivo general de esta tesis fue elaborar un modelo de aptitud de uso de las tierras para Kernza (*Thinopyrum intermedium*) a través de un sistema experto, ante distintos escenarios climáticos y de estabilidad del agroecosistema, en geoambientes presentes en el partido de Azul, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Se plantearon tres hipótesis de trabajo:

- **H1-** El grado de estabilidad de un agroecosistema está gobernada por los distintos factores geosféricos heredados.
- **H2-Alternativa:** El grado de artificialización de los distintos sistemas de uso de las tierras condiciona el grado de estabilidad del agroecosistema.
- **H3-Síntesis:** El grado de estabilidad de un agroecosistema está gobernado por los distintos factores geosféricos heredados, pero se expresa a través de los distintos grados de artificialización de las tierras.

Estas hipótesis condujeron a concretar 9 objetivos específicos:

- Calcular la fragilidad a la degradación física, química y biológica de las tierras. Generar mapas temáticos de las distintas unidades cartográficas presentes en el área de estudio.
- Desarrollar del Índice de Fragilidad a la Degradación de la Estabilidad (IFDE) para calcular la fragilidad a la degradación de la estabilidad de las tierras. Generar mapas temáticos de las distintas unidades cartográficas presentes en el área de estudio.
- Desarrollar un índice de estabilidad (IE) del agroecosistemas mediante indicadores biológicos de estabilidad.

- Desarrollar el índice de vulnerabilidad de la estabilidad (IVE) para calcular la vulnerabilidad a la estabilidad de las tierras.
- Aplicar el índice de vulnerabilidad de la estabilidad (IVE) y el índice de estabilidad (IE), utilizando la información generada por Cassani (2020) para el subambiente de lomas periféricas del partido de Azul.
- Clasificar las tierras en función de las capacidades y limitaciones permanentes de los suelos (Capacidad de Uso de las Tierras) y generar una cartografía específica.
- Clasificar las tierras a través del Índice de Productividad (IP) y generar una cartografía específica.
- Utilizar la herramienta de predicción de resultados de adopción y difusión de nuevas tecnología (ADOPT) para determinar si es factible la adopción de agricultura perenne en el área bajo estudio.
- Desarrollar un modelo de aptitud agrícola para Kernza (*Thinopyrum intermedium*) en el área bajo estudio a través de un sistema experto (ALES) ante distintos escenarios climáticos y de estabilidad del agroecosistema.

Para el desarrollo de los objetivos propuestos, se ejecutaron las siguientes actividades:

- Se seleccionó y caracterizó al área de estudio. Se realizó el análisis climático, geomorfológico, hidrológico, de suelos y de usos de la tierra.
- Se calculó la fragilidad a la degradación física, química, biológica y se cartografió. Se desarrolló el índice de fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE) para calcular la fragilidad a la degradación de la estabilidad de las tierras, y se cartografió.
- Se desarrolló el índice de estabilidad (IE) del agroecosistema mediante indicadores biológicos de estabilidad. Se desarrolló el índice de vulnerabilidad de la estabilidad (IVE) del agroecosistema.

- Se aplicó el índice de fragilidad (IFDE) y vulnerabilidad de la estabilidad (IVE), para distintos grados de intensidad de uso de las tierras en un subambiente de lomas periféricas del partido de Azul.
- Se realizó la clasificación de las tierras en función de las capacidades y limitaciones permanentes de los suelos (Capacidad de Uso de las Tierras) y por el Índice de Productividad, y se cartografió.
- Se utilizó el software ADOPT que determinó lo factible de la adopción de agricultura perenne.
- Se desarrolló un modelo de aptitud agrícola para Kernza (*Thinopyrum intermedium*) a través de un sistema experto (ALES) ante distintos escenarios climáticos y de estabilidad, y se cartografió.

Los distintos factores geosféricos heredados presentes en las tierras bajo estudio, determinaron las diferencias en los distintos grados de fragilidad a la degradación física, química, biológica y de la estabilidad (IFDE). Se puso a prueba la hipótesis H1.

El desarrollo del índice de estabilidad (IE) permitió identificar el grado de estabilidad del agroecosistema. El grado de artificialización del uso de las tierras condicionó la expresión del IE. Se puso a prueba la hipótesis H2-alternativa.

El desarrollo del índice de vulnerabilidad de la estabilidad (IVE) permitió calcular la vulnerabilidad de la estabilidad del agroecosistema. Este se construyó mediante el producto entre el índice de estabilidad (IE) y el índice de fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE). En este caso, los factores geosféricos heredados están representados por el IFDE, y el grado de artificialización del uso de las tierras está representado por el IE. Se puso a prueba la hipótesis H3-síntesis.

Las clasificaciones de las tierras por su Capacidad de Uso e IP, están basadas en los factores geosféricos heredados. Estas permitieron clasificar a las tierras del partido de Azul con un criterio productivo y de conservación. Se puso a prueba la hipótesis H1.

La utilización del software ADOP otorgó valiosa información para la planificación de las tierras del partido de Azul con respecto a la incorporación de los cultivos perennes, en particular el Kernza.

El desarrollo de un modelo de aptitud para Kernza en el partido de Azul a través de un sistema experto (ALES) ante distintos escenarios, fue el objetivo principal de esta tesis. En dicho modelo se confrontaron los factores geosféricos heredados de las tierras frente a los requerimientos del Kernza en distintos escenarios, tanto climáticos como de estabilidad.

Del trabajo realizado cabe deducir que la capacidad de gestión y manejo de los agroecosistemas está condicionada y limitada por la intensidad y estructura de las interacciones presentes en el mismo (sistemas complejos). La información generada permitirá a los planificadores del uso del territorio comprender la incidencia de la geósfera heredada en la estabilidad de los agroecosistemas y así poder desarrollar hipótesis de trabajo, con criterio transgeneracional.

Durante el desarrollo de la tesis se pudieron cumplir con el objetivo principal y los objetivos específicos propuestos que pusieron a prueba las tres hipótesis planteadas, las cuales fueron aceptadas.

CONCLUSIONES GENERALES

- La mayoría de las tierras al sur del partido de Azul poseen ninguna a ligera fragilidad a la degradación física. Al norte del partido de Azul, las tierras poseen una moderada a moderada-alta fragilidad a la degradación física.
- La mayoría de las tierras del partido de Azul presentan ninguna-muy ligera a ligera fragilidad a la degradación química y de muy baja a moderadamente baja fragilidad a la degradación biológica.
- El Índice de Fragilidad a la Degradación de la Estabilidad (IFDE) permite una visión sistémica de los procesos de fragilidad a la degradación de las tierras. La información generada es perdurable en tiempo humano poniendo de manifiesto las limitaciones permanentes del sistema (geósfera heredada).
- El índice de estabilidad (IE) indica el grado de sensibilidad del agroecosistema frente a las perturbaciones ocasionadas por los distintos grados de artificialización de las tierras (intensidad de uso).
- El índice de vulnerabilidad de la estabilidad (IVE) permitió el análisis de la expresión de la degradación por el uso de las tierras. Puso de manifiesto las perturbaciones ocasionadas por los distintos niveles de artificialización de las tierras, expresando distintos grados de vulnerabilidad.
- Según la aplicación de Capacidad de Uso e IP, se observó una clara división de las tierras en el norte respecto al sur del partido. En la parte sur, se observaron tierras clasificadas como agrícolas por capacidad de uso (clases II a IV con limitaciones por erosión hídrica “e” y profundidad efectiva “s” principalmente), con altos valores de IP (de 50 - 100). En la parte norte se observaron tierras no agrícolas (clases VI a VII con limitaciones por drenaje “w” y sodio “s”), con bajos valores de IP.

- El software ADOPT otorgó información muy relevante de la estimación de la adopción de la nueva tecnología del cultivo de granos perennes, Kernza, para el partido de Azul. El valor pico máximo de adopción de la nueva tecnología, fue del 97% a los 12 años, a los 5 años se alcanzaría al 42% de la adopción de la nueva tecnología y que harían falta 10 años para alcanzar un nivel de 91%.
- Según el modelo de aptitud de uso de la tierra para Kernza, se observó que la mayoría de las tierras al norte del partido de Azul fueron inaptas para los distintos escenarios climáticos y de estabilidad. En la parte sur del partido se observaron tierras sumamente aptas (de muy aptas a moderadas) para el Kernza, con condiciones muy propicias para su cultivo tanto para los escenarios climáticos (P50% y P80%) como de mínima y máxima estabilidad.
- Los diferentes escenarios de precipitaciones planteados: P20%, P50% y P80%, fueron de suma utilidad para la planificación del desarrollo del modelo de aptitud de las tierras para el cultivo de Kernza, que tiene un ciclo de cuatro años.
- Los diferentes escenarios de estabilidad planteados, tuvieron en cuenta la importancia de la historia de uso de las tierras. Al simular un uso de máxima intensidad (mínima estabilidad) y de mínima intensidad (máxima estabilidad).
- La incorporación de las categorías inapta condicional fue muy acertada para el escenario de mínima estabilidad. Esta permitió identificar tierras que transitoriamente por causa de su inestabilidad no son aptas para Kernza, pero al ser reversibles, cuando se elimine la impedancia pasar a ser aptas para el Kernza.
- En el escenario de mínima estabilidad y P20% todas las tierras fueron inaptas.
- La máxima aptitud se observó en el escenario de P50%, tanto para los escenarios de máxima como de mínima estabilidad.

GENERAL CONCLUSIONS

- Most of the southern land in Azul district has no to slight fragility to physical degradation. In the north of Azul district, the lands are moderately to moderate-highly fragile to physical degradation.
- Most of the land in Azul district has no-very slight to slight fragility to chemical degradation and very low to moderately low fragility to biological degradation.
- The Fragility to Degradation Stability Index (FDI) provides a systemic view of land degradation fragility processes. The information generated is permanent in human time, highlighting the long-term limitations of the system (inherited geosphere).
- The Stability Index (SI) indicates the degree of sensitivity of the agroecosystem to disturbances caused by different degrees of land artificialization (intensity of use).
- The Stability Vulnerability Index (SVI) aids in the analysis of the land use degradation expression. It revealed the disturbances caused by different levels of land artificialization. It highlighted the disturbances caused by different levels of land artificialization, expressing different vulnerability levels.
- According to Land Use Capability and PI, lands located in the northern part of Azul differed from those located in the south. In the southern part of Azul, most of the land was classified as agricultural (classes II to IV) with limitations by water erosion (e) and depth (s), with high PI values (between 50 and 100). In the northern part of Azul, land was classified as non-agricultural (classes VI to VII), with limitations by water excess (w), drainage problems (w) and sodicity (s), with low PI values.

- The ADOPT software provided relevant information on the adoption estimation of the new perennial crops technology, Kernza, for the Azul district. The maximum peak of adoption of Kernza would be 97% after 12 years. After 5 years, it would reach 42% of adoption and it would take 10 years to reach a level of 91%.
- According to the land suitability model for Kernza, most land in the Azul district was unsuitable for climatic and stability scenario. Lands in the southern part of Azul were highly suitable (very suitable to moderate) for Kernza, offering very good conditions for Kernza cultivation for different climates scenarios (P50% and P80%) and for minimum and maximum stability scenarios.
- The different rainfall scenarios: P20%, P50% and P80%, were useful for the land suitability model. The Kernza crop, has a four-year cycle.
- The different stability scenarios considered the importance of land use history. By simulating maximum intensity (minimum stability) and minimum intensity (maximum stability) land use.
- The incorporation of the conditional unsuitable categories was very appropriate for the minimum stability scenario. This allowed the identification of lands that are temporarily unsuitable for Kernza due to their instability, but which are reversible and become suitable for Kernza when the impedance is removed.
- In the P20% and minimum stability scenarios all lands were unsuitable.
- Maximum suitability was observed in the P50% scenario, for both maximum and minimum stability scenarios.

BIBLIOGRAFÍA

- AAPRESID. 2021. Extraído de: <https://www.aapresid.org.ar/>
- Agostini, M. A., Domínguez, G. F., Studdert, G. A., Tourn, S. N. 2018. “Impacto de diferentes prácticas de manejo sobre algunas propiedades físicas de suelos del sudeste bonaerense”, Capítulo 16, Pg 495-512, en “Compactaciones Naturales y Antrópicas en Suelos Argentinos”. Editores: Perla Imbellone, Carina Álvarez (Eds). Libro digital, publicado por la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo ISBN 978-987-46870-1-2.
- Álvarez, C. R., Fernández, P. L., Taboada, M. A. 2012a. Relación de la inestabilidad estructural con el manejo y propiedades de los suelos en la región pampeana. *Ci. Suelo (Argentina)* 30(2):173–178.
- Álvarez, R., Berhongaray, G., De Paepe, J., Mendoza, M. R., Steinbach, H., Caride, C., Cantet, R. 2012b. Productividad, fertilidad y secuestro de carbono en suelos pampeanos: efecto del uso agrícola. *Anales de la academia nacional de agronomía y veterinaria*. Tomo LXVI. Buenos Aires. Argentina. ISSN 0327-8093 Pág. 381-426
- Andrés, P. 1990. Descomposición de la materia orgánica en dos ecosistemas forestales del macizo del Montseny (Barcelona): papel de los ácaros oribátidos (Acarina, Oribatei). Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. 237 p.
- Añó Vidal, C. y Sánchez Díaz, J. 2002. Orientaciones de uso agrario: Una metodología para la planificación de usos del suelo en la Comunidad Valenciana. Biblioteca de ciencias, n°5, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid. ISBN: 978-84-00-08112-6
- Ball, A. y de la Rosa, D. 2006. *Modeling Possibilities for Assessment of Soil Systems*. CRC Press.
- Banchero, S., y Bellini Saibene, Y. 2016. GeoINTA: compartiendo datos por medio de la Infraestructura de Datos Espaciales del INTA. In X Simposio de Informática en el Estado (SIE 2016)-JAIIO 45 (Tres de Febrero, 2016).
- Barrios, E. 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics*, 64, 269-285. doi:10.1016/j.ecolecon.2007.03.004
- Bedano, J. C; Domínguez A. y Arolfo R. 2011. Assessment of soil biological degradation using mesofauna. *Soil y Tillage Research* 117 55–60.
- Berners-Lee, M., Kennelly, C., Watson, R., Hewitt, C. N. 2018. Current global food production is sufficient to meet human nutritional needs in 2050 provided there is radical societal adaptation. *Elementa: Science of the Anthropocene* 1 January; 6 52. doi: <https://doi.org/10.1525/elementa.310>
- Casas, R. R. 2017. La degradación del suelo en la Argentina. En: Manejo y conservación de suelos: con especial énfasis en situaciones argentinas. Colaborador: Vázquez, M. E. Editor: AACCS, Asociación Argentina Ciencia del Suelo. ISBN 9872477183, 9789872477189. 386 pág.
- Cassani, M. T. 2020. La mesofauna edáfica como indicadora de la estabilidad del ecosistema: su efecto sobre la tasa de descomposición de rastrojos. Tesis para obtener el grado de Magister de la Universidad de Buenos Aires área Ciencias del Suelo otorgado por

- Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Escuela para Graduados. Extraído de: <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/maestria/2020cassanimarianotomas.pdf>
- Cassani, M. T., Sabatté, M. L., González Arzac, A., Massobrio M. J. 2020. Mesofauna as an indicator of agroecosystem stability: degree of artificialization effect on land uses in Azul district, Argentina. *SN Appl. Sci.* 2, 324. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2119-3>.
- Cassani, M. T., Sabatté, M. L., Rubín, M. R., Sfeir, A. J., Massobrio, M. J. 2021. Litter decomposition by soil fauna: effect of land use in agroecosystems. *Heliyon*, 7(10), e08127. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08127>
- Castiglioni, M. G., Kraemer, F. B., Morrás H. J. M. 2013. Efecto de la secuencia de cultivos bajo siembra directa sobre la calidad física de suelos de la región Pampeana. *Ci. Suelo (Argentina)* 31(1): 93-105.
- Cendrero, A. 1997. Riesgos naturales e impacto ambiental. Fundación Universidad Empresa: La interpretación de la problemática ambiental, enfoques básicos II. 23-84. Madrid.
- Cendrero, A., Francés E., Díaz de Terán, J. R. 1992. Geoenvironmental Units as a Bases for the Assessment, Regulation and Management of the Earth's Surface. Lectures Notes in Earth Sciences. En: Suelos: Utilización de la cartografía para el uso sustentable de las tierras. INTA
- Cendrero, A., Frances, E., Latrubesse, E. M., Prado, R., Fabbri, A., Panizza, M., Cantu, M. P., Hurtado, M., Gimenez, J. E., Martinez, O., Cabral, M., Tecchi, R. A., Hamity, V., Ferman, J. L., Quintana, C., Ceccioni, A., Recatalá, L., Bayer, M., Aquino, S. 2002. Projeto Relesa-Elanem: uma Nova Proposta Metodológica de Índices e Indicadores para Avaliação da Qualidade Ambiental. *Rev. Bras. Geomorf.*, Ano 3, Nº 1 (2002) 33-47.
- Cendrero, A., Remondo, J., Bonaechea, J., Rivas, V., Soto, J. 2006. Acción humana y procesos geológicos superficiales. ¿Qué le estamos haciendo a la faz de la Tierra? *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 100(1), 187- 210.
- Centro de información Agroclimática (CIAg). 2013. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Extraído de https://www.agro.uba.ar/heladas/azul_aero_3.htm
- Clarín. 2012. Inundación de la Ciudad de Azul. Extraído de: https://www.clarin.com/sociedad/sigue-alerta_0_Hyfig3DXg.html
- Crews T.E, Carton W, Olsson L. 2018. Is the future of agriculture perennial? Imperatives and opportunities to reinvent agriculture by shifting from annual monocultures to perennial polycultures. *Global Sustainability* 1, e11, 1–18. <https://doi.org/10.1017/sus.2018.11>
- Cruzate, G. A., Pizarro, M. J., Banchemo, S., y Mercuri, P. 2010. Infraestructura de datos espaciales del INTA-GeoINTA. V Jornadas Idera. Santa Fe.
- Culman, S. W., Snapp, S. S., Ollemburguer, M., Basso, B., DeHaan, L. R. 2013. Soil and Water Quality Rapidly Responds to the Perennial Grain Kernza Wheatgrass. *Agron. J.* 105:735–744 (2013) doi:10.2134/agronj2012.0273
- De la Rosa, D., 2013. Una agricultura a la medida de cada suelo: desde el conocimiento científico y la experiencia práctica a los sistemas de ayuda a la decisión. Discurso de ingreso en la Real Academia Sevillana de las Ciencias. Digital CSIC. Sevilla.

- De la Rosa, D., Mayol, F., Diaz-Pereira, E., Fernández, M. 2004. A land evaluation decision support system (MicroLEIS DSS) for agricultural soil protection: With special reference to the Mediterranean region, *Environmental Modelling y Software*, Volume 19, Issue 10, Pages 929-942, ISSN 1364-8152, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2003.10.006>.
- De la Rosa, D., Moreno, J. A., García, L. V., Almorza, J. 1992. MicroLEIS: a microcomputer-based Mediterranean land evaluation information system *Soil Use and Management*, 8, pp. 89-96
- De Paz, J. M., Sánchez, J., Visconti, F. 2006. Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical and biological soil degradation in a Spanish Mediterranean region. *J Environ Manage* 79: 150-162.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C. W. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Duval, M. E., Galantini, J. A., Martínez, J. M., López, F. M. Wall, L. G. 2015. Evaluación de la calidad física de los suelos de la región pampeana: efecto de las prácticas de manejo. *Ciencias Agronómicas - Revista XXV - Año 15 - 2015 / 033 - 043*
- Ekboir, J., 2003. Why impact analysis should not be used for research evaluation and and what the alternatives are. *Agricultural Systems* 78(2):166-184. 10.1016/S0308-521X(03)00125-2
- Elsheikh, R., Rashid, A., Shariff, M., Amiri, F., Ahmad, N. B., Balasundram, S. K., Amin, M., Soom, M. 2013. Agriculture Land Suitability Evaluator (ALSE): A decision and planning support tool for tropical and subtropical crops, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 93, Pages 98-110, ISSN 0168-1699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.02.003>.
- FAO. 1985. Directivas: evaluación de tierras para la agricultura de secano. Boletín de suelos N° 52, Roma, Italia. 228 pp.
- FAO-UNEP-UNESCO .1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. FAO, Roma, Italia.
- FAO-UNESCO. 1980. "Mapa Mundial de Suelos". Volumen 1: Legend. Roma.
- Gaitán, J. J., Navarro, M. F., Tenti Vuegen, L. M., Pizarro, M. J., y Carfagno, P. 2017. Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. Ediciones INTA.
- Garat, M. J. 2019. "Fragilidad a la degradación de las tierras y comportamiento hidrológico de los suelos del Partido de Carlos Tejedor". Tesis de Grado para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo otorgado por Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Extraído de: <http://ri.agro.uba.ar/files/intranet/intensificacion/2019garatmariajose.pdf>
- García R., 2006. *Sistemas Complejos. Conceptos, Métodos y Fundamentación Epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona. Pág: 200. ISBN 10: 8497841646.
- Garnett, T., Appleby, M. C., Balmford, A., Bateman, I. J., Benton, T. G., Bloomer, P., Burlingame, B., Dawkins, M., Dolan, L., Fraser, D., Herrero, M., Hoffmann, I., Smith, P., Thornton, P. K., Toulmin, C., Vermeulen, S. J., Godfray, H. C. J. 2013. Sustainable

- Intensification in Agriculture: Premises and Policies. *Science* 05 Jul 2013: Vol. 341, Issue 6141, pp. 33-34 DOI: 10.1126/science.1234485
- George, P. B. L., Keith, A. M., Creer, S., Barrett, G. L., Lebron, I., Emmett, B. A., Robinson, D. A., Jones, D. L. 2017. Evaluation of mesofauna communities as soil quality indicators in a national-level monitoring programme, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 115, 2017, Pages 537-546. ISSN 0038-0717, <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.09.022>.
- Halbac-Cotoara-Zamfir, R.; Smiraglia, D.; Quaranta, G.; Salvia, R.; Salvati, L.; Giménez-Morera, A. Land Degradation and Mitigation Policies in the Mediterranean Region: A Brief Commentary. *Sustainability* 2020, 12, 8313. <https://doi.org/10.3390/su12208313>
- Hunter, M. C., Smith, R. G., Schipanski, M. E., Atwood, L. W., Mortensen, D. A. 2017. Agriculture in 2050: Recalibrating Targets for Sustainable Intensification, *BioScience*, Volume 67, Issue 4, Pages 386–391, <https://doi.org/10.1093/biosci/bix010>
- Ickowitz, A., Powell, B., Rowland, D., Jones, A., Sunderland, T.C.H. 2019. Agricultural intensification, dietary diversity, and markets in the global food security narrative. *Global Food Security* 20: 9-16. ISSN 2211-9124. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.11.002>
- Imbellone, P. A., Giménez, J. E., Panigatti, J. L. 2010. *Suelos de la Región Pampeana: Procesos de formación*. Ed. INTA. Buenos Aires. 320 pp.
- INDEC. 2020. Proyecciones por departamentos. Extraído de: <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-24-119>
- INDEC. 2021. Censo Nacional Agropecuario 2018. Extraído de: <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-8-87>
- Infobae. 2002. Inundación de la Ciudad de Azul. Extraído de: <https://www.infobae.com/2002/08/18/16503-cientos-evacuados-la-inundacion-azul/>
- INTA. 2005. Carta de Suelos de la República Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina. Argentina. ISSN 0327-781X. Extraído de <http://anterior.inta.gov.ar/suelos/cartas/index.htm> el día 06/10/2020.
- Irigoin, J. 2011. 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 (Prov. de Bs As, Argentina). Tesis para obtener el grado de Magister de la Universidad de Buenos Aires área Ciencias del Suelo otorgado por Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Escuela para Graduados. Extraído de: <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/maestria/2011irigoinjulietta.pdf>
- Jackson, W. 2002. Natural systems agriculture: a truly radical alternative. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 88(2), 111–117. doi:10.1016/s0167-8809(01)00247-x
- Klingebiel, A., y Montgomery, P. 1961. Land-capability classif. (No. 210). Soil Conservation Service, USDA.
- Kuehne, G., Llewellyn, R., Pannell, D. J., Wilkinson, R., Dolling, P., Ouzman, J., Ewing, M. 2017. Predicting farmer uptake of new agricultural practices: A tool for research, extension and policy, *Agricultural Systems* 156:115-125 <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.06.007>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X16304541>)

- Lal, R., Reicosky, D. C., Hanson, J. D. (2007). Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil and Tillage Research*, 93(1), 1–12. doi:10.1016/j.still.2006.11.004
- Landriscini, M. R., Galantini, J. A., Duval, M. E., Iglesias, J. O. 2020. Cambios en las fracciones orgánicas resistentes en suelos de la región pampeana. *Cienc. Suelo (Argentina)* 38 (2): 203-211, 2020.
- Lanker, M., Bell, M., Picasso V. D. 2019. Farmer perspectives and experiences introducing the novel perennial grain Kernza intermediate wheatgrass in the US Midwest. *Renewable Agriculture and Food Systems* 1–10. <https://doi.org/10.1017/S1742170519000310>
- Makoi, J. H. J. R., Mmbaga, H. 2020. Land suitability evaluation for rice and maize based cropping systems using FAO maximum limitation approach. *Forest Res Eng Int J.* 2020;4(2):52–65. DOI: 10.15406/freij.2020.04.00099
- Mandelbrot, B. 1983. *The Fractal Geometry of Nature*. Freeman, 1-468.
- Martínez, J. P., Crespo, C., Cuervo, M. T., Sainz Rozas, H. R., Echeverría, H. E., Martínez, F., Cordone, G., Barbieri, P. A. 2020. Secuencias de cultivos con predominio de soja: efecto sobre indicadores de calidad física del suelo. *Cienc. Suelo (Argentina)* 38 (2): 224-235, 2020
- Massobrio M, J., Gutierrez P. 1998. Environmental-economic evaluation of wind erosion effects in an area of La Pampa province, Argentina. *Acts: 180. fifth biennial meeting international society for ecological economics. Santiago-de Chile. 15-19 de noviembre de 1998.*
- Massobrio M. 2003. Comportamiento de un paisaje fluvial: Análisis de la dinámica del agua en el suelo de una microcuenca del norte de la Prov. de Bs As (Argentina). UVigo. España. Pp 210. buv central. ar. t444. clasif. 631.4-2003.
- Massobrio M., Chagas C., Castiglioni M. 2004. Aplicación del método del caso para la comprensión de un problema ambiental en la provincia de buenos aires. Primera Jornada de Calidad Ambiental “Educar para el presente y para el futuro”. Trabajo completo en CD. FAUBA. Buenos Aires 10 de setiembre de 2004.
- Massobrio, J. M., Giberti, V. 2013 En: *Agroecosistemas: impacto ambiental y sustentabilidad*. Editora Lidia Giuffré. Editorial Facultad de Agronomía. Pp 509-520. ISBN 978-950-29-1061-1. Pp 624
- Massobrio, M. 2004. *Agroecosistemas, el paisaje y las tecnologías*. En: *Ecología y Ambiente*. Capítulo IX. Malacalza L. (Ed). Pp 174-177. 2004. Instituto de Ecología de Luján. ISBN 987-21270-0-X.
- Mateos, E. 1992. Colémbolos (Collembola:Insecta) edáficos de encinares de la Serra de l’Ova y de la Serra de Prades (Sierra prelitoral catalana). Efecto de los incendios forestales sobre estos artrópodos (inédito). Tesis doctoral. Universidad de Barcelona, Facultad de Biología, Dpto. de Biología Animal.
- Matteucci, S. D. 2012. Ecorregión Pampa. En Morello, J., Matteucci, S.D., Rodriguez, A. F. y Silva, M.E. *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos*. Buenos Aires. Orientación gráfica Editora. Buenos Aires, Argentina. pp. 261-278.
- Miaczynski, C.R.O. 1961. La clasificación de las Tierras por su Capacidad de Uso. Traducción del Memorandum SCS-136 del Administrador del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de estados Unidos (SCSUSDA) de mayo de 1958.

- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. 2020. Extraído de <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/>
- Ministerio de Hacienda y Finanzas de la Provincia de Buenos Aires. 2019. Extraído de <http://www.estadistica.ec.gba.gov.ar/dpe/index.php/economia/agricultura-ganaderia-y-pesca/estadisticas-agricolas/120-metodologia-estadisticas-agricolas/139-cuadros-estadisticos-ea>
- Miramontes, O. 1999. Los sistemas complejos como instrumentos de conocimiento y transformación del mundo, en Ramírez (editor), *Perspectivas sobre teoría de sistemas*. UNAM-Siglo XXI, México.
- Mirella, S., Kassam, A., Gutiérrez, A., Bloise M., Marinelli, M. 2013. Capítulo 3: Metodología de evaluación de aptitud de tierras. Bioenergía y seguridad alimentaria. Extraído de: <http://www.fao.org/3/i1708s/i1708s02.pdf>
- Muckey, E. 2019. Kernza® in Southern Minnesota: Assessing Local Viability of Intermediate Wheatgrass. University of Minnesota Extension. Regional Sustainable Development Partnership. U of M Digital Conserv, <http://hdl.handle.net/11299/202253>.
- Munné, F. 1995. Las teorías de la complejidad y sus implicaciones en las ciencias del comportamiento. *Revista Interamericana de Psicología*, 29(1), 1-12.
- Nakama, V. y Sobral, R. 1987. Índice de Productividad. Método paramétrico para la evaluación de tierras. Secretaría de Agricultura, ganadería y Pesca – INTA. Documento del Proyecto PNUD Arg. 85/019. Buenos Aires.
- Nguyen, H., Nguyen, T., Hoang, N., Bui, D., Vu, H., Van, T. 2020 The application of LSE software: A new approach for land suitability evaluation in agriculture, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 173, 105440, ISSN 0168-1699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105440>.
- NOAA. 2019. National oceanic and atmospheric Administration. Extraído de www.noaa.gov
- Observatorio Nacional de la Degradación de las Tierras y Desertificación. 2021. Extraído de <http://www.desertificacion.gob.ar/>
- Pereyra Iraola, M. 2019. Fragilidad a la degradación de las tierras y comportamiento hidrológico de los suelos del Partido de Hipólito Yrigoyen. Tesis de Grado para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo otorgado por Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Extraído de <http://ri.agro.uba.ar/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=ti&d=2019pereyrairaolamanuel>
- Pérez, S. P., Blasón, A. D., Baiocchi, A., Britez, I. 2013. Análisis temporal y espectral de la precipitación de Castelar (Argentina). *Revista de la Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias*. Universidad de Morón. Vol. IV, Nº 7, p. 53-66.
- Pérez, S. P., Irigoien, J., Cassani, T., Massobrio, M. 2019. The importance of climate scenarios in setting the productivity indexes in the Pampa Arenosa sub-region of the province of Buenos Aires, Argentina. *Revista Ambiente y Agua*. Vol 14, No 2 DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2286>, ISSN:1980-993X.
- Piscitelli, M. y Sfeir, A. 2004. Fisiografía detallada del partido de azul, para el desarrollo de un planteo conservacionista de manejo de suelos. (Buenos Aires, República Argentina). Segundo Congreso de la Ciencia Cartográfica y IX Semana Nacional de Cartografía. Del 22 y 25 de junio de 2004. Buenos Aires.

