Mapas de áreas aptas para cultivos de secano en Argentina







01.	Presentación	pág 06
02.	Introducción	pág 08
03.	¿Qué es un mapa de áreas aptas?	pág 10
04.	Antecedentes en Sudamérica	pág 1 2

05. Metodología pág 14
06. Información disponible pág 16
07. Determinación de limitaciones pág 18

06.	Información disponible	pág 16
07.	Determinación de limitaciones	pág 18
08.	Áreas no aptas: Resultados	pág 21
09.	Clasificación de aptitud	pág 23
10.	Áreas aptas: Resultados	pág 34
11.	Conclusiones	pág 40
12.	Referencias	pág 42

Presentación

El objetivo principal del Proyecto del Fondo de Adaptación al Cambio Climático de las Naciones Unidas para la región noreste de Argentina es aumentar la capacidad adaptativa y resiliencia de los pequeños productores agrícolas familiares frente a los impactos del cambio climático y la variabilidad, en especial aquellos derivados del aumento en intensidad de eventos hidrometeorológicos como inundaciones y sequías.

Sus objetivos específicos son:

- **1.** Aumentar la resiliencia de los pequeños productores agropecuarios del noreste frente al cambio climático y su variabilidad.
- **2.** Fortalecer los sistemas de monitoreo hidrometeorológicos y agro productivos para evaluar los cambios climáticos y sus impactos en los sistemas de producción agropecuaria.
- **3.** Aumentar la capacidad institucional, tanto a nivel nacional como provincial y local, para la toma de decisiones y acciones de adaptación al cambio climático y su variabilidad en el norte argentino.

Como parte de los objetivos 2 y 3, la Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA) ha realizado mapas de áreas aptas para maíz y soja en las provincias del noreste del país. Si bien el área de aplicación del Proyecto se halla restringida al noreste argentino (NEA), se puede extender el estudio a nivel nacional.

La metodología utilizada se basa en la propuesta por la FAO que tiene en cuenta las principales limitaciones climáticas y edáficas para el crecimiento y desarrollo de cada cultivo. En áreas con condiciones edáficas y térmicas no limitantes, se establecen niveles de aptitud mediante el cálculo del grado de satisfacción hídrica del cultivo en el periodo vulnerable a déficits hídricos y de la frecuencia de ocurrencia de excesos hídricos en el periodo vulnerable a excesos.

Para ello fue necesario inicialmente conformar las bases de datos de información climática histórica y recopilar la información edáfica disponible en cada región, como así también determinar los calendarios habituales de siembra de estos cultivos y su ciclo fenológico, identificando los períodos más críticos en relación a la pérdida de rendimiento.

Los mapas de áreas aptas y de clasificación según su nivel de aptitud resultan una herramienta importante para la planificación y el ordenamiento territorial, en especial porque muestran la ubicación de las principales limitaciones para la producción (calidad de suelos, oferta climática, etc.). De esta forma, se pueden identificar áreas con limitaciones hídricas para la obtención del rendimiento potencial de los cultivos y evaluar, por ejemplo, en qué zonas se podría incrementar la producción mediante riego complementario o las necesidades de obras de infraestructura para eliminar los excesos hídricos, las posibles consecuencias de cambios a futuro en las variables meteorológicas y las potencialidades productivas de nuevos cultivos.

Agradecemos la colaboración de las instituciones locales como los ministerios, en especial al Ministerio de la Producción de Chaco y al Ministerio de la Producción de Corrientes; estaciones experimentales, Estaciones Experimentales de INTA del norte de Santa Fe, Chaco, Corrientes, y al Servicio Meteorológico Nacional. También agradecemos el trabajo de las ingenieras Guadalupe Ares y Liliana Escobar, quienes han colaborado en la ampliación de la cartografía de suelos en 1:50.000 en las provincias de Chaco, Corrientes y norte de Santa Fe.

Los resultados hallados para maíz fueron validados por un grupo de expertos en un taller organizado por el Proyecto en el que participaron profesionales de INTA, SMN, Ministerio de Agroindustria, Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas de la FAUBA, del Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos de la FCEN-UBA y de AACREA.

Introducción

La Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA) ha desarrollado una metodología de obtención de mapas de áreas aptas para cultivos específicos basada en el documento "Global Agroecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results" (FAO, 2002), aplicada ampliamente para la determinación de zonas agroecológicas homogéneas y relacionada con la productividad de las tierras (Land Utilization Types / TUT). En primer lugar, se establecieron como "no aptas" aquellas áreas protegidas legalmente (parques nacionales y provinciales, bosques nativos, etc) y sin posibilidad de uso agropecuario. En el resto de las áreas se evaluó la aptitud de acuerdo a las limitaciones edáficas y agro-climáticas, estableciéndose diversos niveles mediante la cuantificación de la satisfacción de los requerimientos hídricos del cultivo considerado y de las frecuencias de excesos hídricos, heladas y golpes de calor.

Los mapas de áreas aptas tienen múltiples aplicaciones, principalmente en el ordenamiento del territorio y en la determinación de niveles de productividad y de riesgo. La metodología aplicada permite identificar los factores que determinan que un cultivo no alcance su máximo rendimiento (porque el suelo es demasiado arenoso; las temperaturas son muy bajas; la lluvia insuficiente, etc.) y también qué tan productivas pueden ser las áreas aptas, clasificándolas como óptimas, subóptimas, regulares, marginales o sólo aptas con riego suplementario.

Estos mapas no son estáticos, principalmente si se tiene en consideración que las condiciones climáticas pueden variar en el futuro cercano. Además, el permanente desarrollo tecnológico aplicado a la obtención de nuevas variedades y genotipos de cultivos más resistentes a limitaciones térmicas e hídricas, determinan la necesidad de revisar y actualizar la clasificación actual.

En relación al cambio climático, la clasificación de áreas aptas permite evaluar cómo podrían afectar en el futuro los cambios previstos. Por ejemplo, si en un área específica se descalifica su aptitud por una moderada frecuencia de ocurrencia de excesos hídricos y las previsiones indican un aumento en la precipitación, se verá afectada negativamente. En forma contraria, áreas identificadas como regulares o marginales por falta de humedad en los periodos más críticos para los cultivos podrían verse beneficiadas por un aumento de productividad en el futuro.

El objetivo de este trabajo ha sido generar una cartografía georreferenciada de áreas no aptas para actividades agrícolas particulares (especificando la naturaleza de las limitaciones observadas) y de áreas aptas (con clasificación de niveles de aptitud) de acuerdo a limitantes hídricas y térmicas. Al momento se dispone de resultados para los cultivos maíz y soja de secano, para los que se han considerado los calendarios habituales de siembra de las diferentes regiones del país.

¿Qué es un mapa de áreas aptas para un cultivo específico?

Un mapa de áreas aptas resume cartográficamente el conocimiento sobre la cantidad de tierras aptas para un cultivo determinado (maíz, soja, etc.) y la disponibilidad de estas tierras de acuerdo a su uso actual (no afectadas por priorización de otros usos). El principal aporte de estos mapas es facilitar la gestión adecuada de los recursos y apoyar a los responsables de las políticas públicas en la planificación agrícola informada, identificando el potencial para la producción de cultivos en función de las condiciones locales -agroclimáticas y edáficas- del territorio nacional.

Así, un mapa de áreas aptas debe indicar claramente dónde el cultivo no es viable, ya sea porque las condiciones agroclimáticas o las características del suelo no satisfagan sus requerimientos mínimos, o porque el uso del suelo esté reservado a otros objetivos o deba preservarse por motivos relacionados con la conservación del suelo, de la biodiversidad u otras limitaciones medioambientales. En la parte del territorio considerado apto, deberá clasificarse la aptitud de cada área para el desarrollo del cultivo evaluado.

en Sudamérica Antecedentes modernos

A nivel mundial se han realizado zonificaciones para la determinación de áreas aptas para diferentes cultivos, aunque en la mayor parte de los casos las metodologías aplicadas involucran información de base no disponible en nuestro país y se concentran en el análisis de una zona reducida, como una provincia, estado, cuenca, etc. Sin embargo, no son tantos los países con información disponible similar a Argentina que han generado mapas de áreas aptas a nivel nacional.

A continuación, se citan ejemplos de trabajos de determinación de áreas aptas para cultivos de secano a nivel nacional en países de Sudamérica realizados en años recientes.

• Brasil: zoneamento agricola (2006) | Ministerio de Agricultura, Pecuária e Abastecimento http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/publicacoes-diversas/zoneamento-agricola.pdf/view

El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento de Brasil ha llevado a cabo una zonificación edafoclimática de diferentes cultivos y especies forestales en la que se consideró el tipo de drenaje, la profundidad efectiva, el contenido de arcilla, la presencia de pedregosidad, etc. Ésta se combinó con una clasificación agroclimática en función de un índice pluviométrico y, en los cultivos vulnerables a bajas temperaturas, riesgo de heladas. La zonificación se utilizó principalmente para establecer un calendario de siembra por municipio, tipo de suelo y que minimizara los riesgos. Los productores deberán ajustarse a estos calendarios si desean acceder a asistencia estatal, seguro agropecuario, crédito, etc.

