

## ZONIFICACIÓN DE RIESGOS CLIMATICOS PARA SOPORTE DEL CULTIVO AGRICOLA EN EL ESTADO DE PARANA, BRASIL.

Paulo Henrique CARAMORI<sup>1</sup>, Wilian da Silva RICCE<sup>2</sup>, João Henrique CAVIGLIONE<sup>1</sup>, Eduardo Delgado ASSAD<sup>3</sup>, Balbino Antônio EVANGELISTA<sup>3</sup>, Heverly MORAIS<sup>1</sup>, Francisco Paulo CHAIMSOHN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR, Londrina-PR, Brasil*

<sup>2</sup>*Agroconsult Ltda., Rio de Janeiro, RJ, Brasil*

<sup>3</sup>*Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP, Brasil*

caramori@iapar.br, wilianricce@gmail.com, caviglione@iapar.br, assad@cnptia.embrapa.br, balbino@cnptia.embrapa.br, heverly@iapar.br, chaimsohn@iapar.br

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue realizar la zonificación de riesgo climático para las principales especies vegetales cultivadas en el estado de Paraná, Brasil. Para cada cultura fueron determinados los factores de riesgo que pueden afectar la producción, estableciéndose límites de deficiencia hídrica, heladas, temperaturas elevadas y excesos de lluvias en la cosecha, para especies anuales y perennes. Para cultivos anuales los riesgos fueron calculados por períodos de diez días, simulando épocas de siembra a partir del inicio de la estación y estableciéndose criterios de corte en fases sensibles del ciclo. Los resultados fueron transferidos para un Sistema de Información Geográfica y espacializados. Las épocas de siembra que presentaron riesgo inferior a 20% para todos los factores considerados fueron indicadas. Para las especies anuales los municipios fueron clasificados como aptos o inaptos. Los resultados obtenidos fueron validados por medio de verificaciones locales con especialistas y productores. Las indicaciones de épocas y regiones de cultivo son utilizadas por el gobierno federal para establecer normas para concesión de crédito y seguro agrícola con menores tasas. Análisis demuestran que existen grandes beneficios para los productores por medio de la disminución de los riesgos y aumento de potencial productivo.

**Palabras claves:** época de siembra, regionalización, deficiencia hídrica, heladas, exceso de lluvias.

### ABSTRACT

The objective of this work was to perform the climatic risk zoning for the main plant species grown in the state of Paraná, Brazil. For each crop the risk factors that could reduce production were determined, through the establishment of thresholds for water deficit, frosts, high temperatures and excess of rainfall at harvest, for yearly and perennial species. For the yearly crops the risks were calculated each ten-day periods, simulating sowing dates from the beginning of the rainy season and establishing cutting criteria during sensitive phases of the crop cycle. The results were transferred to a Geographic Information System and mapped. The sowing times with risk lower than 20% for all the considered factors were indicated. For the perennial species the municipalities were classified as apt or inapt. The results were validated through local verification with specialists and producers. The indications of planting dates and

growing regions are used by the federal government to establish rules for credit and insurance with lower rates. Analyzes have shown that there are great benefits to the producers through decrease of risks and increase of the producing potential.

**Key words:** Planting dates, regionalization, water deficit, frost, excess rainfall.

## 1. INTRODUCCIÓN

El estado de Paraná se localiza en una región de transición climática, entre latitudes de 22°30' S y 26°30' S, en altitudes que varían desde el nivel del mar hasta 1300 m. En estas condiciones las temperaturas medias anuales varían desde 15°C en las áreas elevadas del sur hasta 24° C en el extremo norte (CAVIGLIONE *et al.*, 2000). De acuerdo con la clasificación climática de Koepfen, existen dos tipos climáticos en el estado, Cfa en el norte y litoral y Cfb en las áreas elevadas del sur.

La gran diversidad de condiciones regionales del Paraná, juntamente con suelos muy fértiles posibilita el cultivo de varias especies agrícolas y posicionan este estado como el mayor productor brasilero, respondiendo con cerca del 23% del total producido, según el Instituto Brasileiro de Geografía y Estadística.

Si por un lado la diversidad climática representa una gran riqueza para el estado, por otro lado se hace necesario un profundo conocimiento de las condiciones regionales para optimizar el cultivo de cada especie agrícola. Mientras en el norte el régimen de heladas es esporádico y la deficiencia hídrica es frecuente, en el sur ocurren heladas frecuentes y las lluvias son abundantes.

Con la finalidad de dar soporte a un programa de orientación de siembra, en que el gobierno brasilero pudiese orientar el crédito y el seguro agrícola por medio de indicaciones seguras de donde plantar y cuales son las mejores épocas de siembra, se realizó un amplio estudio de zonificación de los riesgos climáticos en el estado de Paraná.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Bases de datos

#### 2.1.1 Datos Meteorológicos

Fueron utilizadas series históricas de datos meteorológicos de la red de 32 estaciones del IAPAR en el estado de Paraná, con datos recogidos a partir de 1958. Las siguientes variables fueron analizadas: temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, humedad relativa, velocidad del viento a 2 metros, insolación y radiación solar global. Datos adicionales de precipitación de 124 puestos también fueron cedidos por la Superintendencia de Desenvolvimiento de Recursos Hídricos y Saneamiento del estado de Paraná (FIGURA 1).

#### 2.2.2 Datos de suelos

Se utilizó el mapa de identificación de los suelos del estado de Paraná en la escala 1:600.000, para determinar la capacidad de retención de agua de los suelos predominantes regionalmente

(EMBRAPA, 1984). Con base en las características físico-hídricas de estos suelos fueron definidas tres clases: a) suelos con baja retención de agua (7% de agua disponible); b) suelos con retención de agua intermediaria (10% de agua disponible); c) suelos con elevada capacidad de retención de agua (12% de agua disponible). La Capacidad de agua Disponible (CAD) para cada cultura fue estimada con base en la profundidad de desenvolvimiento de las raíces.