- Piscitelli, M; Varni., M; Sfeir, A; Ares, G. 2010. Valores de erodabilidad (factor K-USLE) para suelos representativos de la cuenca alta del arroyo Azul (partido de Azul- Buenos Aires). *1Rev.Fac.Agron.* Vol. 109 (1): 17- 22.
- QGIS.org. 2021. QGIS 3.10. Geographic Information System API Documentation. QGIS Association. Electronic document: <https://qgis.org/pyqgis/3.10/index.html>
- Reboratti, C. 2010. Un mar de soja: la nueva agricultura en Argentina y sus consecuencias. *Revista de geografía Norte Grande*, (45), 63-76. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022010000100005>
- Requesens, E. C. 2011. Bases agroambientales para un desarrollo sustentable del partido de Azul. Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Azul. 136p. ISBN 978-950-658-269-2
- Riquier, J., 1974. A summary of parametric methods of soil and land evaluation. In: FAO, *Approaches to Land Classification*. Soils Bulletin 22. FAO, Rome.
- Riveira, I. S., y Maseda, R. C. 2006. RULES-Sistema de Ayuda para la Planificación del suelo rural. *Recursos rurales: revista oficial do Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural (IBADER)*, (2), 25-33.
- Rocha, L. 2018. Desarrollo de índices de estado ecológico para paisajes fluviales integrando información geosférica y bioindicadores: el caso del partido de Azul. Tesis doctoral, Luján (AR): Universidad Nacional de Luján (UNLu). 187 p.
- Rossiter, D. G., y Van Wambeke, A. R. 1997. ALES version 4.65. Cornell University. N.Y.
- Rossiter, D.G. y Van Wambeke, A.R. 1995. Automated Land Evaluation System Version 4.5 User's Manual. SCAS Teaching Series T93-2 Revision 5. Department of Soil, Crop y Atmospheric Sciences, Cornell University, Ithaca, NY.
- Ruggerio, C. y Massobrio, M. 2020. “Sustentabilidad de sistemas hídricos: Referencias teóricas y metodológicas”, Capítulo 3, Pg 58-72, en “Territorialidades del agua: conocimiento y acción para construir el futuro que queremos”. Editores: José Esteban Castro, Gustavo Kohan, Alice Poma y Carlos Ruggerio (Eds). Co publicado en Newcastle upon Tyne, Reino Unido y Buenos aires, Argentina, por la Red waterlat-gobacit (Doi: 105072/zenodo.373411, Ediciones CICCUS (ISBN de Argentina: 978-987-693-801-3 [E-book], Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO) e Instituto Universitario de Investigación en Estudios Latinoamericanos (IELAT), Universidad de Alcalá, [2019] 2a ed., 2020.
- Sfeir, A., Massobrio, M., Irigoin, J., Piscitelli, M. 2017. Clasificaciones utilitarias. Objetivos. Diferentes tipos según producción. Ordenamiento territorial. Inventario de tierras. En: *Manejo y conservación de suelos: con especial énfasis en situaciones argentinas*. Colaborador: Vázquez, M. E. Editor: AACS, Asociación Argentina Ciencia del Suelo. ISBN 9872477183, 9789872477189. 386 pág.
- SMN. 2018. Datos pedidos al Servicio Meteorológico Nacional a través de <https://www.smn.gob.ar>
- Sobral, R. E., y Nakama, V. 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.
- Sobral, R., Nakama, V., De Antueno, L. 2010. Actualización de los IP de los suelos de la provincia de Buenos Aires. XXII CACS. Rosario, 31 de mayo al 4 de Junio.

- Socarrás, A. 2013. Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo. Pastos y forrajes, Vol. 36, N°1, enero-marzo, 5-13, 2013
- Socarrás, A., e Izquierdo, I. 2014. Evaluación de sistemas agroecológicos mediante indicadores biológicos de la calidad del suelo: mesofauna edáfica. Pastos y Forrajes, Vol. 37, No. 1, enero-marzo, 47-54.
- Soil Survey Manual. 1993. Soil survey Staff.
- Tricart J., 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida. Base para los estudios edafológicos y agronómicos. INTA - Colección Científica N°XII- Secretaría de Agricultura de la Nación Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 202pp.
- Tsoraeva, E., Bekmurzov, A., Kozyrev, S., Khoziev, A., y Kozyrev, A. 2020. Environmental issues of agriculture as a consequence of the intensification of the development of agricultural industry. In E3S Web of Conferences (Vol. 215). EDP Sciences.
- Vargas Rodríguez, H., Ponce de León Lima, D. 2008. "Evaluación de la aptitud de las tierras del municipio San José de las Lajas para las clases generales de uso agrícola y ganadero. I. Aptitud física." Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 17, núm.4, pp.64-69 [Consultado: 1 de Junio de 2021]. ISSN: 1010-2760. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215942012>
- Vázquez, M., Gelati, P., Millán, G. 2006. Sustentabilidad del riego complementario en suelos Udipsament Típico y Hapludol Éntico de Argentina. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.10, n.3, p.593-603. <http://www.agriambi.com.br>
- Vázquez, P., Zulaica, L., y Requesens, E. 2016. Análisis ambiental de los cambios en el uso de las tierras en el partido de Azul (Buenos Aires, Argentina). AgriScientia, 33(1), 15-26. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v33.n1.16568>
- Vázquez, P., Zulaica, L., Requesens E. 2012. Cambios en el uso del suelo rural del Partido de Azul (Provincia de Buenos aires, argentina), durante el periodo 2002-2011. IX Jornadas Nacionales de Geografía Física Bahía Blanca. 23-32 pp ISBN 978-987-1648-32-0
- Vico Martín, J. 2018. Las contribuciones rusa, francesa y española a la legitimación científica y filosófica del ecologismo. Un enfoque naturalista desde la historia y la filosofía de la ciencia. Tesis doctoral: Universidad Nacional de Educación a Distancia (España). 352 p.
- Wilson, M. G., Maggi, A. E., Castiglioni, M., Gabioud, E. A., Sasal, M. C. 2020. "Conservation of Ecosystem Services in Argiudolls of Argentina" Agriculture 10, no. 12: 649. <https://doi.org/10.3390/agriculture10120649>
- Wischmeier, W. H., y Smith, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.
- Zulaica, L. 2005. Zonificación ecológico-paisajística del Partido de Azul (Provincia de Buenos Aires). Informe final correspondiente a la Beca de Perfeccionamiento de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (período 2004-2006). Tandil, Laboratorio de Estudios Ecogeográficos, FCH, UNICEN. Inédito.

ANEXOS

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

Valores de K calculados para calculados para las series de suelos analizadas.

SERIE	Nº HORIZONTE	CLASE PERMEABILIDAD	CLASE ESTRUCTURA	MO (%)	ARCILLA (%)	LIMO% (2 a 50)	AMF% (50 a 100)	K formula
Ayacucho	1	5	3	6,65	26,7	33,5	38,6	0,36
Azul	1	3	2	7,69	30,3	34,7	33,5	0,18
Baker	1	5	3	6,1	29,6	37,6	31,8	0,36
Balcarce	1	3	1	7,06	25,7	31,5	41,6	0,20
Blanca Chica	1	4	2	5,26	19,9	24,4	27,5	0,28
Cacharí	1	4	2	7,03	23,8	30,8	38,3	0,27
Chelforó	1	5	3	4,21	16,1	43,8	37,7	0,60
Cinco Cerros	1	4	3	6,02	30,7	30,9	33	0,31
Cobo	1	4	3	6,69	20,5	28,5	39,9	0,34
Coronel Bunge	1	5	3	1,6	17	45,2	34,6	0,75
Egaña	1	4	3	6,19	24,6	28,4	40,1	0,34
El Toro	1	4	3	3,58	21,6	21,5	43,5	0,46
Elena	1	5	4	1,21	13,9	49	31,6	0,85
Estación Yervas	1	5	3	5,94	26,3	36,7	28,1	0,36
Estancia Aldecoa	1	4	3	5	28,4	52,2	18,1	0,39
General Guido	1	5	3	4,19	25,7	40	33,1	0,49
Guillermo	1	3	3	4,7	24,5	40,6	31,4	0,40
La Alianza	1	4	1	10,28	26,9	29,7	31,3	0,06
La Delicia	1	4	3	7,91	32,7	41,6	20,6	0,22
La Emma	1	5	3	0,84	12,5	35	21,4	0,60
La Escocia	1	6	3	6,17	24,3	56,9	15,1	0,43
La Guarida del Zorro	1	6	3	1,05	18,4	36	40,2	0,77
La Loma	1	3	3	3,78	25	32,7	38,8	0,44
La Nueva Esperanza	1	5	3	8,02	29,4	40,6	25,9	0,27
La Santa Luisa	1	6	3	4,13	26,3	46,9	15,6	0,46
La Tigra	1	4	3	4,3	20,1	30,7	47,4	0,52
Laprida	1	3	3	4,48	25,1	41,5	30,2	0,41
Las Hermanas	1	5	3	1,04	14,8	42,5	36,7	0,80
Las Margaritas	1	5	3	4,65	21,4	42,8	27,6	0,48

Las Martinetas	1	2	2	4,3	24,4	37,3	31,5	0,33
Mar Del Plata	1	3	2	6,94	23,1	35,8	39,4	0,27
Martin Colman	1	6	3	9,46	24,4	37,6	36,3	0,27
Miñana	1	5	3	2,29	30,1	50,2	22,2	0,55
Monte	1	4	3	5,03	25,8	45,6	27,2	0,41
Napaleofú	1	5	3	9,61	33,6	52,4	12,8	0,20
Olavarría	1	3	3	7,27	33,8	42,4	19,5	0,21
Querandíes	1	5	3	5,48	32,3	43,5	20,6	0,35
Rauch	1	5	3	5,53	28,9	34,1	35,1	0,39
San Gabriel	1	5	3	3,22	20,6	44	32,6	0,60
San Isidro	1	6	3	1,36	32,4	34,5	29,7	0,54
Santa Luisa	1	4	2	7,59	29,4	46,9	22,3	0,22
Santa Paula	1	5	3	4,89	24	27	23,5	0,34
Sierra Chica	1	4	2	7,84	19,7	41,4	33,5	0,26
Sierra de los Padres	1	4	1	11	32,8	33,8	24,7	0,02
Tandil	1	3	3	6,74	29,4	41,8	28,2	0,27
Tandil eofú	1	6	3	5,12	22,2	45,9	31,2	0,52
Tres Esquinas	1	4	3	7,39	30,7	49,9	18,3	0,27
Tuyutí	1	6	3	1,15	17,5	42,3	32,3	0,75
Vichauel	1	6	3	6,12	26,9	49,9	21,4	0,41
Videla Dorna	1	6	3	5,27	32,5	47,8	19	0,41
La María Luisa	1	6	3	4,13	26,3	46,9	15,6	0,46
Tres Arroyos	1	4	3	3,87	25,9	26,9	37,2	0,42
Cruzada	1	4	3	1,72	15,8	46,7	13,9	0,54

Fragilidad a la degradación física calculada para las series de suelos analizadas.

SERIE	K formula	C (R)	T	Frag Física
Ayacucho	0,36	6,78	1	2,45
Azul	0,18	6,78	1	1,23
Baker	0,36	6,78	1	2,46
Balcarce	0,20	6,78	1	1,36
Blanca Chica	0,28	6,78	1	1,87
Cacharí	0,27	6,78	1	1,82
Chelforó	0,60	6,78	1	4,10
Cinco Cerros	0,31	6,78	1	2,08
Cobo	0,34	6,78	1	2,27
Coronel Bunge	0,75	6,78	1	5,07
Egaña	0,34	6,78	1	2,33
El Toro	0,46	6,78	1	3,11
Elena	0,85	6,78	1	5,76
Estación Yervas	0,36	6,78	1	2,47
Estancia Aldecoa	0,39	6,78	1	2,64
General Guido	0,49	6,78	1	3,32
Guillermo	0,40	6,78	1	2,72
La Alianza	0,06	6,78	1	0,39
La Delicia	0,22	6,78	1	1,52
La Emma	0,60	6,78	1	4,05
La Escocia	0,43	6,78	1	2,89
La Guarida del Zorro	0,77	6,78	1	5,20
La Loma	0,44	6,78	1	2,98
La Nueva Esperanza	0,27	6,78	1	1,85
La Santa Luisa	0,46	6,78	1	3,11
La Tigra	0,52	6,78	1	3,51
Laprida	0,41	6,78	1	2,76
Las Hermanas	0,80	6,78	1	5,40
Las Margaritas	0,48	6,78	1	3,22

Las Martinetas	0,33	6,78	1	2,22
Mar Del Plata	0,27	6,78	1	1,81
Martin Colman	0,27	6,78	1	1,82
Miñana	0,55	6,78	1	3,71
Monte	0,41	6,78	1	2,81
Napaleofú	0,20	6,78	1	1,34
Olavarría	0,21	6,78	1	1,43
Querandés	0,35	6,78	1	2,40
Rauch	0,39	6,78	1	2,65
San Gabriel	0,60	6,78	1	4,05
San Isidro	0,54	6,78	1	3,69
Santa Luisa	0,22	6,78	1	1,52
Santa Paula	0,34	6,78	1	2,32
Sierra Chica	0,26	6,78	1	1,78
Sierra de los Padres	0,02	6,78	1	0,16
Tandil	0,27	6,78	1	1,86
Tandileofú	0,52	6,78	1	3,51
Tres Esquinas	0,27	6,78	1	1,81
Tuyutí	0,75	6,78	1	5,11
Vichauel	0,41	6,78	1	2,81
Videla Dorna	0,41	6,78	1	2,75
La María Luisa	0,46	6,78	1	3,11
Tres Arroyos	0,42	6,78	1	2,83
Cruzada	0,54	6,78	1	3,69

Fragilidad a la degradación química calculada para las series de suelos analizadas.