• Paraguay: zonificación agroecológica (2009) | Ministerio de Agricultura y Ganadería

http://www.mag.gov.py/index.php/institucion/dependencias/ugr/zonificacion-agroecologico

La metodología aplicada fue la de determinación de zonas agroecológicas homogéneas (ZAE) propuesta por FAO, donde se consideran el clima y el suelo para el análisis. Se realizó para 13 rubros agrícolas, a nivel de la

Región Oriental del país, dentro del proyecto "Información sobre tierras agrícolas y agua para un desarrollo sostenible". La Unidad de Gestión de Riesgos (UGR) fue responsable de la realización de los mapas.

• Chile: zonificación de aptitud productiva (2010) | Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) del Ministerio de Agricultura

https://www.odepa.gob.cl/odepaweb/servicios-informacion/publica/Mapas_produccion_biocombustibles.pdf

La ODEPA ha elaborado mapas de zonificación de aptitud productiva del territorio nacional para 31 especies vegetales con potencial para la producción de biocombustibles. Para cada especie se determinaron los requerimientos fisiológicos de clima y suelo, zona de adaptación y aptitud productiva. Se analizó la aptitud en función de la pendiente del terreno, la altitud, temperatura, radiación solar y precipitación.

• Colombia (2013) | Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) del Ministerio de Agricultura

http://www.upra.gov.co/uso-y-adecuacion-de-tierras/evaluacion-de-tierras/zonificacion

El desarrollo de mapas de zonificación a nivel nacional identificó áreas con aptitud para el desarrollo de cultivos comerciales prioritarios, teniendo en cuenta aspectos técnicos, ambientales y competitivos. Esto contribuye a la formulación de políticas, así como al direccionamiento

de recursos para el desarrollo de iniciativas de inversión agropecuaria con énfasis comercial. Esta metodología incorpora criterios físicos, sociecosistémicos, socioeconómicos y lineamientos legales y normativos que inciden en la delimitación de las áreas con aptitud a nivel nacional.

Metodología

La metodología para la determinación de áreas aptas se basa en la evaluación de los requerimientos físicos, relacionados con el suelo y el clima, en cada unidad territorial. La unidad geográfica para la que se evalúa es en escala 1:50.000 o en su defecto 1:500.000. No se consideran en esta evaluación factores socioeconómicos o relativos a la comercialización.

Luego de analizar diferentes abordajes del tema -con el aporte de mapas de áreas aptas ya disponibles en países latinoamericanos- se decidió adoptar la metodología propuesta por la FAO http://webarchive.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/RR-02-002.pdf con algunas adaptaciones a la disponibilidad de información edáfica y climática en Argentina.

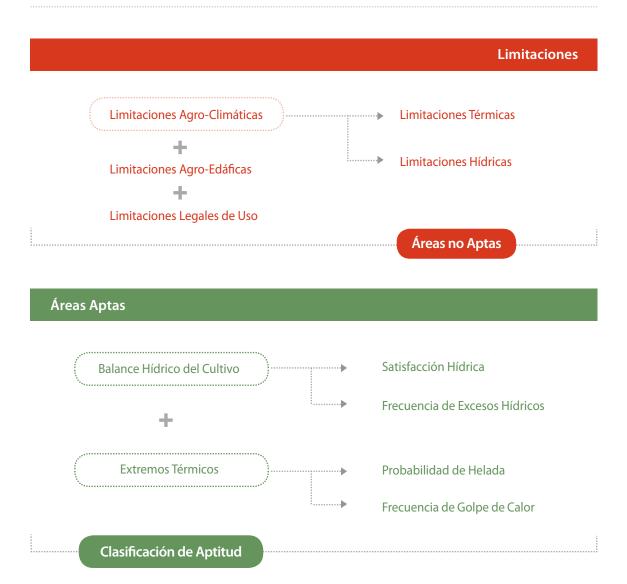
Esta metodología tiene en cuenta dos tipos de condiciones para la aptitud: climáticas y edáficas. Dentro de las climáticas, se verifican inicialmente las térmicas y luego, en las áreas donde la temperatura satisface las necesidades mínimas del cultivo, se evalúa la disponibilidad hídrica.

En áreas con condiciones edáficas y térmicas no limitantes, se clasifican las áreas aptas según su nivel de aptitud. El nivel o clase de aptitud se determina mediante el cálculo del grado de satisfacción hídrica del cultivo en el periodo vulnerable a déficits hídricos. A estos elementos de la clasificación FAO se ha agregado la ponderación de la frecuencia de ocurrencia de excesos hídricos en el periodo vulnerable a excesos y de ocurrencia de heladas.

Además, se generó cartografía adicional con elementos que, si bien no se han incluido directamente en la clasificación, aportan información acerca de la probabilidad de ocurrencia de factores potencialmente influyentes en la aptitud.

La **Figura 1,** a continuación, muestra un esquema de los elementos considerados para la determinación de áreas aptas para cada cultivo:

Figura 1: Esquema de factores considerados en la clasificación



Tanto para las limitaciones climáticas como edáficas, la metodología de FAO propone algunos parámetros generales a tener en cuenta. Antes de utilizarlos, se llevó a cabo una investigación acerca de la disponibilidad de investigaciones nacionales acerca de estas limitantes.

Información disponible

Como se mencionó previamente, la información de base considerada para el análisis de aptitud es básicamente de los tipos: edáfica y meteorológica. A continuación se describe brevemente la información de cada tipo que fue posible utilizar a nivel nacional.

INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Previo al análisis de aptitud debe conocerse el rango de temperaturas y los límites entre los que es posible el desarrollo adecuado del cultivo a evaluar. También debe definirse el periodo necesario para el desarrollo satisfactorio del cultivo y la precipitación mínima que debe registrarse en ese periodo para satisfacer sus necesidades. Para la evaluación de las variables meteorológicas se consideraron series históricas 1980-2014 para maíz y 1980-2017 para soja, provenientes de estaciones meteorológicas convencionales del SMN e INTA, más algunas series pluviométricas de redes provinciales en áreas sin información de estaciones completas.

INFORMACIÓN EDÁFICA

Otras características del cultivo que deben conocerse previamente al análisis son sus requerimientos y limitaciones en relación a los suelos y la topografía. Se utilizó la cartografía publicada en el servidor de mapas GeoINTA, elaborada por el INTA. En todos los casos en que fue posible, se consideró la cartografía en escala 1:50.000. De no hallarse disponible la misma, se utilizó información del Atlas Nacional de Suelos de INTA, en escala 1:500.000. Cartografía de suelos en escala 1:50.000 de las provincias de Corrientes y norte de Santa Fe están siendo llevadas a formato digital como actividad del Proyecto, aunque los resultados expuestos no la incluyen aún.

NIVEL DE DETALLE DE LA INFORMACIÓN

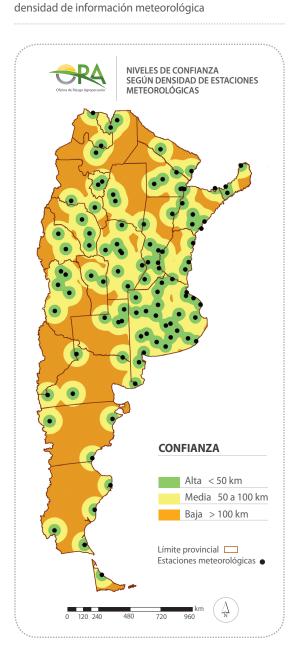
Tanto la información meteorológica como edáfica presentan limitaciones de representatividad espacial, sobre todo en áreas extra-pampeanas. El mapa de la **Figura 2** muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas consideradas en la evaluación de los requerimientos climáticos, de-

Figura 2: Distribución geográfica de áreas con diferente

jando en evidencia áreas con baja densidad de información meteorológica histórica disponible.

Lo mismo sucede con la información edáfica: la **Figura 3** muestra las áreas con cartografía de suelos a nivel de semidetalle (1:50.000) y las que sólo se hallan disponibles en escala más agregada (1:500.000). En Patagonia la cartografía del Atlas Nacional de Suelos es de escala 1:1.000.000 y no se halló información disponible para la provincia de Misiones.