SERIE	Factor climático (thornthwaite)	Factor edáfico (textura)	factor edáfico (tipo de arcilla)	Fator Topográfico	Frag Química
Ayacucho	2,39	1	0,5	1	1,20
Azul	2,39	1	0,5	1	1,20
Baker	2,39	1	0,5	1	1,20
Balcarce	2,39	1	0,5	1	1,20
Blanca Chica	2,39	1	0,5	1	1,20
Cacharí	2,39	1	0,5	1	1,20
Chelforó	2,39	2	0,5	1	2,39
Cinco Cerros	2,39	1	0,5	1	1,20
Cobo	2,39	1	0,5	1	1,20
Coronel Bunge	2,39	2	0,5	1	2,39
Egaña	2,39	1	0,5	1	1,20
El Toro	2,39	1	0,5	1	1,20
Elena	2,39	2	0,5	1	2,39
Estación Yervas	2,39	1	0,5	1	1,20
Estancia Aldecoa	2,39	1	0,5	1	1,20
General Guido	2,39	1	0,5	1	1,20
Guillermo	2,39	1	0,5	1	1,20
La Alianza	2,39	1	0,5	1	1,20
La Delicia	2,39	1	0,5	1	1,20
La Emma	2,39	1	0,5	1	1,20
La Escocia	2,39	1	0,5	1	1,20
La Guarida del Zorro	2,39	1	0,5	1	1,20
La Loma	2,39	1	0,5	1	1,20
La Nueva Esperanza	2,39	1	0,5	1	1,20
La Santa Luisa	2,39	1	0,5	1	1,20
La Tigra	2,39	1	0,5	1	1,20
Laprida	2,39	1	0,5	1	1,20
Las Hermanas	2,39	2	0,5	1	2,39
Las Margaritas	2,39	1	0,5	1	1,20

Las Martinetas	2,39	1	0,5	1	1,20
Mar Del Plata	2,39	1	0,5	1	1,20
Martin Colman	2,39	1	0,5	1	1,20
Miñana	2,39	1	0,5	1	1,20
Monte	2,39	1	0,5	1	1,20
Napaleofú	2,39	1	0,5	1	1,20
Olavarría	2,39	1	0,5	1	1,20
Querandíes	2,39	1	0,5	1	1,20
Rauch	2,39	1	0,5	1	1,20
San Gabriel	2,39	1	0,5	1	1,20
San Isidro	2,39	1	0,5	1	1,20
Santa Luisa	2,39	1	0,5	1	1,20
Santa Paula	2,39	1	0,5	1	1,20
Sierra Chica	2,39	1	0,5	1	1,20
Sierra de los Padres	2,39	1	0,5	1	1,20
Tandil	2,39	1	0,5	1	1,20
Tandileofú	2,39	1	0,5	1	1,20
Tres Esquinas	2,39	1	0,5	1	1,20
Tuyutí	2,39	2	0,5	1	2,39
Vichauel	2,39	1	0,5	1	1,20
Videla Dorna	2,39	1	0,5	1	1,20
La María Luisa	2,39	1	0,5	1	1,20
Tres Arroyos	2,39	1	0,5	1	1,20
Cruzada	2,39	2	0,5	1	2,39

Fragilidad a la degradación biológica calculada para las series de suelos analizadas.

SERIE	MO (%)	Fragilidad a la degradación Biológica
Ayacucho	6,65	0,15
Azul	7,69	0,13
Baker	6,10	0,16
Balcarce	7,06	0,14
Blanca Chica	5,26	0,19
Cacharí	7,03	0,14
Chelforó	4,21	0,24
Cinco Cerros	6,02	0,17
Cobo	6,69	0,15
Coronel Bunge	1,60	0,63
Egaña	6,19	0,16
El Toro	3,58	0,28
Elena	1,21	0,83
Estación Yerbas	5,94	0,17
Estancia Aldecoa	5,00	0,20
General Guido	4,19	0,24
Guillermo	4,70	0,21
La Alianza	10,28	0,10
La Delicia	7,91	0,13
La Emma	0,84	1,19
La Escocia	6,17	0,16
La Guarida del Zorro	1,05	0,95
La Loma	3,78	0,26
La Nueva Esperanza	8,02	0,12
La Santa Luisa	4,13	0,24
La Tigra	4,30	0,23
Laprida	4,48	0,22
Las Hermanas	1,04	0,96
Las Margaritas	4,65	0,22

Las Martinetas	4,30	0,23
Mar Del Plata	6,94	0,14
Martin Colman	9,46	0,11
Miñana	2,29	0,44
Monte	5,03	0,20
Napaleofú	9,61	0,10
Olavarría	7,27	0,14
Querandíes	5,48	0,18
Rauch	5,53	0,18
San Gabriel	3,22	0,31
San Isidro	1,36	0,74
Santa Luisa	7,59	0,13
Santa Paula	4,89	0,20
Sierra Chica	7,84	0,13
Sierra de los Padres	11,00	0,09
Tandil	6,74	0,15
Tandileofú	5,12	0,20
Tres Esquinas	7,39	0,14
Tuyutí	1,15	0,87
Vichauel	6,12	0,16
Videla Dorna	5,27	0,19
La María Luisa	4,13	0,24
Tres Arroyos	3,87	0,26
Cruzada	1,72	0,58

Agua útil calculada para las series de suelos analizadas.

SERIE	CLAS TAX	N° HORIZONTE	HORIZONTE	PROF (cm)	PROF (cm)	PROF (cm)	PROF C/HORIZ	Travaso y Suero (1994)						Duval et al. 2015 (Dap max y disminución del agua útil)					
								-33 mm	-1500 mm	Agua Útil	mm/m	DAP max	DAP prom	Hg (max Dap)	Hg (Dap prom)	% disminución AU estimada			
Ayacucho	Naturdul Vérti	1 Ap	24	0	24	24	24	25,6	61,5	12,2	29,3	32,2	161,9	1,5	1,2	21,4	28,0	23,6	
		2 En	24	39	15	15	19,7	29,5	9,4	14,0	15,5								
		3 Btssn	68	39	68	29	35,8	103,7	17,0	49,4	54,3								
		4 Btuz	41	109	41	27,9	114,3	13,3	54,3	59,9									
		5 2BClnz	158	109	158	49	23,3	114,0	11,1	54,3	59,7								
		6 2Ckm	173	158	173	15													
Azul	Argudol Petr c	1 Ap/A	21	0	21	21	21	27,6	57,9	13,1	27,6	30,3	140,2	1,5	1,2	20,4	26,4	22,7	
		2 BAT	8	21	29	8	29,2	23,4	13,9	11,1	12,2								
		3 BT	63	29	63	34	37,4	127,3	17,8	60,6	66,7								
		4 BC	88	63	88	25	23,6	59,0	11,2	28,1	30,9								
		5 2Ckkm	88 +	88 +			5,9	0,0	2,8	0,0	0,0								
Baicorce	Argudol Petr c	1 Ap	23	0	23	23	23	24,2	55,6	11,5	26,5	29,1	95,8	1,5	1,2	19,3	25,3	24,0	
		2 BA	8	23	31	8	25,3	20,2	12,0	9,6	10,6								
		3 Bt1	54	31	54	23	28,1	64,6	13,4	30,8	33,9								
		4 Bt2	16	54	70	16	26,5	42,4	12,6	20,2	22,2								
		5 2Ckkm	70 +	70 +			5,9	0,0	2,8	0,0	0,0								
Blanca Chica	Argudol Lipicr	1 Ap	15	0	15	15	15	20,6	30,9	9,8	14,7	16,2	110,5	1,6	1,2	10,3	14,1	26,8	
		2 A	16	15	31	16	19,5	31,2	9,3	14,8	16,3								
		3 AB	45	31	45	14	18,3	25,6	8,7	12,2	13,4								
		4 2BT	68	45	68	23	22,9	52,7	10,9	25,1	27,6								
		5 2BCm	93	68	93	25	17,3	43,2	8,2	20,6	22,6								
		6 2C	93	110	17	17	16,0	27,2	7,6	12,9	14,2								
Cachari	Hapludol Thej	1 Ap	14	0	14	14	14	23,3	32,7	11,1	15,5	17,1	141,9	1,5	1,2	11,3	14,9	24,2	
		2 An	33	14	33	19	23,8	45,3	11,3	21,6	23,7								
		3 AC	46	33	46	13	14,8	19,2	7,0	9,2	10,1								
		4 2Btcn	70	46	70	24	31,7	76,1	15,1	36,2	39,9								
		5 2Bctn	89	70	89	19	19,9	37,8	9,5	18,0	19,8								
		6 3Cn	120	89	120	31	19,2	59,7	9,2	28,4	31,3								
Chellforó	Natracuall Vél	1 An	7	0	7	7	7	19,8	13,9	9,4	6,6	7,3	159,1	1,5	1,2	5,0	6,3	21,5	
		2 Btssn1	30	7	30	23	30,5	70,1	14,5	33,4	36,7								
		3 Btssn2	50	30	50	20	36,5	72,9	17,4	38,2	38,2								
		4 Btzn	70	50	70	20	26,5	53,0	12,6	25,2	27,8								
		5 BClnz	110	70	110	40	23,4	93,7	11,2	44,6	49,1								
		6 Ckn	110 +	110 +			24,5	0,0	11,7	0,0	0,0								
Cinco Cerros	Argudol Petr c	1 Ap	23	0	23	23	23	27,7	63,6	13,2	30,3	33,3	72,0	1,5	1,2	21,8	29,0	24,6	
		2 Bt	45	23	45	22	33,5	73,7	16,0	35,1	38,6								
		3 2Ckkm	45 +	45 +			5,9	0,0	2,8	0,0	0,0								
Cobo	Argudol Abrú	1 Ap	16	0	16	16	16	24,2	38,7	11,5	18,4	20,3	163,8	1,5	1,2	13,2	17,6	25,0	
		2 A	41	16	41	25	26,2	65,6	12,5	31,2	34,4								
		3 En	41	55	41	14	22,2	31,1	10,6	14,8	16,3								
		4 2Bt1	78	55	78	23	33,8	77,7	16,1	37,0	40,7								
		5 2Bt2	78	110	78	32	31,1	99,4	14,8	47,3	52,1								
		6 2BCm	110 +	110 +			25,4	0,0	12,1	0,0	0,0								

Coronel Bunge	Natracuall Pel	1 An	0	16	16	21,5	34,4	10,2	16,4	18,0	115,7	1,5	1,2	12,2	15,7	22,4		
		2 Btkn	16	42	26	37,7	98,0	17,9	46,6	51,3								
		3 BCn	42	64	22	17,5	38,6	8,3	18,4	20,2								
		4 Cn	64	80	16	17,0	27,2	8,1	13,0	14,3								
		5,2Cckm	80	95	15	15,1	22,7	7,2	10,8	11,9								
		Argudol Tipic	1 Ap	28	28	23,3	65,2	11,1	31,0	34,1	165,2			1,5	1,2	22,2	29,7	25,3
		2 A	28	39	11	22,2	24,5	10,6	11,6	12,8								
		3 Bt	39	67	28	29,5	82,5	14,0	39,3	43,2								
		4 BCl	67	87	20	23,0	46,1	11,0	21,9	24,2								
		5 BC2	87	137	50	19,4	97,0	9,2	46,2	50,9								
El Toro	Hapludol Ther	1 A	0	40	40	21,7	86,8	10,3	41,3	45,5	140,8	1,6	1,2	28,4	39,6	28,3		
		2 AC	40	60	20	14,9	29,7	7,1	14,2	15,6								
		3 BT	60	100	40	24,9	99,4	11,8	47,3	52,1								
		4,2BCC	100	125	25	21,1	52,7	10,0	25,1	27,6								
		5,2C	125	170	45	22,0	99,0	10,5	47,1	51,9								
		1 A	0	21	21	29,5	61,9	14,0	29,5	32,4	214,7		1,4	1,2	23,0	28,2	18,3	
		2 BAT	21	36	15	34,2	51,3	16,3	24,4	26,9								
		3 Btl	36	52	16	37,5	60,0	17,8	28,6	31,4								
		4 B2	52	71	19	36,3	68,9	17,3	32,8	36,1								
		5 B3	71	94	23	34,9	80,2	16,6	38,2	42,0								
6 Btc	94	120	26	33,6	87,3	16,0	41,6	45,8										
7 BCT	120	145	25	31,8	79,6	15,1	37,9	41,7										
8 C	145	172	27	27,6	74,6	13,1	35,5	39,1										
9,2Ckm	172 +			5,9	0,0	2,8	0,0	0,0										
General Guindé	Natracuol Tipi	1 A	0	14	14	25,0	34,9	11,9	16,6	18,3	187,8	1,5	1,2	12,3	15,9	22,7		
		2 Btkn	14	34	20	42,9	85,8	20,4	40,9	45,0								
		3 Bcnk	34	52	18	32,2	57,9	15,3	27,6	30,3								
		4 BGNk1	52	90	38	25,1	95,4	12,0	45,4	50,0								
		5 BGNk2	90	130	40	21,1	84,2	10,0	40,1	44,1								
		6 Cnk	130 +			21,7	0,0	10,3	0,0	0,0								
		1 Ap	28	28	22,3	62,4	10,6	29,7	32,7	32,7			1,5	1,2	21,9	28,4	23,0	
		2,2Cckm	28 +			5,9	0,0	2,8	0,0	0,0								
		1 Ap	25	25	30,4	76,0	14,5	36,2	39,8	43,4			1,4	1,2	27,6	34,6	20,4	
		2 Bt	25	47	22	37,7	82,9	17,9	39,4	43,4								
3,2Cckm	47 +			5,9	0,0	2,8	0,0	0,0										
La Emma	Natracuall Pel	1 Apnz	0	11	11	17,1	18,8	8,1	9,0	9,9	106,9	1,5	1,2	6,4	8,6	25,8		
		2 En	11	22	11	19,0	20,9	9,1	10,0	11,0								
		3,2Bnz	22	55	33	35,1	116,0	16,7	55,2	60,8								
		4,2BCkn	55	73	18	26,8	48,2	12,7	22,9	25,3								
		5,3Ckn	73 +			5,9	0,0	2,8	0,0	0,0								
		1 A	0	21	21	26,7	56,0	12,7	26,7	29,4	118,9		1,4	1,2	21,4	25,5	16,0	
		2 Bt	21	42	21	36,7	77,1	17,5	36,7	40,4								
		3 Btkn	42	58	16	43,2	69,1	20,6	32,9	36,2								
		4,2Cckm	58	100	42	5,9	24,6	2,8	11,7	12,9								

La Loma	Argiudol Petrç	1 A	0	20	20	24,5	49,0	11,7	23,3	25,7	103,7	1,5	1,2	16,7	22,3	25,1
		2 BAt	20	39	19	27,1	51,4	12,9	24,5	27,0						
		3 Bt	39	55	16	32,6	52,2	15,5	24,9	27,4						
		4 2Ckkm	55	70	15	30,1	45,1	14,3	21,5	23,7						
La Nueva Espe Natrudol Tipic		1 Ap1	0	10	10	23,8	23,8	11,3	11,3	12,5	110,3	1,4	1,2	8,6	10,8	20,7
		2 Ap2	10	25	15	25,5	38,3	12,1	18,2	20,1						
		3 Bt	25	46	21	39,5	82,9	18,8	39,5	43,4						
		4 BCK	46	67	21	22,0	46,1	10,5	22,0	24,2						
		5 2BCKk	67	100	33	5,9	19,4	2,8	9,2	10,1						
		6 2Ckkm	100	130	30	5,9	17,6	2,8	8,4	9,2						
La Tigra	Natrudol Tipic	1 Ap	0	28	28	20,4	57,1	9,7	27,2	29,9	127,9	1,5	1,2	19,4	26,0	25,5
		2 En	28	39	11	16,6	18,2	7,9	8,7	9,6						
		3 2Bm	39	59	30	25,5	51,1	12,2	24,3	26,8						
		4 2BCKm	59	94	35	21,8	76,2	10,4	36,3	40,0						
		5 3Ckn1	94	117	23	18,0	41,4	8,6	19,7	21,7						
		6 3Ckn2	150	+		19,5	0,0	9,3	0,0	0,0						
Mer Del Plata Argiudol Tipic	1 Ap	0	15	15	22,7	34,0	10,8	16,2	17,8	17,8	137,7	1,5	1,2	12,0	15,5	22,7
		2 A	15	29	14	22,1	31,0	10,5	14,7	16,2						
		3 AB	29	39	10	23,0	23,0	10,9	10,9	12,1						
		4 B1	39	58	19	29,0	55,2	13,8	26,3	28,9						
		5 B2	58	76	18	28,5	51,2	13,5	24,4	26,8						
		6 BC	76	110	34	20,1	68,3	9,6	32,5	35,8						
		7 C	110	160	50	15,8	79,0	7,5	37,6	41,4						
Martin Colma Albaqualis Vél	1 A	0	16	16	25,2	40,4	12,0	19,2	21,2	21,2	165,9	1,5	1,2	14,5	18,4	20,9
		2 En	16	30	14	20,7	29,0	9,8	13,8	15,2						
		3 2Bssn	30	88	58	42,6	247,2	20,3	117,7	129,6						
		4 2Bkn	88	134	46	41,0	188,6	19,5	89,8	98,8						
		5 2BCC	134	200	66	30,6	202,2	14,6	96,3	106,0						
		6 2C	200	215	15	30,4	45,5	14,5	21,7	23,9						
Mihana	Natrucual Fel	1 Apr	0	13	13	30,3	39,4	14,4	18,8	20,7	73,7	1,4	1,2	14,3	18,0	20,4
		2 Btcn	13	27	14	19,0	26,5	9,0	12,6	13,9						
		3 Btkn	27	53	26	16,5	42,9	7,9	20,4	22,5						
		4 BCCn	53	65	12	19,0	22,8	9,1	10,9	12,0						
		5 Ckkm	65	80	15	5,9	8,8	2,8	4,2	4,6						
		6 W	80	+		5,9	0,0	2,8	0,0	0,0						
Monte	Natrudol Tipic	1 Ap	0	18	18	26,5	47,6	12,6	22,7	25,0	162,1	1,4	1,2	17,2	21,7	20,5
		2 E	18	39	21	23,5	49,4	11,2	23,5	25,9						
		3 Bm	39	62	23	34,7	79,9	16,5	38,0	41,9						
		4 Bnk	62	82	20	26,7	53,4	12,7	25,4	28,0						
		5 BCKkn	82	119	37	21,3	78,9	10,2	37,6	41,4						
		6 C	119	+		20,9	0,0	10,0	0,0	0,0						
Napaleofú	Argiudol Vél	1 A	0	19	19	33,6	63,9	16,0	30,4	33,5	201,8	1,4	1,2	24,5	29,1	15,7
		2 E/Ac	19	32	13	27,6	35,9	13,1	17,1	18,8						
		3 B1	32	58	26	38,6	100,4	18,4	47,8	52,6						
		4 B2	58	85	27	37,7	101,8	17,9	48,5	53,3						
		5 BC	85	111	26	32,0	83,2	15,2	39,6	43,6						
Querandis	Natrucual Vél	1 Apr	0	18	18	25,6	46,0	12,2	21,9	24,1	117,4	1,5	1,2	16,6	21,0	21,0
		2 BAn	18	28	10	34,7	34,7	16,5	16,5	18,2						
		3 Bssn	28	53	25	46,3	115,6	22,0	55,0	60,6						
		4 2BCK	53	100	47	5,9	27,6	2,8	13,1	14,5						
		5 W	100	+		5,9	0,0	2,8	0,0	0,0						

Rauch	Natruadol Tipic	1 Ap	0	27	27	269	72,6	12,8	34,6	38,0	152,7	1,5	1,2	25,2	33,1	23,9
		2 Btn	27	46	19	38,7	73,6	18,4	35,0	38,6						
		3 Bckn	46	86	40	24,3	97,3	11,6	46,3	51,0						
		4 Cn	86	106	20	23,9	47,8	11,4	22,8	25,1						
		5 Ck	106	122	16	5,9	9,4	2,8	4,5	4,9						
San Gabriel	Natrucaalf Pel	1 Aprn	0	16	16	23,2	37,2	11,1	17,7	19,5	131,9	1,5	1,2	13,2	16,9	21,9
		2 Btn	16	37	21	42,7	89,8	20,3	42,7	47,0						
		3 Bnz	37	50	13	32,9	42,8	15,7	20,4	22,4						
		4 2Bcknz	50	88	38	18,9	72,0	9,0	34,3	37,7						
		5 2Ckkm	88	105	17	5,9	10,0	2,8	4,7	5,2						
San Isidro	Natrucaalf Pel	1 Anz	0	14	14	25,6	35,9	12,2	17,1	18,8	102,0	1,5	1,2	12,2	16,4	25,7
		2 Bbnz1	14	32	18	29,9	53,8	14,2	25,6	28,2						
		3 Bbnz2	32	45	13	31,1	40,4	14,8	19,2	21,2						
		4 Bbnz	45	64	19	29,0	55,2	13,8	26,3	28,9						
		5 2Ckkm	64	80	16	5,9	9,4	2,8	4,5	4,9						
Santa Luisa	Argudol Acuic	1 Ap	0	22	22	30,2	66,4	14,4	31,6	34,8	183,8	1,4	1,2	24,6	30,3	18,8
		2 E	22	38	16	26,4	42,2	12,6	20,1	22,1						
		3 Bt	38	66	28	35,9	100,6	17,1	47,9	52,7						
		4 Btk	66	88	22	31,6	69,4	15,0	36,4	36,4						
		5 BC	88	118	30	24,0	72,1	11,4	34,3	37,8						
		6 2C	118	160	42	21,6	90,6	10,3	43,1	47,5						
Santa Paula	Natruadol Peirc	1 A	0	27	27	23,7	63,9	11,3	30,4	33,5	90,3	1,6	1,2	21,5	29,1	26,3
		2 En	27	42	15	18,1	27,2	8,6	12,9	14,2						
		3 2Bcn	42	68	26	31,2	81,2	14,9	38,7	42,6						
		4 3Ckn	68	82	26	5,9	0,0	2,8	0,0	0,0						
Sierra Chica	Natruadol Peirc	1 Ap	0	11	11	22,5	24,7	10,7	11,8	13,0	65,4	1,4	1,2	9,0	11,3	20,5
		2 A	11	26	15	23,4	35,1	11,1	16,7	18,4						
		3 E	26	33	7	18,0	12,6	8,6	6,0	6,6						
		4 Btm	33	51	18	29,1	52,4	13,9	24,9	27,5						
		5 2Ckkm	51	51	18	5,9	0,0	2,8	0,0	0,0						
Sierra de los F-Hapludol Litic		1 Ap	0	15	15	28,9	43,3	13,7	20,6	22,7	22,7	1,4	1,2	15,9	19,7	19,2
		2 2Cr	15	15	15	5,9	0,0	2,8	0,0	0,0						
Tandil	Argudol Tipic	1 Ap	0	25	25	29,1	72,8	13,9	34,6	38,1	180,9	1,5	1,2	26,2	33,2	20,9
		2 BA	25	36	11	33,6	37,0	16,0	17,6	19,4						
		3 Bt	36	83	47	35,0	164,6	16,7	78,3	86,3						
		4 BC	83	108	25	28,4	70,9	13,5	33,8	37,2						
		5 C	108	135	27	23,8	64,1	11,3	30,5	33,6						
Tanditeofu	Natrucaalf Acic	1 A	0	15	15	24,6	36,9	11,7	17,6	19,3	228,5	1,4	1,2	13,4	16,8	20,4
		2 Ecn	15	23	8	21,5	17,2	10,2	8,2	9,0						
		3 2Bm1	23	56	33	41,6	137,2	19,8	65,3	71,9						
		4 2Bm2	56	78	22	37,7	82,9	17,9	39,5	43,5						
		5 2BCn	78	127	49	33,0	161,9	15,7	77,1	84,9						
		6 3Ckn1	127	159	32	25,1	80,3	11,9	38,2	42,1						
		7 3Ckn2	159	165	6	5,9	3,5	2,8	1,7	1,8						
Tres Esquinas	Argudol Vetric	1 Ap	0	15	15	31,2	46,7	14,8	22,2	24,5	171,0	1,4	1,2	17,5	21,3	17,8
		2 A	15	34	19	34,6	65,8	16,5	31,3	34,5						
		3 BA	34	48	14	37,9	53,0	18,0	25,2	27,8						
		4 Bss	48	76	28	32,3	90,4	15,4	43,0	47,4						
		5 Bt	76	108	32	22,0	70,4	10,5	33,5	36,9						
		6 BC	108	150	42	20,2	84,8	9,6	40,4	44,5						
		7 C	150	170	20	5,9	11,7	2,8	5,6	6,2						

Tuyuti	Natracuallí Tipi	1 Az	0	18	18	216	388	103	185	203	1871	1,5	1,2	135	177	235
		2 2Bmz1	18	65	47	42,2	198,1	20,1	94,3	103,8						
		3 2Bmz2	100	100	35	34,3	120,0	16,3	57,1	62,9						
		4 3BCnz	100	140	40	26,9	107,7	12,8	51,3	56,4						
Michaui	Natracuallí Vert	1 An	0	10	10	27,4	27,4	13,0	13,0	14,4	238,9	1,4	1,2	102	12,5	18,5
		2 2Bmz1	10	45	35	50,3	175,9	23,9	83,7	92,2						
		3 2Bmz2	45	65	20	49,3	98,7	23,5	47,0	51,7						
		4 2BCkln	65	95	30	33,8	101,5	16,1	48,3	53,2						
		5 3Ccn	95	120	25	21,0	52,4	10,0	25,0	27,5						
Videla Dorna	Epiaguerts Tipi	1 Ap	0	26	26	25,7	66,8	12,2	31,8	35,0	146,9	1,4	1,2	24,4	30,4	19,7
		2 A	26	50	24	25,8	62,0	12,3	29,5	32,5						
		3 BK1	50	70	20	31,9	63,8	15,2	30,4	33,4						
		4 BK2	70	97	27	32,5	87,7	15,5	41,7	45,9						
		5 BC	97+			30,5	0,0	14,5	0,0	0,0						
Baker	Arguñudoí Cálci	1 Ap	0	24	24	27,5	66,0	13,1	31,4	34,6	107,4	1,5	1,2	23,3	30,1	22,6
		2 Bt	24	48	24	37,8	90,8	18,0	43,2	47,6						
		3 2BK	48	57	9	5,9	5,3	2,8	2,5	2,8						
		4 2BCK	57	70	13	5,9	7,6	2,8	3,6	4,0						
		5 2CK1	70	98	28	5,9	16,4	2,8	7,8	8,6						
		6 2CK2	98	130	32	5,9	18,8	2,8	8,9	9,8						
		7 3CK	130	145	15	5,9	8,8	2,8	4,2	4,6						
Las Hermanas	Natruduol Petro	1 An	0	14	14	19,3	27,0	9,2	12,8	14,1	105,3	1,5	1,2	9,4	12,3	23,5
		2 Bmz	14	39	25	34,3	85,9	16,3	40,9	45,0						
		3 BCknz	39	60	21	20,0	42,0	9,5	20,0	22,0						
		4 2Ckln	60	79	19	24,2	46,0	11,5	21,9	24,1						
		5 2Ckkm	79			16,2	0,0	7,7	0,0	0,0						
Las Margarita	Natracuallí Peni	1 Aprn	0	10	10	25,0	25,0	11,9	11,9	13,1	46,4	1,5	1,2	8,9	11,4	21,6
		2 Bmz	10	21	11	35,5	39,1	16,9	18,6	20,5						
		3 BCknz	21	29	8	30,6	24,5	14,6	11,7	12,8						
		4 2Ckkm	29			27,3	0,0	13,0	0,0	0,0						
Estación Yerb:	Natruduol Petro	1 A	0	26	26	26,3	68,4	12,5	32,5	35,8	114,0	1,5	1,2	24,0	31,2	22,9
		2 Bmz	26	49	23	43,6	100,3	20,8	47,8	52,6						
		3 BCknz	49	72	23	21,2	48,9	10,1	23,3	25,6						
		4 2CKm	72			5,9	0,0	2,8	0,0	0,0						
Laprida	Arguñudoí Tipicc	1 Ap	0	18	18	26,6	48,0	12,7	22,8	25,1	143,8	1,5	1,2	17,0	21,9	22,1
		2 BAT	18	29	11	28,1	30,9	13,4	14,7	16,2						
		3 BAT	29	37	8	27,9	22,3	13,3	10,6	11,7						
		4 Bt	37	60	23	29,4	67,6	14,0	32,2	35,4						
		5 BC	60	85	25	22,0	55,0	10,5	26,2	28,8						
		6 C	85	110	25	20,2	50,4	9,6	24,0	26,4						
		7 2CK	110	130	20	17,1	34,2	8,1	16,3	17,9						