Figura 3: Distribución geográfica de áreas con diferente escala de información edáfica





A partir de la combinación de evaluaciones de requerimientos del cultivo propuestas por la FAO; la disponibilidad real de datos a escala nacional; el relevamiento de las investigaciones realizadas en el país, y el aporte de los expertos participantes del taller de validación, se determinaron las siguientes limitaciones edáficas, térmicas e hídricas a tener en cuenta para la delimitación de áreas no aptas para el cultivo de maíz en secano:

LIMITACIONES EDÁFICAS

Las condiciones de suelo que se tomaron en cuenta para determinar que un área no es apta se pueden ver en el **Cuadro 1**. En el análisis a escala 1:500.000 se consideraron áreas no aptas aquellas que cumplan alguna de las condiciones del **Cuadro 1**. En la cartografía de escala 1:50.000 de INTA se dispone de un campo que describe las posibilidades de uso del suelo, por lo que se consideraron como no aptos los suelos de uso sólo ganadero (no agrícola).

Cuadro 1: Parámetros edáficos y clasificación adoptada para la determinación de áreas no aptas

Parámetros	Área no apta	
Pendiente	Uso agrícola limitado por pendiente	
Profundidad	Menor que 45 cm (maíz); Menor que 30 cm (soja)	
Textura	Arcillosa (contenido de arcilla > 60%); Arenosa (contenido de arena > 80%)	
Sodicidad	Alcalinidad fuerte o muy fuerte	
Drenaje	Muy pobre o excesivo	
Pedregosidad	Uso agrícola limitado por pedregosidad o rocosidad	
Misceláneas	Afloramientos rocosos, cuerpos de agua, bañados, planicies arenosas	
Cartografía 1:50.000 Unidades cartográficas clasificadas como No Agrícolas (INTA)		

LIMITACIONES TÉRMICAS

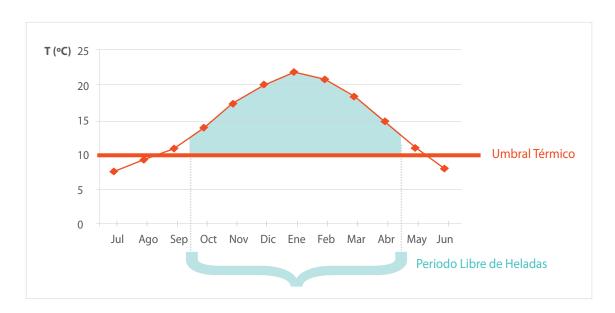
La metodología de FAO propone la determinación de un periodo térmico de crecimiento, definido como el lapso durante el cual la temperatura media supera un umbral determinado, que depende del cultivo.

En el caso del maíz, el umbral para la fecha de siembra es de 10°C, descendiendo luego a 8°C. Es necesario sumar 1800°C/día superando ese umbral para completar todas las fases del cultivo. Esta acumulación de temperatura debe poder lograr-

se dentro del periodo térmico apto de crecimiento, que es el periodo del año en que la temperatura media se mantiene por encima de este umbral.

El régimen normal de heladas limitará eventualmente el periodo térmico de crecimiento, determinando un periodo térmico apto (PTA). Se utiliza la definición de helada meteorológica (temperaturas mínimas inferiores a OC en abrigo meteorológico) para limitar, si es necesario, la duración del periodo térmico de crecimiento (**Figura4**).

Figura 4: Esquema de determinación del periodo térmico apto



El periodo térmico apto para el maíz está limitado entonces al intervalo del año en que la temperatura media supera los 10°C y por el periodo normal libre de heladas. Una vez determinados los periodos térmicos aptos en todos los puntos posibles, se procede al cálculo de la suma térmica, es decir, la suma de °C/día dentro del periodo térmico apto. Se consideran áreas no aptas para maíz aquellas que no lleguen a sumar 1800°C.

Para la soja, si bien se determina un umbral de temperatura media de 15°C para su crecimiento y es sensible a la ocurrencia de heladas, la disponibilidad de grupos genéticos adaptables a las diferentes regiones térmicas y fotoperiodos determinó otro criterio de evaluación de limitaciones térmicas. En este caso, se consideraron no aptas para soja las áreas en que la temperatura media del mes más cálido no alcance los 20°C.

LIMITACIONES HÍDRICAS

Se procede a analizar inicialmente el aporte normal de precipitaciones durante el periodo térmico apto para el desarrollo de maíz o soja, para todas las localidades con registros meteorológicos en el periodo considerado (1980-2017). El maíz necesita al menos 500 mm de lluvia bien distribuida a lo largo de todo el ciclo de cultivo. Para la soja, la necesidad es algo menor, estimándose entre 350mm y 450mm, dependiendo del grupo y fecha de implantación.

En la presente metodología se decidió no descartar las áreas donde la precipitación no alcanzara totalmente ese acumulado en el pe-

riodo térmico apto, para poder evaluar luego el orden de magnitud del riego suplementario que eventualmente sería necesario aplicar. De todas formas, acumulados inferiores a 300 mm en todo el periodo térmico apto se consideraron demasiado alejados de los valores mínimos necesarios, por lo que se definieron áreas no aptas para maíz o soja aquellas en las que la precipitación normal acumulada durante el periodo térmico apto no alcance los 300mm.

LIMITACIONES DE USO

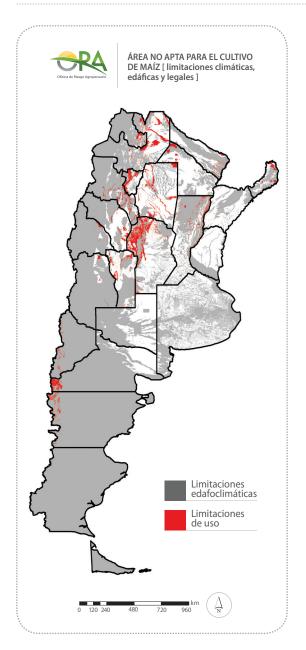
Se consideraron áreas no aptas las protegidas legalmente -nacionales y provinciales- y sin posibilidad de uso agropecuario, según información cartográfica provista por la Administración de Parques Nacionales y de Parques Provinciales.

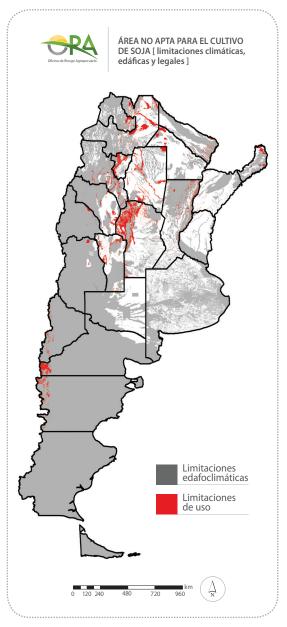
También se consideraron no aptas las "áreas rojas" determinadas por cada provincia en relación al ordenamiento territorial de los bosques nativos (OTBN - Ley 26331, sancionada en 2007). Categoría I (áreas rojas) corresponde a sectores de muy alto valor de conservación que no pueden transformarse. Incluye áreas que, por sus ubicaciones relativas a reservas, su valor de conectividad, la presencia de valores biológicos sobresalientes y/o la protección de cuencas que ejercen, ameritan su persistencia como bosque a perpetuidad, aunque estos sectores puedan ser hábitat de comunidades de pueblos originarios y ser objeto de investigación científica. No se dispone de información para las provincias de La Pampa y Entre Ríos.

Áreas no aptas: Resultados

Luego del análisis multidimensional de las limitaciones, se determinaron como no aptas las áreas con una o más limitaciones. El mapa de la **Figura 5**, a continuación en página 22, muestra las áreas no aptas para maíz y las no aptas para soja. En gris se han consignado las áreas no aptas por limitaciones edafoclimáticas y en rojo las descartadas por limitaciones de uso.

Figura 5: Mapa de áreas no aptas para maíz (izquierda) | Mapa de áreas no aptas para soja (derecha)





Clasificación de Aptitud

Hasta este punto se han podido determinar las áreas con fuertes limitaciones edáficas o climáticas para el desarrollo de maíz o soja, o con impedimentos legales o ambientales. En adelante se expondrá la metodología aplicada a la clasificación de las áreas aptas, de acuerdo a su grado de aptitud: óptima, subóptima, regular o marginal. Esta clasificación se hará en función del nivel normal de satisfacción de los requerimientos hídricos en el periodo más vulnerable a sequía del cultivo y de la frecuencia con que se generan excesos hídricos en el periodo más vulnerable a la humedad excesiva. En el caso de soja, se pondera también en la clasificación de aptitud la frecuencia de heladas a la que el cultivo se halla localmente expuesto.