Las Martiñeta	1 Ap	0	25	25	24,8	62,1	11,8	29,5	32,5	118,7	1,5	1,2	21,6	28,3	23,5
	2 A	25	50	25	22,7	56,8	10,8	27,0	29,8						
	3 AC1	50	65	15	20,7	31,0	9,8	14,8	16,3						
	4 AC2	65	88	23	17,9	41,3	8,5	19,6	21,6						
	5 2CK1	88	108	20	17,7	35,4	8,4	16,8	18,5						
	6 2CK2	108	153	45	14,2	63,9	6,8	30,4	33,5						
La Maria Luisz-Natrabol Petrc	1 An	0	18	18	27,9	50,3	13,3	23,9	26,3	138,0	1,4	1,2	18,2	22,9	20,6
	2 Ecn	18	27	9	22,2	19,9	10,6	9,5	10,5						
	3 Bssn	27	46	19	35,9	68,2	17,1	32,5	35,8						
	4 Bkn	46	62	16	35,8	57,4	17,1	27,3	30,1						
	5 BCcn	62	80	18	35,6	64,1	16,9	30,5	33,6						
	6 2CKm	80	86	6	5,9	3,5	2,8	1,7	1,8						
Olavarría	1 Ap	0	14	14	31,7	44,4	15,1	23,3	115,1	1,4	1,2	16,1	20,3	20,5	
	2 A	14	25	11	32,1	35,3	15,3	16,8	18,5						
	3 BA	25	32	7	31,1	21,8	14,8	10,4	11,4						
	4 BK1	32	47	15	34,5	51,7	16,4	24,6	27,1						
	5 BK2	47	66	19	34,9	66,3	16,6	31,6	34,7						
	6 2CKm	66+			5,9	0,0	2,8	0,0	0,0						
La Guardia de Natracualfs Tir	1 An	0	15	15	20,9	31,4	10,0	14,9	16,5	133,7	1,5	1,2	10,7	14,3	25,4
	2 Bnz	15	50	35	38,7	135,4	18,4	64,4	70,9						
	3 BCKmm	50	90	40	22,1	88,4	10,5	42,1	46,3						
	4 CKn	90+			26,0	0,0	12,4	0,0	0,0						
Cruzada	1 Aprn	0	13	13	20,0	25,9	9,5	12,3	13,6	62,3	1,5	1,2	9,2	11,8	21,8
	2 Anz	13	23	10	21,4	21,4	10,2	10,2	11,2						
	3 Bnz	23	46	23	31,2	71,7	14,8	34,1	37,5						
	4 2CKm	46+			24,9	0,0	11,9	0,0	0,0						
Tres Arroyos	1 Ap	0	22	22	24,5	54,0	11,7	25,7	28,3	108,0	1,6	1,2	18,0	24,6	26,7
	2 A	22	32	10	25,8	25,8	12,3	12,3	13,5						
	3 Bt	32	70	38	33,2	126,3	15,8	60,1	66,2						
	4 2CKm	70+			5,9	0,0	2,8	0,0	0,0						
Elena	1 An	0	14	14	19,9	27,9	9,5	13,3	14,6	96,1	1,5	1,2	10,0	12,7	21,3
	2 Bkn	14	41	27	28,7	77,6	13,7	36,9	40,7						
	3 BCKn	41	76	35	22,3	78,0	10,6	37,1	40,9						
	4 2CKm	76+			23,3	0,0	11,1	0,0	0,0						
Guillermo	1 A	0	28	28	25,3	70,8	12,0	33,7	37,1	102,5	1,5	1,2	25,1	32,3	22,3
	2 AC	28	43	15	20,7	31,1	9,9	14,8	16,3						
	3 2BT	43	56	13	35,6	46,3	16,9	22,0	24,2						
	4 2Bckm	56	84	28	16,9	47,4	8,1	22,6	24,9						
	5 3CKm	84+			5,9	0,0	2,8	0,0	0,0						

Unidades cartográficas analizadas y las unidades taxonómicas que las conforman.

Tipo de Unidad cartográfica		SERIE 1		SERIE 2		SERIE 3		SERIE 4		SERIE 5		SERIE 6		SERIE 7		POK1	POK2	POK3	POK4	POK5	POK6	POK7
Asociación	Av5	Avecucho	Cobo	General Guido	Suelos indiferenciados de Bajos											60	40	30	0	0	0	0
Completio	Av6	Avecucho		Rauch	Cobo											40	30	30	0	0	0	0
Completio	Av7	Avecucho		Baucher	Chelero				Napalefú							50	25	25	0	0	0	0
Completio	Az41	Azul		Azul	Chelero				Santa Luisa							40	40	10	10	0	0	0
Completio	Az46	Azul plana		Tandil plana	Estancia Adileco											40	30	15	15	0	0	0
Asociación	Ba1	Balcarse		Mar del Plata	Cinco Cerros											60	30	20	0	0	0	0
Completio	Ba14	Balcarse fuertemente ondulada		Mar del Plata, fuertemente ondulada	Sierra de los Padres											60	20	20	0	0	0	0
Completio	Ba16	Balcarse fuertemente inclinada		Cinco Cerros	Sierra de los Padres											40	40	20	0	0	0	0
Completio	Ba17	Balcarse fuertemente inclinada		Mar del Plata fuertemente inclinada	Cinco Cerros fuertemente inclinada											40	30	30	0	0	0	0
Completio	Ba18	Balcarse, plana		Mar del Plata, plana	Est. Adileco				Santa Luisa							40	30	15	15	0	0	0
Asociación	Ba13	Balcarse ligeramente inclinada		Balcarse moderadamente bien drenada	Cinco Cerros											50	30	20	0	0	0	0
Completio	Ba14	Balcarse, moderada inclinación		Mar del Plata, moderada inclinación	Cinco Cerros											60	40	0	0	0	0	0
Completio	Ba16	Balcarse moderadamente bien drenada		Blanca Chica	Napalefú											60	30	10	0	0	0	0
Completio	BCh	Blanca Chica		Blanca Chica	La Delicia											100	0	0	0	0	0	0
Completio	BCh1	Blanca Chica		La Nueva Esperanza	La Delicia											45	35	20	0	0	0	0
Completio	BCh2	Blanca Chica		La Nueva Esperanza	La Nueva Esperanza											70	30	0	0	0	0	0
Asociación	BCh3	Blanca Chica		La Nueva Esperanza	La Escocia											70	20	10	0	0	0	0
Completio	BCh6	Blanca Chica		La Nueva Esperanza	Sierra Chica											50	30	20	0	0	0	0
Completio	CBu	Gronel Bunge		Estancia Adileco	Estancia Adileco											80	20	0	0	0	0	0
Completio	CBu1	Gronel Bunge		Las Margaritas	Las Hermanas											50	30	20	0	0	0	0
Completio	CC11	Cinco Cerros		Mar del Plata fuertemente inclinada	Balcarse fuertemente inclinada				Sierra de los Padres							40	20	20	0	0	0	0
Completio	CC13	Cinco Cerros		Mar del Plata fuertemente inclinada	Sierra de los Padres											45	35	20	0	0	0	0
Completio	CC8	Cinco Cerros		Balcarse	Balcarse											40	40	20	0	0	0	0
Completio	CC9	Cinco Cerros		Azul	La Alianza											40	40	20	0	0	0	0
Completio	Ch	Chelero		General Guido	Tandilfo				Tandilfo							40	40	20	0	0	0	0
Completio	Ch1	Chelero		General Guido	Tandilfo				Tandilfo							40	20	20	0	0	0	0
Completio	Ch15	Chelero		Rauch	General Guido				Tandilfo							40	30	15	10	0	0	0
Completio	Ch16	Chelero		General Guido	General Guido				Tandilfo							50	20	20	10	0	0	0
Completio	Ch8	Chelero		General Guido	General Guido				Tandilfo							100	0	0	0	0	0	0
Grupo indiferenciado	Co11	Completio de suelos sodicos, mal drenados, Pearson														100	0	0	0	0	0	0
Grupo indiferenciado	Co206	Completio de suelos alcalinos hidromorficos, Arroyo del Azul														100	0	0	0	0	0	0
Grupo indiferenciado	Co46EP	Completio de suelos alcalinos hidromorficos, Arroyo El Plata														100	0	0	0	0	0	0
Grupo indiferenciado	Co46E	Completio de suelos alcalinos, angulosos, Arroyo El Plata														100	0	0	0	0	0	0
Grupo indiferenciado	Co46B	Completio de suelos alcalinos, angulosos, Arroyo Los Hueros														100	0	0	0	0	0	0
Grupo indiferenciado	Co46A	Completio de suelos alcalinos hidromorficos, Az. Napalique														100	0	0	0	0	0	0
Grupo indiferenciado	Co46T2	Completio de suelos, salinos-alcalinos, angulosos, Az. Napalique 1														100	0	0	0	0	0	0
Grupo indiferenciado	Co46W	Completio de suelos alcalinos hidromorficos, Arroyo Videla														100	0	0	0	0	0	0
Grupo indiferenciado	CoG	Completio de suelos hidromorficos, La Guardia del Zorro														50	30	20	10	0	0	0
Completio	Cr	Cuchiri		Ayacucho	Martin Colman				Las Margaritas							50	30	20	10	0	0	0
Completio	Cr1	Guazda		Tecu	Eina											75	25	0	0	0	0	0
Completio	EaA	Estancia Adileco		Laprida	La Escocia				Napalefú							40	30	30	0	0	0	0
Completio	EaA3	Estancia Adileco		La Nueva Esperanza	La Nueva Esperanza				Trés Esquinas							50	40	10	0	0	0	0
Completio	EaA4	Estancia Adileco		La Nueva Esperanza	Trés Esquinas											40	30	30	0	0	0	0
Completio	EaA5	Estancia Adileco		La Nueva Esperanza	Trés Esquinas											40	30	30	0	0	0	0

Capacidad de uso, IP, fragilidad física, química y biológica para las unidades cartográficas analizadas.

Tipo de Unidad Cartográfica	Símbolo	IP	Fragilidad Física	Fragilidad Química	Fragilidad Biológica	Água útil (mm/m)	Cap de Uso	Clase	Subclase
Asociación	Ay5	61	2,38	1,20	0,15	163	IIIws	III	ws
Asociación	Ay6	32	2,97	1,20	0,20	153	VIws	VI	ws
Complejo	Ay7	51	2,46	1,20	0,16	160	IVws	IV	ws
Asociación	Az41	49	2,02	1,31	0,15	135	IVws	IV	ws
Complejo	Az46	64	1,67	1,20	0,15	170	IIIws	III	ws
Complejo	Bal	60	1,59	1,20	0,15	99	IIe	II	e
Asociación	Bal14	47	1,59	1,20	0,15	99	IVes	IV	es
Complejo	Bal26	39	1,41	1,20	0,14	72	IVes	IV	es
Complejo	Bal27	49	1,71	1,20	0,15	101	IVes	IV	es
Complejo	Bal28	69	1,71	1,20	0,15	158	IIIws	III	ws
Asociación	Bal3	53	1,50	1,20	0,15	91	IIe	II	e
Complejo	Bal4	66	1,54	1,20	0,14	113	IIIes	III	es
Complejo	Bal6	53	1,51	1,20	0,15	111	IIIws	III	ws
Consociación	BCh	53	1,87	1,20	0,19	110	IIIe	III	e
Complejo	BCh1	40	1,79	1,20	0,15	105	IVws	IV	ws
Consociación	BCh2	44	1,87	1,20	0,17	110	IVws	IV	ws
Asociación	BCh3	42	1,97	1,20	0,17	111	IVws	IV	ws
Complejo	BCh6	39	1,85	1,20	0,16	101	IVws	IV	ws
Consociación	CBu	15	4,58	2,15	0,54	93	VIws	VI	ws
Complejo	CBu1	4	4,58	2,03	0,57	116	VIIws	VII	ws
Complejo	CC11	44	1,50	1,20	0,14	79	IVes	IV	es
Complejo	CC13	37	1,40	1,20	0,13	86	IVes	IV	es
Complejo	CC8	42	1,46	1,20	0,14	74	IVes	IV	es
Complejo	CC9	40	1,40	1,20	0,14	91	IVes	IV	es
Complejo	Che	12	3,67	1,67	0,23	184	VIws	VI	ws
Complejo	Che1	16	3,37	1,67	0,20	139	VIws	VI	ws
Complejo	Che15	13	2,12	1,14	0,16	143	VIws	VI	ws

Complejo	Che8	10	3,64	1,79	0,22	146	VIWS	VI	WS
Grupo indiferenciado	Co11	15	3,51	1,20	0,20	134	VIWS	VI	WS
Grupo indiferenciado	Co206	8	3,51	1,20	0,20	134	VIWS	VII	WS
Grupo indiferenciado	CoAoEP	9	3,51	1,20	0,20	134	VIWS	VI	WS
Grupo indiferenciado	CoAoHs	9	3,51	1,20	0,20	134	VIWS	VII	WS
Grupo indiferenciado	CoAoTa	9	3,51	1,20	0,20	134	VIWS	VII	WS
Grupo indiferenciado	CoAoTa1	8	4,05	1,20	1,19	134	VIWS	VII	WS
Grupo indiferenciado	CoAoVi	11	4,05	1,20	1,19	134	VIWS	VI	WS
Grupo indiferenciado	CoGz	8	5,20	1,20	0,95	134	VIWS	VII	WS
Complejo	Cri	40	2,01	1,20	0,14	153	IVWS	IV	WS
Complejo	Cru	7	3,11	1,44	0,61	65	VIIWS	VII	WS
Consociación	EaA	63	2,67	1,20	0,21	197	IIIW	III	W
Complejo	EaA3	39	2,33	1,20	0,16	182	IVWS	IV	WS
Complejo	EaA4	46	1,83	5,13	0,13	169	IVWS	IV	WS
Complejo	EaA5	51	2,15	1,20	0,16	170	IIIWS	III	WS
Consociación	Eg	68	2,30	1,20	0,15	165	IIIWS	III	WS
Asociación	Eg1	44	2,22	1,20	0,16	100	IVWS	IV	WS
Complejo	Eg2	43	2,69	1,20	0,18	173	IVWS	IV	WS
Complejo	Eg3	55	2,16	1,20	0,15	204	IVWS	IV	WS
Complejo	Ele	28	3,88	1,79	0,50	124	VIWS	VI	WS
Consociación	ETo	56	3,05	1,20	0,26	145	IIIWS	III	WS
Asociación	ETo1	50	2,99	1,20	0,25	149	IIIWS	III	WS
Asociación	ETo2	44	2,85	1,20	0,23	130	IVWS	IV	WS
Consociación	ETo3	46	2,89	1,20	0,24	135	IVWS	IV	WS
Asociación	EY	17	2,53	1,20	0,19	112	VIWS	VI	WS
Asociación	EY1	29	1,96	1,20	0,16	84	VIWS	VI	WS
Consociación	GG2	14	3,32	1,20	0,24	188	VIWS	VI	WS
Complejo	GG25	16	3,38	1,43	0,22	155	VIWS	VI	WS
Complejo	GG26	21	3,14	1,31	0,20	188	VIWS	VI	WS
Complejo	GG28	28	3,14	1,31	0,21	177	VIWS	VI	WS
Miscelaneas	L	0	0,00	0,00	0,00	0	-		
Complejo	LA	38	1,20	1,20	0,13	69	IVes	IV	es
Complejo	LA1	31	1,19	1,20	0,13	63	IVes	IV	es
Complejo	LA2	44	1,21	1,20	0,13	59	IVes	IV	es
Complejo	LD	40	1,37	1,20	0,13	92	IVes	IV	es