PERIODOS CRÍTICOS

El área clasificada como apta para los cultivos analizados en el territorio nacional abarca desde

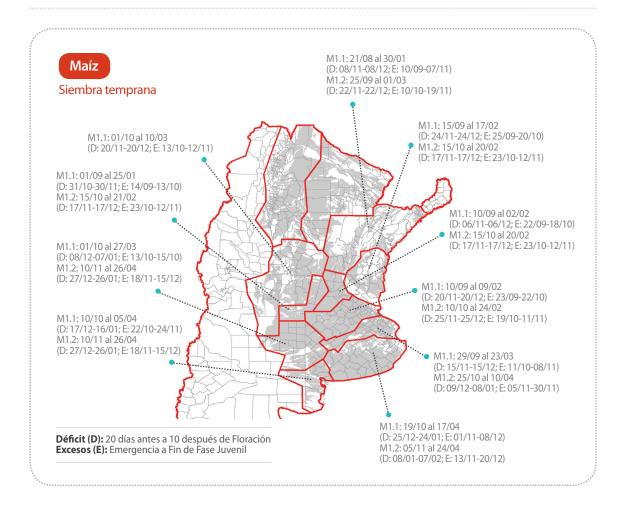
22°S hasta 40°s, aproximadamente. Esto determina que las fechas de siembra y los calendarios locales sean necesariamente diferentes, adaptados a los regímenes de temperatura y precipitación y a la evolución de la duración del día (fotoperiodo) a lo largo del año. Así, inicialmente debieron determinarse zonas homogéneas desde el punto de vista de las fechas de siembra y cosecha de maíz y soja.

En cada zona se consideraron hasta 3 fechas de siembra diferentes para maíz, como se puede ver a continuación en la **Figura 6**. Para soja, se consideraron en general ocupaciones de primera y de segunda, como se indica en la **Figu**-

ra 7 a continuación en página 25, aunque en algunas zonas (norte) sólo se evaluó una fecha.

Para cada una de las zonas y fechas de siembra determinadas en los mapas de la **Figuras 6 y 7** se tomó en cuenta un calendario fenológico particular y sobre éste se identificaron las fechas correspondientes a los periodos críticos locales, es decir, el comienzo y el fin de las etapas fenológicas en las que el cultivo es más vulnerable a sufrir daños por déficit o por excesos hídricos. Los periodos fenológicos críticos considerados para cada cultivo se resumen en el **Cuadro 2** que se grafica en página 26.

Figura 6: Zonas homogéneas según calendarios agrícolas habituales y duración de los ciclos locales del **maíz**. I M1.1 indica "maíz de siembra temprana, primera fecha"; M1.2 indica "maíz de siembra temprana, segunda fecha"; M2.1 indica "maíz de siembra tardía, primera fecha"; M2.2 indica "maíz de siembra tardía, segunda fecha". I Las fechas "DD/MM al DD/MM" indican fechas de siembra y cosecha utilizadas para cada zona y las fechas para sus periodos críticos, tanto para déficit (D) como para excesos (E)



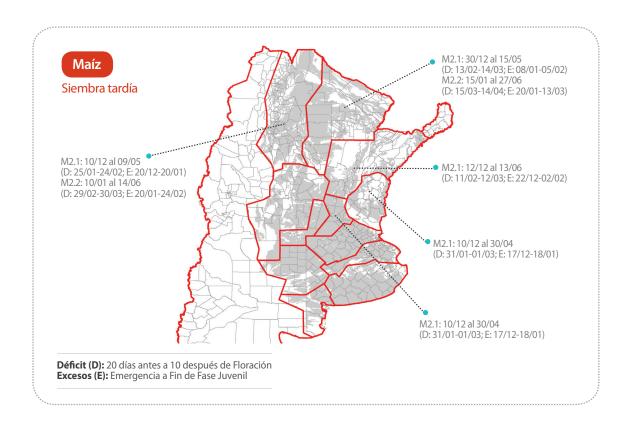
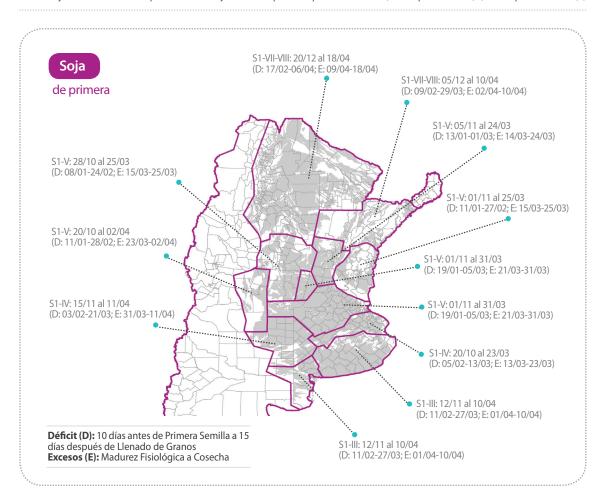
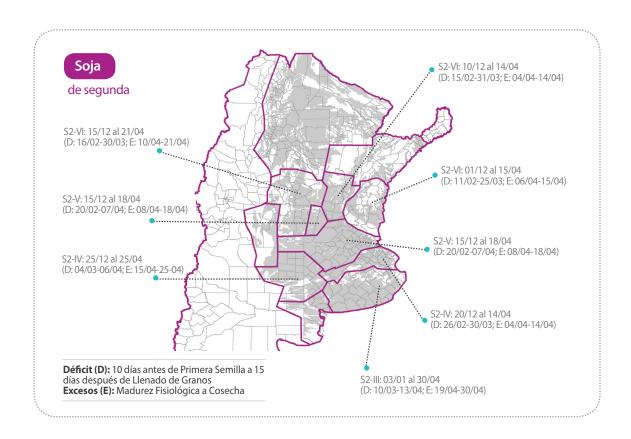


Figura 7: Zonas homogéneas según calendarios agrícolas habituales y duración de los ciclos locales de la soja de primera (S1) y de segunda (S2). En números romanos se indica el grupo de madurez. Las fechas "DD/MM al DD/MM" indican fechas de siembra y cosecha utilizadas para cada zona y las fechas para sus periodos críticos, tanto para déficit (D) como para excesos (E)





Cuadro 2: Períodos fenológicos considerados críticos en la determinación del rendimiento

Periodo crítico por déficit hídrico Periodo crítico por excesos hío		
20 días antes de floración - Hasta 10 días posteriores a floración	Emergencia hasta fin de la fase juvenil	
10 días antes de 1ra semilla - Hasta 15 días posteriores a inicio de lle- nado de granos	10 días antes de madurez fisiológica hasta cosecha (R7-10 a R8)	
	20 días antes de floración - Hasta 10 días posteriores a floración 10 días antes de 1ra semilla - Hasta 15 días posteriores a inicio de lle-	

CLASIFICACIÓN SEGÚN LA SATISFACCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS

La evaluación de las limitaciones en la disponibilidad de agua para un cultivo particular se realizó utilizando el balance hídrico de la ORA (BH-ORA), para las áreas que no han sido descartadas por condiciones edafoclimáticas no aptas.

La clasificación de la aptitud hídrica en el período crítico de cada cultivo se realizó evaluando la relación entre la evapotranspiración real del cultivo (ETR) y su valor potencial (ETC), es decir, el consumo de agua que el sistema suelo-cultivo alcanza normalmente en condiciones reales, comparado con el que tendría lugar sin ninguna limitación hídrica. Este cociente se conoce como Water Requirement Satisfaccion Index (WRSI) o índice de Satisfacción Hídrica (ISH), recomendado por FAO como indicador de la performance de un cultivo, basada en la disponibilidad de agua en cada periodo. En este caso,

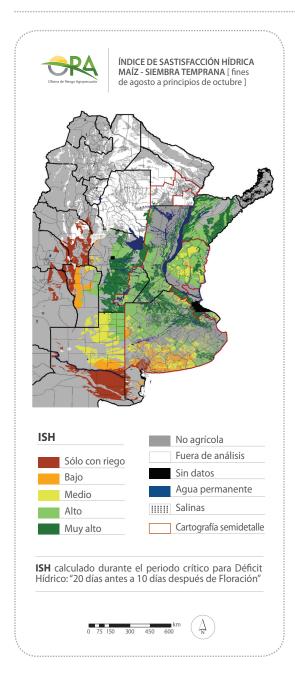
se evaluó el ISH en los N días del periodo crítico por déficit hídrico.

$$ISH = \frac{\sum_{k=1}^{N} ETR}{\sum_{k=1}^{N} ETC}$$

El BH-ORA calcula el ISH, que constituye una medida del grado de satisfacción hídrica media del cultivo en el periodo crítico en cada una de las campañas simuladas (1980-2017). Luego se calculó el promedio de los 38 valores hallados de ISH (periodo 1980-2017) para determinar el nivel medio de satisfacción hídrica del cultivo en el periodo más vulnerable a déficit. La **Figura 8** muestra a modo de

ejemplo los resultados de ISH medio obtenidos para maíz de siembra temprana - primera fecha (M1.1) y de siembra tardía - primera fecha (M2.1). La **Figura 9**, a continuación en la página siguiente, corresponde a la evaluación del ISH medio local para soja de primera (S1) y de segunda (S2). Los ejemplos corresponden al análisis realizado con información de suelos en escala 1:500.000.

Figura 8: Clasificación según índice de satisfacción hídrica en el periodo crítico a déficit hídrico del maíz. ISH medio obtenidos para maíz de siembra temprana - primera fecha (M1.1, izquierda) y de siembra tardía - primera fecha (M2.1, derecha)



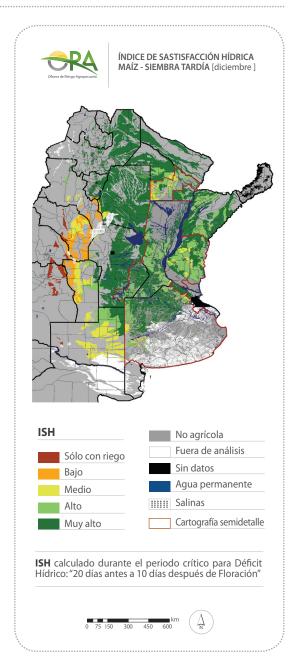
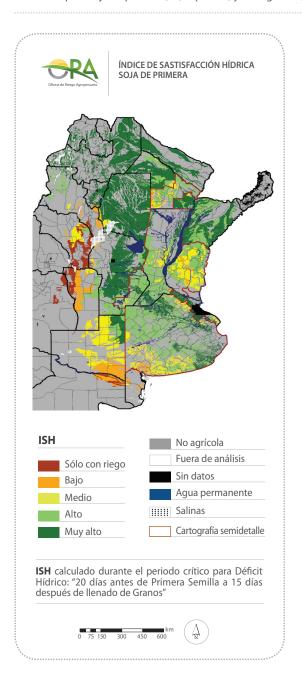
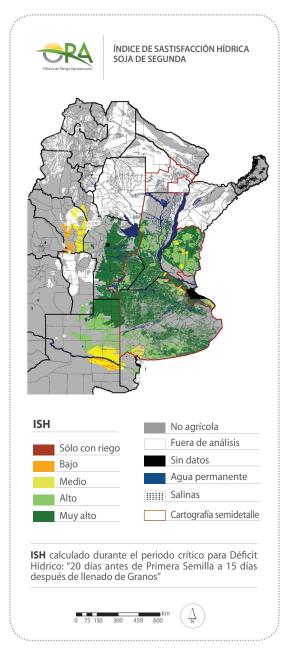


Figura 9: Clasificación según índice de satisfacción hídrica en el periodo crítico a déficit hídrico de la soja. ISH medio obtenidos para soja de primera (S1, izquierda) y de segunda (S2, derecha)





Cuando el contenido de humedad del suelo esté por debajo de cierto valor umbral, el agua del suelo no podrá ser transportada hacia las raíces con la velocidad suficiente para satisfacer la demanda transpiratoria y el cultivo comenzará a sufrir de estrés. La fracción de agua disponible que un cultivo puede extraer de la zona radicular sin experimentar estrés hídrico es denominada "agua fácilmente **aprovechable**" (FAO 1998). Un valor de agua fácilmente aprovechable igual a la mitad del ISH es utilizado comúnmente para una gran variedad de cultivos.

Según el documento de FAO "Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Estudio FAO: Riego y Drenaje 66" (FAO 2012), los intervalos para clasificar el ISH medio se vin-

culan al porcentaje de rendimiento esperado -en relación al potencial del cultivo- en función del nivel de satisfacción hídrica alcanzada en el periodo crítico. En el **Cuadro 3** se exponen los valores considerados en la clasificación según ISH. Valores superiores a 50% del ISH se clasifican como satisfacción hídrica alta o muy alta, mientras que valores inferiores se consideran restrictivos del consumo hídrico.

Cuadro 3: Rangos utilizados en la clasificación según satisfacción hídrica en el periodo crítico

Clasificación según ISH	Rangos de ISH
Muy alta	Mayor que 0.60
Alta	Entre 0.5 y 0.60
Media	Entre 0.4 y 0.5
Ваја	Entre 0.3 y o.4
Sólo con riego	Menor que 0.3

CLASIFICACIÓN SEGÚN LA FRECUENCIA DE EXCESOS HÍDRICOS

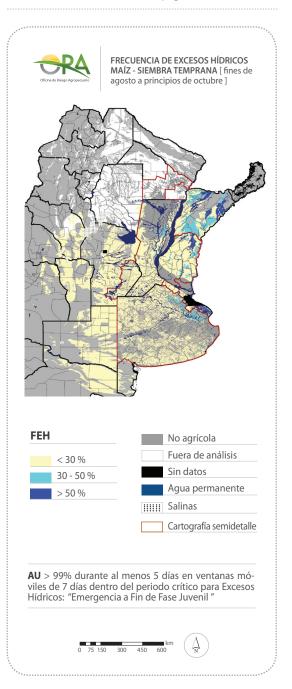
En algunas áreas con altos montos de precipitación la disponibilidad de agua en el periodo vulnerable a déficit hídrico es alta, pero también es probable que los excesos hídricos sean frecuentes. Por lo tanto, se ha evaluado la frecuencia de ocurrencia de excesos hídricos en los periodos críticos de los cultivos (**Cuadro 2** de página 26) utilizando el modelo de BH-ORA.

En el periodo crítico de la soja se identificaron los días con reservas excesivas o excesos hídricos (almacenaje superior al 95% de la capacidad de campo), situaciones relacionadas con humedad excesiva o falta de piso a cosecha. Para el maíz sólo se consideraron los días con excesos hídricos (almacenaje superior a la capacidad de campo), relacionados con anoxia en el inicio del ciclo del cultivo. Se contabilizaron los casos en

que los respectivos umbrales habrían sido alcanzados en 5 días dentro de una ventana móvil de 7 días dentro del periodo crítico. Así se calculó la frecuencia en que una campaña será afectada por excesos hídricos en cada unidad.

En la **Figura 10** se pueden ver los resultados de la evaluación de frecuencia de excesos hídricos

Figura 10: Frecuencia de ocurrencia de excesos hídricos en el periodo crítico del maíz: para maíz de siembra tempranaprimera fecha (M1.1, aquí abajo) y de siembra tardía-primera fecha (M2.1, a continuación en página 30)



para maíz de siembra temprana–primera fecha (M1.1) y maíz de siembra tardía–primera fecha (M2.1). No se muestran los resultados para maíz de siembra temprana–segunda fecha (M1.2) y maíz de siembra tardía–segunda fecha (M2.2).

Figura 10: Frecuencia de ocurrencia de excesos hídricos en periodo crítico del maíz: siembra tardía-primera fecha (M2.1)

FRECUENCIA DE EXCESOS HÍDRICOS MAÍZ - SIEMBRA TARDÍA [diciembre] **FEH** No agrícola Fuera de análisis < 30 % Sin datos 30 - 50 % Agua permanente > 50 % :::::: Salinas Cartografía semidetalle AU > 99% durante al menos 5 días en ventanas móviles de 7 días dentro del periodo crítico para Excesos Hídricos: "Emergencia a Fin de Fase Juvenil"

La **Figura 11** corresponde a la evaluación de frecuencia local de excesos hídricos para soja de primera (S1) y de segunda (S2). En amarillo

se identifican las áreas en las que la frecuencia de excesos es menor a tres veces cada 10 años (<30%) y en azul oscuro las que presentarían excesos hídricos en más de la mitad de las campañas (>50%). Los ejemplos corresponden al análisis realizado con información de suelos en escala 1:500.000.

Figura 11: Frecuencia de ocurrencia de excesos hídricos en el periodo crítico de la soja, para soja de primera (S1, aquí abajo) y de segunda (S2, a continuación en página 31)

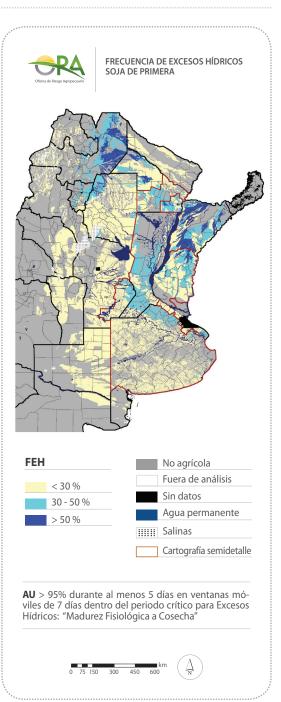


Figura 11: Frecuencia de ocurrencia de excesos hídricos en el periodo crítico de la soja, para soja de segunda (S2)

FRECUENCIA DE EXCESOS HÍDRICOS SOJA DE SEGUNDA FEH No agrícola Fuera de análisis < 30 % Sin datos 30 - 50 % Agua permanente > 50 % :::::: Salinas Cartografía semidetalle AU > 95% durante al menos 5 días en ventanas móviles de 7 días dentro del periodo crítico para Excesos Hídricos: "Madurez Fisiológica a Cosecha"

CLASIFICACIÓN SEGÚN LA FRECUENCIA DE HELADAS

En el caso de la soja, parte de las áreas consideradas aptas presentan calendarios que incluyen en el ciclo del cultivo periodos que no se hallan libres de ocurrencia de heladas. Por este motivo se evaluó también la frecuencia o probabilidad de ocurrencia de helada agronó-

mica antes de la fecha local de cosecha.