Complejo	LD4	33	1,83	1,20	0,16	107 IVws	IV	ws
Consociación	LD5	43	1,52	1,20	0,13	113 IIIws	III	ws
Complejo	LD9	35	1,70	1,20	0,14	92 IVes	IV	es
Consociación	LE2	3	3,77	1,20	0,91	116 VIIws	VII	ws
Asociación	LE3	10	3,58	1,20	0,72	123 VIws	VI	ws
Asociación	LE6	7	3,42	1,20	0,70	116 VIIws	VII	ws
Complejo	LES	14	2,94	1,20	0,26	94 VIws	VI	ws
Complejo	LES15	13	2,91	1,20	0,24	95 VIws	VI	ws
Complejo	LES2	17	2,93	1,20	0,25	104 VIws	VI	ws
Complejo	LES4	6	3,14	1,20	0,24	105 VIIws	VII	ws
Complejo	LES5	19	2,59	1,20	0,20	135 VIws	VI	ws
Complejo	LES6	17	2,66	1,20	0,18	112 VIws	VI	ws
Complejo	LES7	13	3,38	1,55	0,21	152 VIws	VI	ws
Asociación	LGZ	23	3,75	1,20	0,50	157 VIws	VI	ws
Complejo	LHe5	8	4,52	1,79	0,80	106 VIIws	VII	ws
Asociación	Llo	63	2,82	1,08	0,22	124 IIIes	III	es
Complejo	LNE	24	2,22	1,20	0,18	100 VIws	VI	ws
Complejo	LNE4	41	2,11	1,20	0,15	161 IVws	IV	ws
Asociación	Ay4	38	1,81	1,20	0,15	120 IVws	IV	ws
Complejo	LT12	34	3,84	1,55	0,42	132 IVws	IV	ws
Miscelaneas	M	0	0,00	0,00	0,00	0 -		
Consociación	MP	75	1,86	1,20	0,15	125 Ite	II	e
Complejo	MP1	74	1,81	1,20	0,14	148 IIw	II	w
Complejos	MP10	72	1,63	1,20	0,14	124 Ite	II	e
Complejo	MP11	75	1,63	1,20	0,14	121 Ite	II	e
Complejo	MP12	71	1,63	1,20	0,14	148 Ite	II	e
Asociación	MP16	65	1,69	1,20	0,14	125 IIIes	III	es
Consociación	MP17	77	1,81	1,20	0,14	138 IVe	IV	e
Consociación	MP18	72	1,75	1,20	0,15	123 IIIes	III	es
Consociación	MP2	80	1,72	1,20	0,14	129 Ite	II	e
Consociación	MP26	81	1,81	1,20	0,14	138 IIIe	III	e

Consignación	MP3	72	1,72	1,20	0,14	129 lves	IV	es
Complejo	MP37	71	1,73	1,20	0,15	112 lles	II	es
Complejo	MP38	68	2,00	1,20	0,15	112 lle	II	es
Asociación	MP4	78	1,95	1,20	0,15	125 lle	II	es
Consignación	MP5	84	1,81	1,20	0,14	138 lle	II	es
Complejo	MP6	51	1,42	1,20	0,13	92 lves	IV	es
Complejo	MP8	78	1,68	1,20	0,14	125 lle	II	es
Complejo	MP9	53	1,45	1,20	0,14	94 lles	III	es
Asociación	Mt	44	2,93	1,20	0,23	153 lVws	IV	ws
Consignación	Np	41	1,34	1,20	0,10	202 Vlw	VI	w
Complejo	Ola1	48	1,39	1,20	0,13	109 lles	III	es
Complejo	Ola2	58	1,56	1,20	0,14	149 lles	III	es
Complejo	Ola4	52	1,78	1,20	0,15	129 lles	III	es
Complejo	Ola5	54	1,70	1,20	0,14	115 lles	III	es
Asociación	Ola7	49	1,47	1,20	0,13	119 lles	III	es
Complejo	Ola9	34	1,20	1,20	0,12	84 lves	IV	es
Complejo	Que	18	2,62	1,20	0,23	134 Vlws	VI	ws
Miscelaneas	R	0	0,00	0,00	0,00	0 -		
Asociación	Rch	18	3,14	1,55	0,20	170 Vlws	VI	ws
Complejo	Sal2	38	2,98	1,55	0,30	152 lVws	IV	ws
Consignación	Sal3	57	1,52	1,20	0,13	184 lllw	III	w
Consignación	SCh	28	1,52	1,20	0,13	65 lVws	IV	ws
Complejo	SGb13	9	3,76	1,20	0,47	128 Vlws	VII	ws
Consignación	SP1	11	0,16	1,20	0,07	23 Vlles	VIII	es
Complejo	SP2	22	0,98	1,20	0,11	44 Vles	VI	es
Complejo	SP5	17	0,74	1,20	0,10	37 Vles	VI	es

Consociación	Ta20	77	1,86	1,20	0,15	181 lle	II	ee
Consociación	Ta22	69	1,86	1,20	0,15	181 lve	IV	ee
Consociación	Ta24	61	1,92	1,20	0,15	148 lles	III	ees
Asociación	Ta25	61	1,72	1,20	0,15	147 lle	II	ee
Complejo	Ta3	42	1,82	1,20	0,43	135 lVws	IV	ws
Complejo	Ta30	61	1,61	1,20	0,14	165 lllws	III	ws
Asociación	Ta31	65	1,64	1,20	0,14	170 lllles	III	ees
Asociación	Ta32	53	1,89	1,20	0,14	162 lVws	IV	ws
Complejo	Ta33	69	1,69	1,20	0,14	182 llw	III	w
Consociación	Ta9	63	1,67	1,20	0,14	169 lVes	IV	ees
Complejo	Tdf1	23	3,23	1,37	0,20	183 Vlws	VI	ws
Complejo	TEs4	64	2,08	1,20	0,16	187 llw	III	w
Complejo	TEs5	66	2,06	1,20	0,16	174 llw	II	w
Asociación	VD	26	2,98	1,08	0,33	134 Vlws	VI	ws
Asociación	Vl3	16	3,21	1,43	0,31	189 lVws	IV	ws

Índice de fragilidad a la degradación de la estabilidad (IFDE) calculados.

Tipo de Unidad Cartográfica	Símbolo	Fragilidad Fís	Valor codificado Frag Fís	Valor normalizado Frag Fís	Fragilidad Qui	Valor codificado Fragilidad Qui	Valor normalizado Fragilidad Qui	Fragilidad Bio	Valor codificado Fragilidad Bio	Valor normalizado Fragilidad Bio	INDICADOR IFDE
Asociación	Ay5	2.38	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.15	0.30	1.00	0.00
Asociación	Ay6	2.97	2.97	0.91	1.20	1.50	1.00	0.20	0.30	1.00	0.09
Complejo	Ay7	2.46	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.16	0.30	1.00	0.00
Asociación	Az41	2.02	2.50	1.00	1.31	1.50	1.00	0.15	0.30	1.00	0.00
Complejo	Az46	1.67	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.15	0.30	1.00	0.00
Complejo	Bal	1.59	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.15	0.30	1.00	0.00
Asociación	Bal14	1.59	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.15	0.30	1.00	0.00
Complejo	Bal26	1.41	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.14	0.30	1.00	0.00
Complejo	Bal27	1.71	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.15	0.30	1.00	0.00
Complejo	Bal28	1.71	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.15	0.30	1.00	0.00
Asociación	Bal3	1.50	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.15	0.30	1.00	0.00
Complejo	Bal4	1.54	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.14	0.30	1.00	0.00
Complejo	Bal6	1.51	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.15	0.30	1.00	0.00
Consociación	BCh	1.87	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.15	0.30	1.00	0.00
Complejo	BCh1	1.79	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.15	0.30	1.00	0.00
Consociación	BCh2	1.87	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.17	0.30	1.00	0.00
Asociación	BCh3	1.97	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.17	0.30	1.00	0.00
Complejo	BCh6	1.85	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.16	0.30	1.00	0.00
Consociación	Cbu	4.58	4.58	0.58	2.15	2.15	0.92	0.54	0.54	0.66	0.40
Complejo	Cbu1	4.58	4.58	0.58	2.03	2.03	0.94	0.57	0.57	0.62	0.40
Complejo	CC11	1.50	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.14	0.30	1.00	0.00
Complejo	CC13	1.40	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.13	0.30	1.00	0.00
Complejo	CC8	1.46	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.14	0.30	1.00	0.00
Complejo	CC9	1.40	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.14	0.30	1.00	0.00
Complejo	Che	3.67	3.67	0.77	1.67	1.67	0.98	0.23	0.30	1.00	0.21
Complejo	Che1	3.37	3.37	0.83	1.67	1.67	0.98	0.20	0.30	1.00	0.16
Complejo	Che15	2.51	2.51	1.00	1.14	1.50	1.00	0.16	0.30	1.00	0.00
Complejo	Che8	3.64	3.64	0.77	1.79	1.79	0.97	0.22	0.30	1.00	0.21
Grupo indiferenciado	Co11	3.51	3.51	0.80	1.20	1.50	1.00	0.20	0.30	1.00	0.18
Grupo indiferenciado	Co206	3.51	3.51	0.80	1.20	1.50	1.00	0.20	0.30	1.00	0.18

Grupo Indiferendado	CoA0EP	3.51	3.51	0.80	1.20	1.50	1.00	0.20	0.30	1.00	0.18
Grupo Indiferendado	CoA0HS	3.51	3.51	0.80	1.20	1.50	1.00	0.20	0.30	1.00	0.18
Grupo Indiferendado	CoA0Ta	3.51	3.51	0.80	1.20	1.50	1.00	0.20	0.30	1.00	0.18
Grupo Indiferendado	CoA0T1	4.05	4.05	0.69	1.20	1.50	1.00	1.19	1.00	0.00	0.33
Grupo Indiferendado	CoA0Vi	4.05	4.05	0.69	1.20	1.50	1.00	1.19	1.00	0.00	0.33
Grupo Indiferendado	CoGz	5.20	5.20	0.46	1.20	1.50	1.00	0.95	0.95	0.07	0.53
Complejo	Cri	2.01	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.14	0.30	1.00	0.00
Complejo	Cru	3.50	3.50	0.80	1.44	1.50	1.00	0.61	0.61	0.56	0.20
Consociación	EaA	2.67	2.67	0.97	1.20	1.50	1.00	0.21	0.30	1.00	0.03
Complejo	EaA3	2.33	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.16	0.30	1.00	0.00
Complejo	EaA4	2.32	2.50	1.00	5.13	5.13	0.57	0.13	0.30	1.00	0.02
Complejo	EaA5	2.15	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.16	0.30	1.00	0.00
Consociación	Eg	2.30	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.15	0.30	1.00	0.00
Asociación	Eg1	2.22	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.16	0.30	1.00	0.00
Complejo	Eg2	2.69	2.69	0.96	1.20	1.50	1.00	0.18	0.30	1.00	0.03
Complejo	Eg3	2.16	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.15	0.30	1.00	0.00
Complejo	Ele	3.88	3.88	0.72	1.79	1.79	0.97	0.50	0.50	0.72	0.26
Consociación	Eto	3.05	3.05	0.89	1.20	1.50	1.00	0.26	0.30	1.00	0.10
Asociación	Eto1	2.99	2.99	0.90	1.20	1.50	1.00	0.25	0.30	1.00	0.09
Asociación	Eto2	2.85	2.85	0.93	1.20	1.50	1.00	0.23	0.30	1.00	0.06
Asociación	Eto3	2.89	2.89	0.92	1.20	1.50	1.00	0.24	0.30	1.00	0.07
Asociación	Ey	2.53	2.53	0.99	1.20	1.50	1.00	0.19	0.30	1.00	0.00
Asociación	Ey1	2.50	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.16	0.30	1.00	0.00
Consociación	GG2	3.32	3.32	0.84	1.20	1.50	1.00	0.24	0.30	1.00	0.15
Complejo	GG25	3.38	3.38	0.82	1.43	1.50	1.00	0.22	0.30	1.00	0.16
Complejo	GG26	3.14	3.14	0.87	1.31	1.50	1.00	0.20	0.30	1.00	0.11
Complejo	GG28	3.14	3.14	0.87	1.31	1.50	1.00	0.21	0.30	1.00	0.11
Complejo	LA	1.20	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.13	0.30	1.00	0.00
Complejo	LA1	1.19	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.13	0.30	1.00	0.00
Complejo	LA2	1.21	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.13	0.30	1.00	0.00
Complejo	LD	1.37	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.13	0.30	1.00	0.00
Complejo	LD4	1.83	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.16	0.30	1.00	0.00

Complejo	MP9	1.45	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.14	0.30	1.00	0.00
Asociación	Mt	2.93	2.93	0.91	1.20	1.50	1.00	0.23	0.30	1.00	0.08
Consociación	Np	1.34	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.10	0.30	1.00	0.00
Complejo	Ola1	1.39	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.13	0.30	1.00	0.00
Complejo	Ola2	1.56	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.14	0.30	1.00	0.00
Complejo	Ola4	1.78	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.15	0.30	1.00	0.00
Complejo	Ola5	1.70	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.14	0.30	1.00	0.00
Asociación	Ola7	1.47	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.13	0.30	1.00	0.00
Complejo	Ola9	1.20	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.12	0.30	1.00	0.00
Complejo	Que	2.62	2.62	0.98	1.20	1.50	1.00	0.23	0.30	1.00	0.02
Asociación	Rch	3.23	3.23	0.85	1.55	1.55	0.99	0.20	0.30	1.00	0.13
Complejo	Sa12	2.98	2.98	0.90	1.55	1.55	0.99	0.30	0.30	1.00	0.09
Consociación	Sa13	1.52	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.13	0.30	1.00	0.00
Consociación	Sch	1.52	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.13	0.30	1.00	0.00
Complejo	Sgb13	3.76	3.76	0.75	1.20	1.50	1.00	0.07	0.47	0.76	0.24
Consociación	SP1	0.16	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.07	0.30	1.00	0.00
Complejo	SP2	0.98	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.11	0.30	1.00	0.00
Complejo	SP5	0.74	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.10	0.30	1.00	0.00
Consociación	Ta20	1.86	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.15	0.30	1.00	0.00
Consociación	Ta22	1.86	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.15	0.30	1.00	0.00
Consociación	Ta24	1.92	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.15	0.30	1.00	0.00
Asociación	Ta25	1.72	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.15	0.30	1.00	0.00
Complejo	Ta3	1.82	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.43	0.43	0.81	0.01
Complejo	Ta30	1.61	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.14	0.30	1.00	0.00
Asociación	Ta31	1.64	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.14	0.30	1.00	0.00
Asociación	Ta32	1.89	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.14	0.30	1.00	0.00
Complejo	Ta33	1.69	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.14	0.30	1.00	0.00
Consociación	Ta9	1.67	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.14	0.30	1.00	0.00
Complejo	Tdf1	3.23	3.23	0.85	1.37	1.50	1.00	0.20	0.30	1.00	0.00
Complejo	TEs4	2.08	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.16	0.30	1.00	0.00
Complejo	TEs5	2.06	2.50	1.00	1.20	1.50	1.00	0.16	0.30	1.00	0.00
Asociación	VD	2.98	2.98	0.90	1.08	1.50	1.00	0.33	0.33	0.96	0.09
Asociación	V13	3.21	3.21	0.86	1.43	1.50	1.00	0.31	0.31	0.98	0.13

Resultados del software ADOPT.



ADOPT
PREDICT. INFORM. ENGAGE.