Se utilizaron series históricas de temperaturas mínimas medidas en estaciones meteorológicas convencionales y se consideró helada meteorológica cada vez que la mínima resultara inferior a 3°C. Se utilizó un termómetro instalado dentro de la casilla meteorológica (abrigo) a 1,5 metros de altura y el umbral de 3°C suele identificarse con 0°C al nivel del suelo. La **Figura 12** muestra la frecuencia de helada temprana agronómica desde el 1 de enero hasta la fecha media de cosecha de la soja de primera (S1) y de segunda (S2).

Figura 12: Frecuencia de ocurrencia de helada temprana agronómica (T<3°C) en el ciclo de la soja, para soja de primera (S1, aquí abajo) y de segunda (S2, a continuación en pág 32).

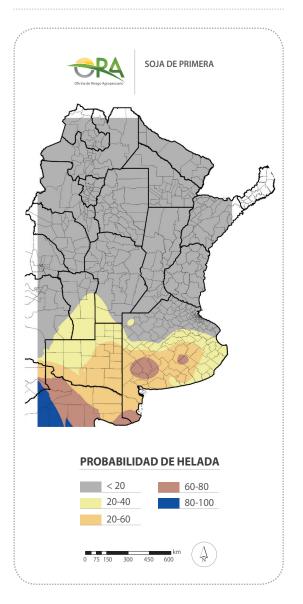
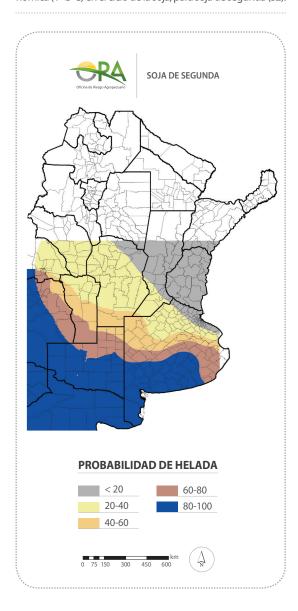


Figura 12: Frecuencia de ocurrencia de helada temprana agronómica (T<3°C) en el ciclo de la soja, para soja de segunda (S2).

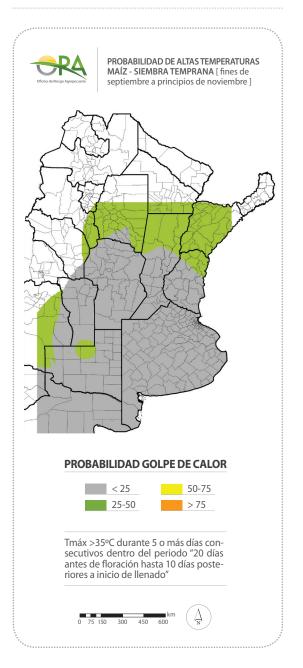


CLASIFICACIÓN SEGÚN LA FRECUENCIA DE GOLPE DE CALOR

Tanto para maíz como para soja, parte de las áreas consideradas aptas presentan calendarios que incluyen en el ciclo del cultivo periodos con altas temperaturas. Por este motivo se evaluó también la frecuencia o probabilidad de ocurrencia 5 días consecutivos con temperaturas máximas de 35°C o más en los períodos más críticos. Para esta evaluación se utilizaron series históricas de temperaturas máximas medidas en estaciones meteorológicas convencionales.

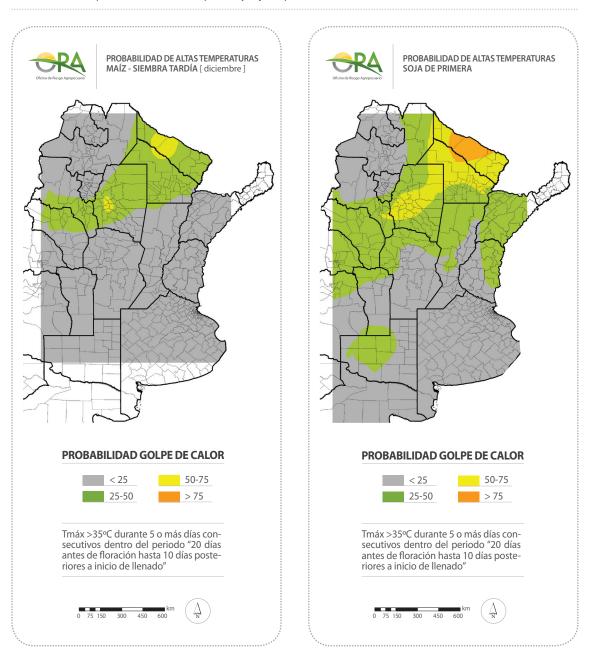
Los periodos críticos a altas temperaturas considerados en cada caso se pueden ver en el **Cuadro 4**, a continuación en página 33. La **Figura 13**, aquí abajo y continuando en página 33, muestra la frecuencia de golpes de calor dentro del periodo considerado crítico maíz de siembra temprana-segunda fecha (M1.2), maíz de siembra tardía-primera fecha (M2.1) y soja de

Figura 13: Frecuencia de ocurrencia de golpe de calor (5 días consecutivos o más con T>35°C) en el periodo crítico del maíz de siembra temprana-segunda fecha (M1.2, aquí abajo), maíz de siembra tardía-primera fecha (M2.1, izquierda en página 33) y soja de primera (S1, derecha en página 33)



primera (S1). Para maíz de siembra tempranaprimera fecha (M1.1), maíz de siembra tardíasegunda fecha (M2.2) y soja de segunda (S2) no se hallaron zonas con probable golpe de calor.

Figura 13: Frecuencia de ocurrencia de golpe de calor (5 días consecutivos o más con T>35°C) en el periodo crítico del maíz de siembra tardía-primera fecha (M2.1, izquierda) y soja de primera (S1, derecha)



Cuadro 4: Periodos fenológicos considerados críticos en la determinación de probabilidad de helada y de golpe de calor

▶ Cultivo	Periodo crítico para helada	Periodo crítico para golpe de calor	
Maíz	No se evaluó	20 días antes de floración hasta 10 días posteriores a inicio de llenado	
Soja	Desde 1 de enero hasta cosecha	Primera flor hasta 10 días posteriores a ini- cio de llenado	

Áreas aptas: Resultados

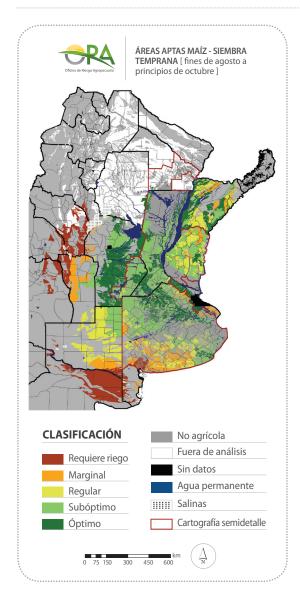
De acuerdo a los dos aspectos hídricos evaluados (la disponibilidad normal de agua en el periodo vulnerable a estrés y la frecuencia de excesos hídricos en el periodo vulnerable a los mismos), se clasificaron las áreas no descartadas en el análisis previo por considerarse no aptas. En el caso del maíz, esta clasificación de aptitud se llevó a cabo considerando como factor favorable el índice de satisfacción hídrica (ISH) y como desfavorable la frecuencia de excesos hídricos (FEH), arribando a la clasificación que se detalla en el **Cuadro 5**, a continuación en página 35. También se consideró la frecuencia de golpe de calor (FGC).

Como consecuencia de este criterio de clasificación, se obtuvieron los resultados de la aptitud en escala 1:50.000 para todas las áreas en que se halló disponible. En el resto del área se evaluó la aptitud solamente en escala 1:500.000. Ver **Figura 14**, a continuación en página 35.

Cuadro 5: Maíz - Clasificación según nivel de satisfacción hídrica, frecuencia de excesos hídricos y frecuencia de golpe de calor

Clasificación de áreas aptas maíz		 Clasificación cia de exceso 	según frecuen- os hídricos Clasificación según frec cia de golpe de calor		egún frecuen- le calor	
de	MUY ALTA ≥ 60%	ÓPTIMA	ALTA 30% - 50%	MUY ALTA ≥ 50%	ALTA 25% - 50%	MUY ALTA > 50%
jún índice de Irica	ALTA 50% - 60% SUBÓPTIMA JECULIAR	ategorías	GORÍA	CATEGORÍAS		
ón segúi ón hídri	MEDIA 40% - 50%	REGULAR	UNA CATE			DOS CATEG
Clasificació satisfacció	RAIA 🗸	BAJA DO	BAJA UI	BAJA DC		
► Cla sat	SÓLO CON RIEGO < 30%		SÓLO APTA C	OMO RIEGO SUPLE	MENTARIO	

Figura 14: Clasificación de áreas aptas para maíz - siembra temprana



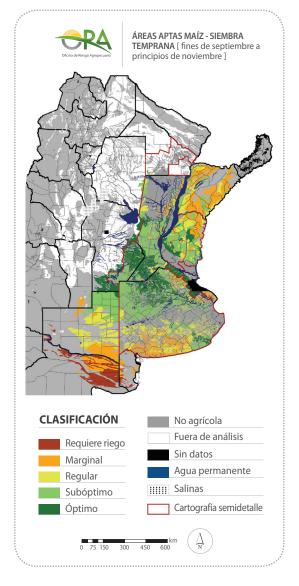
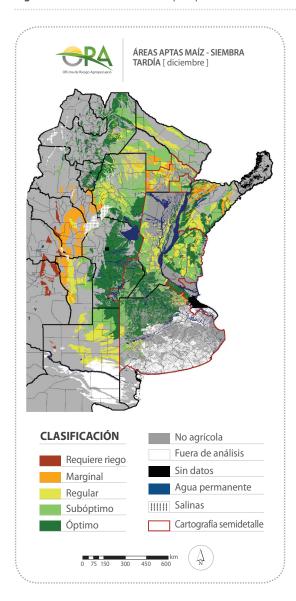
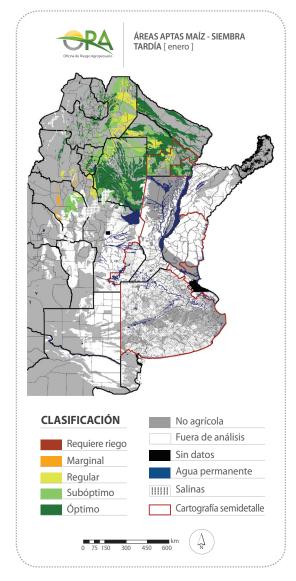


Figura 14: Clasificación de áreas aptas para maíz - siembra tardía





Para soja, además del ISH y la FEH se debe ponderar la probabilidad de helada agronómica en el ciclo del cultivo. Así, la clasificación de áreas aptas para soja incluye este factor como un elemento de disminución de aptitud, como se puede ver en el **Cuadro 6**, a continuación en página 37. Las categorías adjudicadas por nivel de satisfacción hídrica sufren disminuciones en su aptitud según la frecuencia de ocurrencia de excesos hídricos y de helada.

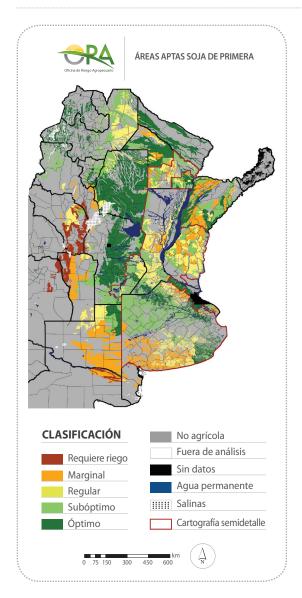
Como consecuencia de este criterio de clasificación, se hallaron los resultados de la clasificación de aptitud en escala 1:50.000 para todas las áreas en que la misma se halló disponible. En el resto del área se evaluó la aptitud solamente en escala 1:500.000. (**Figura 15** página 37).

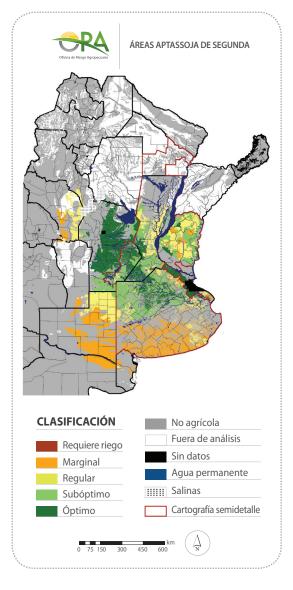
Los mapas de la **Figura 16**, más adelante en página 38, muestran los rendimientos medios departamentales de las últimas 8 campañas (2010-2017) para maíz, soja de primera y soja de segunda, según datos del Ministerio de Agroindustria (estimaciones agrícolas). Como se puede ver, la distribución espacial de departamentos con diferentes rendimientos medios

Cuadro 6: Soja - Clasificación según satisfacción hídrica, frecuencia de excesos hídricos, de helada agronómica y de golpe de calor

	Clasificación de áreas aptas soja		Clasificación según frecuecia de excesos hídricos		Clasificación según frecuencia de helada agronómica		Clasificación según frecuencia de golpe de calor		
sificación según índice de isfacción hídrica	MUY ALTA ≥ 60%	ÓPTIMA	ALTA 30% 50%	BAJA DOS PATIV CATEGORÍAS < VOTEGORÍAS	BAJA UNA %009 CATEGORÍA	BAJA DOS WOO9 WOO8 WOO8 CATEGORÍAS	BAJA TRES MOSS ≥ CATEGORIAS	BAJA UNA CATEGORÍA %05 VATEGORÍA	MUY ALTA > 50%
	ALTA 50% - 60%	SUB- ÓPTIMA							
	MEDIA 40% - 50%	REGULAR	BAJA <mark>UNA</mark> CATEGORÍA						
	BAJA 30% - 40%	MARGINAL							BAJA CATE(
► Clasi satis	SÓLO CON RIEGO < 30%	SÓLO APTA CON RIEGO SUPLEMENTARIO							

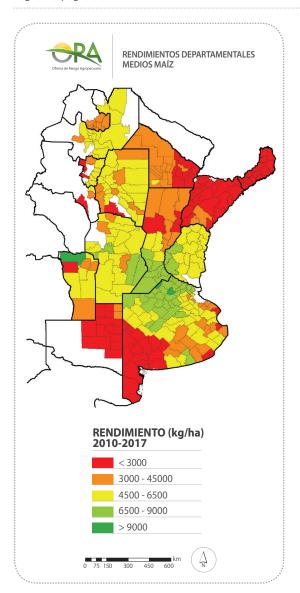
Figura 15: Clasificación de áreas aptas para soja

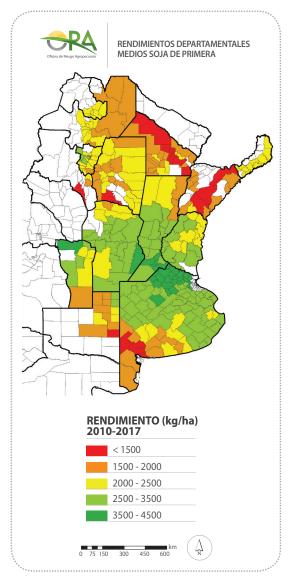




coincide en forma bastante aproximada con la clasificación de aptitud realizada. Se observan mayores diferencias relativas entre categorías de rendimiento medio y categorías de aptitud obtenidos en áreas extrapampeanas. Estas diferencias se asociarían a factores no analizados en esta clasificación, como fertilidad, degradación, aplicación de buenas prácticas agrícolas, nivel tecnológico, riego complementario, entre otros.

Figura 16: Rendimientos medios departamentales (2010-2017) de maíz (izquierda), soja de primera (derecha) y soja de segunda (página 39)





Los mapas obtenidos como resultado de este trabajo permiten mejorar la definición geográfica de áreas con diferentes potenciales dentro de un mismo departamento. Un detalle para el departamento de Gral. López (sur de Santa Fe) se puede apreciar en la **Figura 17**, en página 39: si bien el rendimiento medio departamental para

soja de primera es de 3500 kg/ha (Minagro 2010-2017), se pueden observar los detalles de áreas óptimas (verde oscuro), subóptimas (verde claro), regulares (amarillo) y no aptas (gris). En zonas de aptitud óptima, seguramente el rendimiento esperado es superior al promedio departamental, mientras que en áreas regulares es inferior.