The adoption and diffusion outcome prediction tool

Adoption report for:
Cultivos de granos perennes (Kernza)

Report Authors:
Mariano Tomas Cassani

29/01/2021

For more information about ADOPT contact adopt@csiro.au



Project Details

MODEL

Smallholder ADOPT Model (beta)

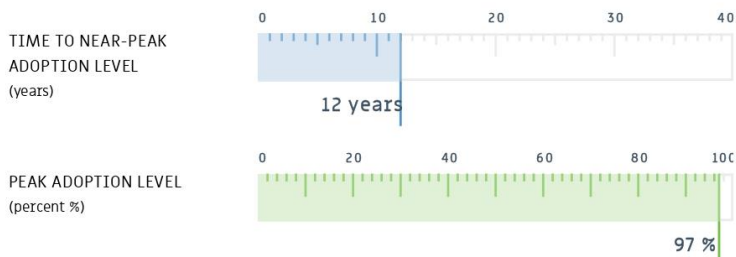
YOUR INNOVATION

Estos nuevos sistemas de producción de granos perennes imitarán el comportamiento de la naturaleza, donde la erosión del suelo llegará a ser casi nula, disminuirá la contaminación por agroquímicos junto con una disminución de la dependencia de los combustibles fósiles. Este agroecosistema, por lo tanto, mantiene su propia condición, se desarrolla con la energía del sol, recicla los nutrientes, sin ningún gasto para el planeta o la gente.

YOUR POPULATION

Pequeños, medianos y grandes productores del partido de Azul, Buenos Aires, Argentina.

Adoption Level



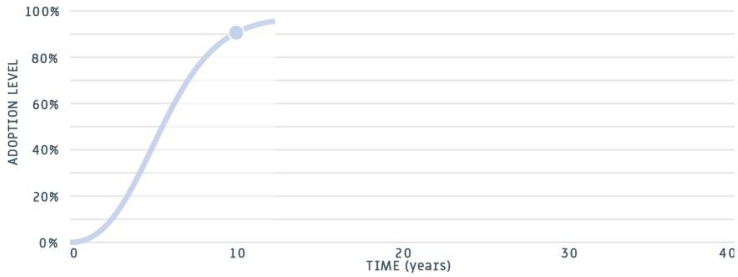
Predicted adoption levels



NOTES: The predictions of Peak Adoption Level and Time to Peak Adoption Level are numeric outputs that are provided to assist with insight and understanding and like any forecasts should be used with caution. Time to Near Peak Adoption represents the time to 99% of the maximum predicted adoption level.

Adoption level S-Curve

The following chart shows how the level of adoption in the relevant population of farmers changes over time.



Yearly Adoption Levels

Year	Adoption %
1	1
2	6
3	15
4	27
5	42
6	56
7	69
8	79
9	86
10	91
11	94
12	95

(Peak Adoption)

Changing the adoption levels

Many of the factors can be changed by activities such as extension. Based on the data entered, the ADOPT model suggests that changing the following factors would have the biggest effect on adoption.

Changing the peak adoption level

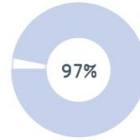
MOST SENSITIVE QUESTION

- 16 Income/productivity benefit in years that it is used

To what extent is the use of the innovation likely to affect the income generation or food production of the farm or household in the years that it is used?

YOUR RESPONSE

No income/productivity advantage or disadvantage in years that it is used



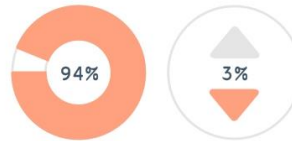
STEP UP RESPONSE

Small income/productivity advantage in years that it is used



STEP DOWN RESPONSE

Small income/productivity disadvantage in years that it is used



Changing the time to peak adoption level

MOST SENSITIVE QUESTION

- 12 Relevant existing skills & knowledge

What proportion of the target households will need to develop substantial new skills and knowledge to use the innovation?

YOUR RESPONSE

A minority will need new skills and knowledge



STEP UP RESPONSE

Almost none will need new skills or knowledge



STEP DOWN RESPONSE

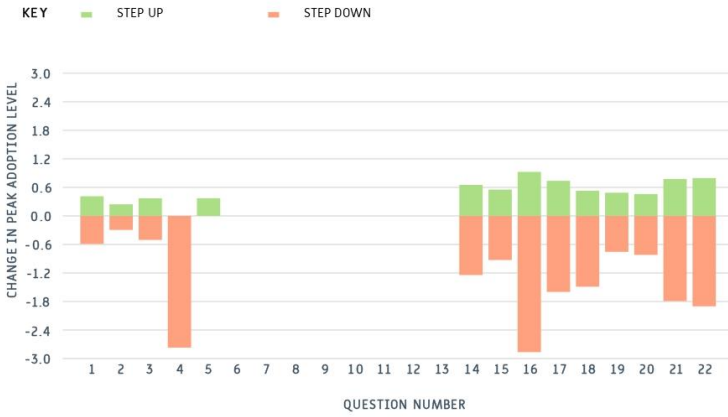
About half will need new skills and knowledge



Sensitivity Analysis

The following charts show the effects on Peak Adoption Level and Time to Peak Adoption of single step changes up and down for all questions.

Peak level, sensitivity analysis

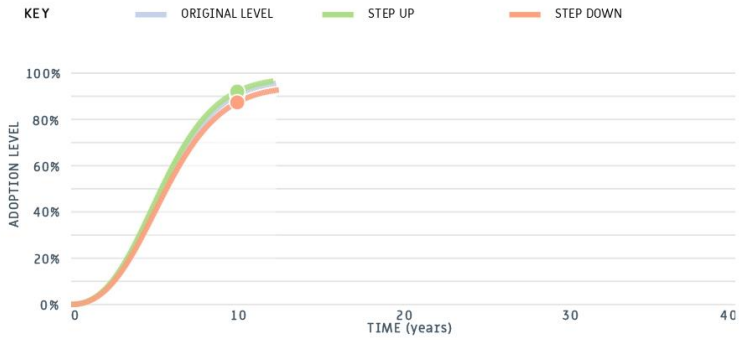


Time to peak, sensitivity analysis

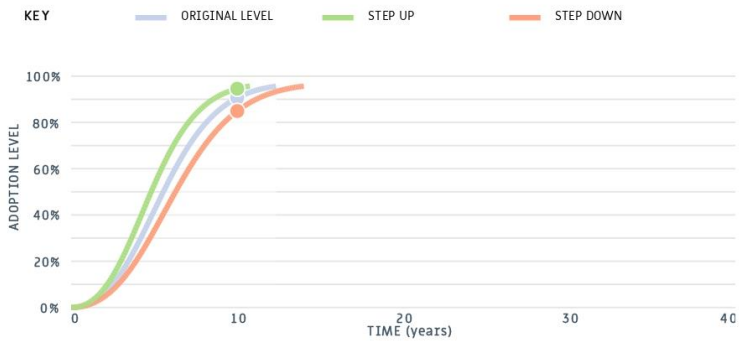


S-Curve Sensitivity

The following chart shows how the S-Curve is predicted to change when a single step change is made to the most sensitive question(s) with respect to Peak Adoption Level



The following chart shows how the S-Curve is predicted to change when a single step change is made to the most sensitive question(s) with respect to Time to Near Peak Adoption.



Responses

Question	Response	Reasoning
Relative Advantage for the Population		
1. Income/productivity orientation	A majority have maximising income/productivity as a strong motivation	La mayoría de los productores busca aumentar su producción con el menor costo posible.
2. Local community benefit orientation	A minority have benefits to their community/village as a strong motivation	Solo una minoría se da cuenta de lo importante que es el ingreso y circulación de dinero dentro de su pueblo o ciudad. Es una gran costumbre de los productores que invertir en la ciudad de Buenos Aires, y una costumbre en Argentina guardar el dinero fuera del circuito bancario o comprar moneda extranjera como atesoramiento. Sin embargo también existen productores que reinvierten en sus comunidades. Asimismo no existe la conciencia ambiental ya que no se habla ni educa de las consecuencias generadas por ellos mismos como los distintos procesos de degradación de las tierras y la contaminación por agroquímicos que producen consecuencias en sus mismas comunidades.
3. Risk orientation	About half have minimising production risk as a strong motivation	
4. Enterprise scale	Almost all of the target households depend highly on the enterprise(s)	La empresa agropecuaria representa la principal fuente de ingresos de la mayoría de los productores.
5. Management horizon	Almost none have a long-term management horizon	En la Argentina no se puede planificar a largo plazo debido a los vaivenes políticos y económicos, y se

		le suma las variables climáticas de los años ni o y ni a (ENSO).
6. Short term constraints	A majority currently have a severe short-term financial constraint	En la Argentina no hay subsidios a la producción agropecuaria, la tasa de intereses son muy altas debido a la gran inflación. Los precios de los insumos están dolarizados y nuestra moneda el Peso sufre constantes devaluaciones.

Learnability Characteristics of the Innovation

7. Trialable	Easily trialable	Los cultivos de granos perennes, en este caso el Kernza, puede ser fácilmente probado en algún campo y luego a futuro que se traslade en campos de mayor extensión. Sin embargo todavía se encuentra en etapas de experimentación.
8. Innovation complexity	Slightly difficult to evaluate effects of use due to complexity	Al ser un cultivo, se prevé que sea introducido en zonas donde actualmente sean de cultivos. Si bien es un sistema diferente a los cultivos anuales, no sería difícil poder evaluar sus efectos.
9. Observability	Easily observable	Al ser un nuevo sistema de producción, los cultivos perennes como el Kernza son fácilmente observable en comparación a los cultivos anuales.

Learnability of Population

10. Advisory support	A minority use a relevant advisor	Según el Censo Nacional Agropecuario 2018, en la provincia de Buenos Aires, solo el 35% de los establecimientos agrícolas tienen o cuentan con ayuda profesional como pueden ser ingenieros agrónomos contratados, de asesoramiento privado, de organismos estatales o de consorcios de productores.
11. Group involvement	A minority are involved with a group that discusses new farming practices	Si bien existen varios grupos de asociaciones de productores, es una minoría a la que participa en ellos.
12. Relevant existing skills & knowledge	A minority will need new skills and knowledge	No se requieren demasiadas nuevas habilidades o conocimientos para implementar un sistema de producción perenne por parte de los productores.
13. Innovation awareness	It has never been used or trialed in their local area	Estos sistemas de producción jamás fueron probados en la Argentina.

Relative Advantage of the Innovation

14. Relative upfront cost of innovation	Minor initial investment	Los sistemas perennes y en este caso el Kernza están en proceso de experimentación y jamás fueron cultivados en Argentina. Suponiendo que se popularicen y sean accesibles en el país, el único costo adicional sería cambiar las semillas y algunos procesos del manejo del cultivo. Por lo que su costo inicial sería bajo.
15. Reversibility of innovation	Easily reversed	Fácilmente se pueden revertir.
16. Income/productivity benefit in years that it is used	No income/productivity advantage or disadvantage in years that it is used	No se puede hablar de ingreso o productividad ya que todavía no se cultivó en Argentina, y en EEUU

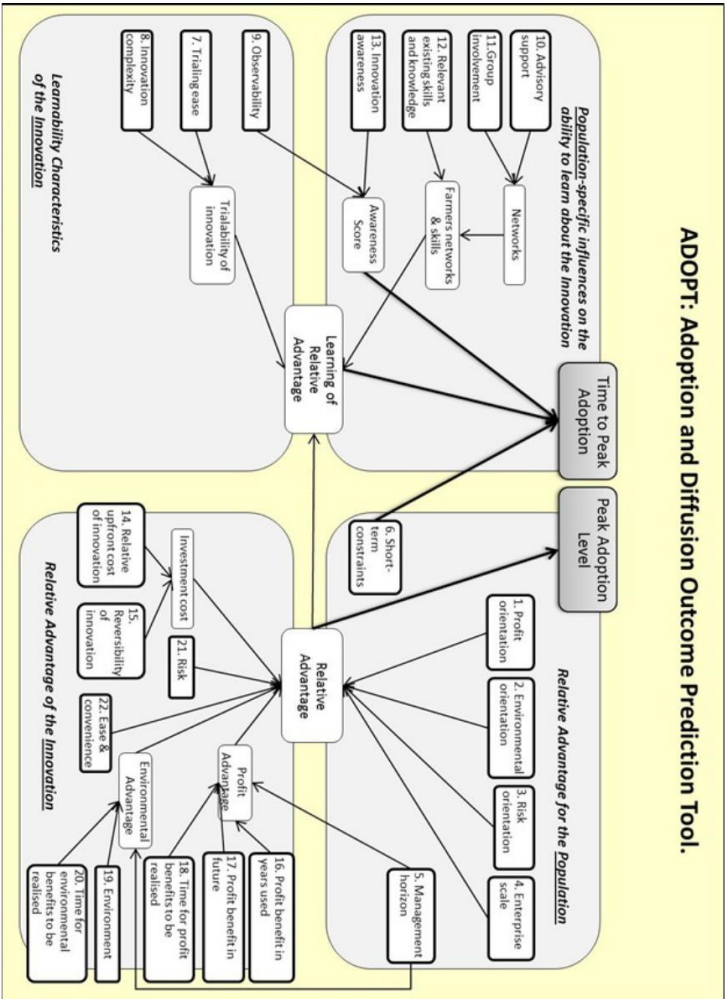
		solo se encuentra en etapas todav a de muy baja adopci n.
17. Future income/productivity benefit	Large income/productivity advantage in the future	El Kernza es una variedad muy prometedora debido a la gran provisi n de carbono org nico por parte de sus residuos que junto con la profundidad y cantidad de sus ra ces, favorece la estructuraci n del suelo, permite un mayor acceso al agua, reduce las lixiviaci ones de nutrientes y disminuye las labores culturales, porque al ser un cultivo perenne solo requiere una siembra. Se prev que disminuya la degradaci n de las tierras, como por ejemplo llevar la erosi n h drica a casi 0, siempre que se puedan implantar correctamente. El logro principal ser a ir hacia sistemas estables donde se imitar a el comportamiento de una pradera natural disminuyendo la utilizaci n de insumos externos para mantener la producci n.
18. Time until any future income/productivity benefits are likely to be realised	3 - 5 years	
19. Local village/community costs & benefits	Moderate local community/village advantage	Al implementar sistemas de producci n estables, de disminuir a la degradaci n de las tierras. Por consiguiente habr a una disminuci n de los escurrimientos que provocaron grandes inundaciones a la ciudad de Azul. A su vez, para los productores el Kernza puede ser utilizado para recuperar en pocos a os propiedades f sico, qu micas y biol gicas.

20. Time to local village/community benefit	6 - 10 years
21. Risk exposure	Large reduction in risk
22. Ease and convenience	Large increase in ease and convenience

ADOPT can be cited as: Kuehne G, Llewellyn R, Pannell D, Wilkinson R, Dolling P, Ouzman J, Ewing M (2017) Predicting farmer uptake of new agricultural practices: A tool for research, extension and policy, *Agricultural Systems* 156:115-125
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.06.007>

While CSIRO makes every effort to ensure that the information on this site (including the ADOPT tool and associated materials) is accurate, current and complete, CSIRO makes no representations, conditions or warranties of any kind, express or implied, as to the operation or results of this site, or accuracy, correctness or reliability of the information available on this site. The information provided is subject to the usual uncertainties of research and does not constitute expert advice. Users should not rely solely on any of the information provided. To the maximum extent permitted by law, CSIRO does not guarantee the completeness or accuracy of any of the information contained on or accessed through this site and excludes all liability to any person arising directly or indirectly from using this site and any information or material available on it.

ADOPT: Adoption and Diffusion Outcome Prediction Tool.



Copyright CSIRO 2018