Figura 16: Rendimientos medios departamentales (2010-2017) de soja de segunda

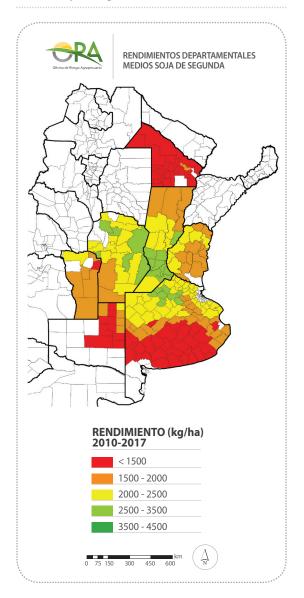
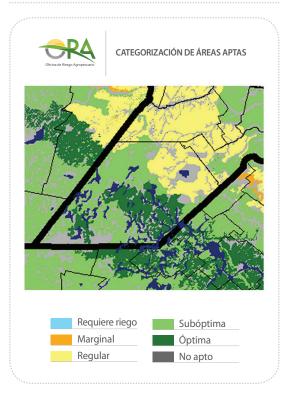


Figura 17: Detalle del departamento Gral. López (sur de Santa Fe): clasificación de áreas aptas para soja de primera



Conclusiones

La metodología adoptada permitió evaluar diferentes aspectos físicos limitantes para los cultivos de maíz y soja a escala nacional y determinar áreas no aptas para estos cultivos. Para la evaluación de la aptitud de los suelos, se utilizaron para las cartas de suelo en 1:50.000 disponibles en formato digital georreferenciado o en su defecto el Atlas de Suelos de INTA a nivel nacional en escala 1:500.000.

El proceso de clasificación a escala 1:500.000 permite la identificación de cada una de las limitantes por las que se las considera no aptas: textura, pendiente, temperatura, precipitación, etc. En cambio, en el análisis a escala 1:50.000, las áreas consideradas no aptas fueron las que se clasificaron por INTA como de uso "no agrícola", sin que quede especificado directamente el o los factores que determinan esa limitación. El uso de cartografía de suelo en escala 1:500.000 en áreas sin información detallada permite tener una idea general de la aptitud

local, aunque debería rehacerse el análisis cuando se halle disponible la cartografía en escala 1:50.000 actualmente relevada pero no disponible en formato digital y con los atributos necesarios asociados. Por otro lado, para la evaluación de aptitud agroclimática se utilizaron series meteorológicas históricas del periodo 1980-2017, siendo esta información de baja densidad geográfica en vastas zonas extrapampeanas.

A pesar de las limitaciones en la información básica, los resultados no mostraron clasificaciones inesperadas o contrarias a la experiencia de los profesionales y técnicos que la evaluaron y acordes con las percepciones cualitativas de los expertos. Sin embargo, las diferencias halladas en escala 1:50.000 y 1:500.000 en la evaluación de los niveles de satisfacción hídrica en los periodos críticos de los cultivos -en áreas donde ambas cartografías se hallan disponibles- pone de manifiesto la importancia de contar con un mejor detalle en la información edáfica.

Este tipo de cartografía permite identificar los factores que determinan que un cultivo no exprese su máximo rendimiento potencial, por lo tanto, tiene utilidad para diseñar estrategias de gestión de riesgos y manejo productivo diferenciadas para estos distintos ambientes, que permitan reducir la brecha entre los rendimientos actuales y los potenciales.

Asimismo, en relación a su posible aplicación en los seguros multirriesgo, permite fundamentar técnicamente la necesidad de diferenciar primas o el rendimiento asegurado en zonas de diferente aptitud dentro de un partido o departamento. De esta forma, por ejemplo, un productor que se encuentra en una zona óptima en un departamento debería poder asegurar un rendimiento esperado superior al de

una zona regular, y esto reduciría la selección adversa que se produce actualmente al garantizar un porcentaje del rendimiento promedio del departamento.

En relación al uso de esta zonificación para el ordenamiento territorial, se debe mencionar que el permanente desarrollo tecnológico aplicado a la obtención de nuevas variedades y genotipos de cultivos más resistentes a limitaciones térmicas e hídricas, o bien con ciclos fenológicos distintos a los que actualmente se utilizan, determinan la necesidad de revisar y actualizar la clasificación actual en forma periódica.

Por otra parte, teniendo en cuenta que esta cartografía está disponible para ser operada en Sistemas de Información Geográficos, sería recomendable complementarla con otros factores que no se tienen en cuenta en esta metodología como degradación de suelos, riesgo de erosión, calidad de agua de las napas, etc., enriqueciendo su aplicación para la planificación y uso sostenible de tierras.

El análisis de aptitud edafoclimática para cultivos específicos nunca se hallará cerrado, ya que es plausible de futuras mejoras sucesivas en la metodología adoptada. En el futuro podría contarse además con mejor información meteorológica y cartografía de suelos más detallada que contribuirían sustancialmente en la mejora del producto. También será necesario ir incorporando los requerimientos de nuevas variedades, posiblemente más resistentes o adaptables a determinadas limitaciones. Sin embargo este es un primer paso importante en el proceso de ponderar y cartografiar niveles de aptitud a nivel nacional para los principales cultivos extensivos y la información derivada de este análisis resulta potencialmente aplicable a múltiples propósitos.

referencias

Relacionadas con la metodología empleada

- FAO (1998). Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements FAO irrigation and drainage paper 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/pdf/Allen_FAO1998.pdf
- FAO (2002). Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results. International Institute for Applied Systems Analysis (Laxenburg, Austria), Food and Agriculture Organization of the United Nations (Rome, Italy). http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf
- FAO (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua Estudio FAO: Riego y Drenaje 66, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf
- Basualdo, Adriana (2011). Herramientas para la evaluación y gestión del riesgo climático en el sector agropecuario. Capítulo 5: Balance hídrico diario para cultivos específicos. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.
 - http://www.ora.gov.ar/archivos/Libro_MAGyP/Libro_MAGyP_cap5.pdf
- Günther Fischer, Günter; H. van Velthuizen; M. Shah; F. Nachtergaele (2002). Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results. RR-02-02. FAO. http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/6667/1/RR-02-002.pdf
- Senay, Gabriel (2014). Crop Water Requirement Satisfaction Index (WRSI): Model Description. FAO. http://iridl.ldeo.columbia.edu/documentation/usgs/adds/wrsi/WRSI_readme.pdf
- Steduto, Pasquale; T.Hsiao; E. Fereres; D. Raes (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Estudio FAO: Riego y Drenaje 66. FAO. http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf

Relacionadas con la determinación de limitaciones y requerimientos de los cultivos

- Andriani, J. M. INTA Oliveros, Santa Fe. Estrés Hídrico en Soja. Idia XXI: revista de información sobre investigación y desarrollo agropecuario (2002). Páginas 48-51. Argentina.
- Bilbao, Esteban. Agroestudio Viento Sur SRL, Regional Necochea de Aapresid. Citando las siguientes fuentes: Andrade F.H. y Sadras V.O., (2000). Bases para el manejo del Maíz, el Girasol y la Soja. Editorial Médica Panamericana S. A. Argentina.
- Castiglione, Marta. INTA Oliveros. Santa Fe, Argentina. https://www.santafe.gob.ar/index.php/web/content/download/57995/282564/file/Descargar.pdf
- Deras Flores, Héctor (2010). Guía técnica del cultivo de maíz. IICA. San Salvador. http://repiica.iica.int/DOCS/B3469E/B3469E.PDF
- Ernst, O. y M. Bianculli (2013). Rendimiento, fenología y uso de agua en intersiembra trigo-soja con relación a cultivos secuenciales y cultivo de cobertura-soja. Agrociencia Uruguay: versión On-line ISSN 2301-1548. Vol.17 no.2. Montevideo, Uruguay. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482013000200004
- FAO (2001). El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. Estreses abióticos que afectan al maíz. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s12.htm
- Gonzáles Montaner J., (2016). Mar y Sierras Cultivos de Gruesa. JAT Gruesa CREA Zona Mar y Sierras. Argentina.
- Massigoge, José Ignacio. INTA MAA Barrow (2012). Soja de segunda: manejo de grupos según fecha para maximizar el rinde. Unidad: Chacra Experimental Integrada Barrow, Tres arroyos, Argentina.
- Pascale, A.J y E.A. Damario (1977). El balance hidrológico seriado y su utilización en estudios agroclimáticos. Revista de la facultad de agronomía 53(1-2). Páginas 15-34. La Plata, Argentina.
- Pascale, A.J. y E. A. Damario (2004). Bioclimatología agrícola y agroclimatología. Libro Editorial Facultad de Agronomía UBA. Regiones Térmicas. Páginas 442-446. Buenos Aires, Argentina.
- Satorre, E. H; Benech Arnold, R. L; Slafer, G. A; de la Fuente, Elba B; Miralles, D. J; Otegui, M. E; Savin, R. (2003). Libro Producción de Granos. Editorial Facultad de agronomía UBA. Buenos Aires, Argentina.
- Whigham, D.K. (1983). Soybean: Sympo sium on Potential Productivity of Field Crops Under Different Environments. 1st Edn., International Rice Research Institute, Philippines, ISBN: 971-104-114-6 pp: 205-225.





Secretaría de Agroindustria