### 2.2.3 Datos de altitud

Fueron utilizados los datos de elevación de terreno con 90 m de resolución obtenidos de "Shuttle Radar Topographic Mission" (SRTM 90).

### 2.2.4 Datos experimentales

Todos los datos experimentales obtenidos por los equipos de investigación del IAPAR a partir de 1976 fueron utilizados para auxiliar la definición de los cultivos y períodos de cultivo.

### 2.2.5 Datos estadísticos de producción

Los datos históricos de producción de los cultivos por municipios fueron obtenidos del Instituto Brasileiro de Geografía y Estadística (IBGE). Estos datos fueron utilizados para verificar la producción y la productividad en todo el estado.

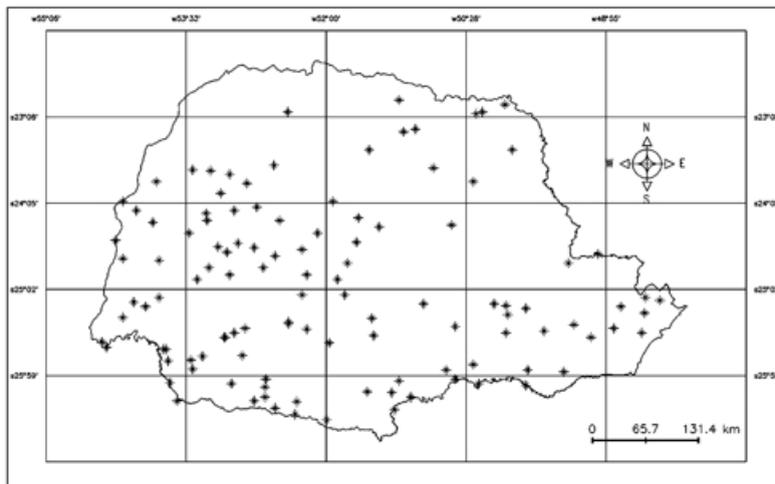


Figura 1. Área de estudio destacando la localización de las estaciones meteorológicas.

## 2.2 Análisis de riesgos climáticos

**2.2.1 Riesgo de deficiencia hídrica** - Para los cultivos anuales, se utilizó el modelo de balance hídrico climático SARRAZON (BARON *et al.*, 1996) para estimar el Índice de Satisfacción de las Necesidades de Agua (ISNA) en el período de florecimiento y formación de los granos, cuando los cultivos son mas sensibles. El ISNA es la relación entre la Evapotranspiración de Referencia ( $ET_0$ ) y la Evapotranspiración Máxima de el cultivo ( $ET_m$ ). La  $ET_0$  es estimada con datos de la estación meteorológica, por medio del método de Penman-Monteith y la  $ET_m$  es obtenida multiplicándose la  $ET_0$  por el respectivo coeficiente de cultura ( $K_c$ ) de cada fase fenológica de el cultivo analizada. Los valores de  $K_c$  son determinados experimentalmente, por

medio de la relación entre  $ET_m$  e  $ET_0$  durante el ciclo de los cultivos y fueron obtenidos con base en datos de literatura (DOORENBOS & KASSAM, 1979). El modelo fue rodado para los tres tipos de suelos y para cultivares de ciclos precoz, medio y tardío. Los valores medios de ISNA en el período de florecimiento y formación de los granos deben ser superiores a 0,5 en 80% de los años, de lo contrario la región es considerada inepta por deficiencia hídrica, para siembras en aquel periodo. Las simulaciones fueron hechas a cada diez días para una amplia faja de épocas de siembra, y solamente las épocas con riesgo debajo del límite permitido fueron indicadas para cada municipio.

Para cultivos perennes se utilizó el Balance Hídrico de THORNTHWAITE & MATTER (1955) considerándose almacenamiento inicial de 125 mm de agua en el suelo y verificándose la frecuencia de ocurrencia de deficiencia hídrica en las series históricas de datos meteorológicos.

*2.2.2 Riesgo de heladas* - Fueron utilizadas las series históricas de temperatura mínima inferiores a 3°C, observadas en el interior del abrigo meteorológico de 32 estaciones de IAPAR localizadas en el Paraná para calcular el riesgo de heladas. Este límite corresponde a temperaturas en superficie del suelo inferiores a 0°C (GRODZKI et al., 1996). Fueron calculadas las probabilidades de ocurrencia de esas temperaturas por períodos de diez días, las cuales fueron correlacionadas con altitud y latitud, obteniéndose ecuaciones de regresión múltiple para cada diez días. A partir de esas ecuaciones fueron mapeados los riesgos de heladas en función de altitud y latitud para todo el Paraná, utilizando la base de altitud del SRTM 90. Para los cultivos de verano, la helada fue un factor restrictivo para inicio de siembra y para completar la maduración. En el caso de la cultivo del trigo, el período de espigamiento y formación de los granos no puede coincidir con riesgo de heladas encima de lo permitido. En el caso de los cultivos perennes sensibles, como el café, la región debe presentar riesgo mínimo anual de heladas debajo del límite permitido.

*2.2.3 Riesgo de temperaturas elevadas* - Algunas cultivos, como el frijol y el café son sensibles a altas temperaturas en el período de florecimiento. Así, se estiman las probabilidades de que ocurran temperaturas máximas encima de 32°C en períodos críticos de los cultivos, correlacionándose los valores con altitud y latitud y generándose los mapas conforme descripto en el ítem anterior.

*2.2.4 Riesgo de exceso de lluvias en la cosecha* - Se consideró que cuando llueva más que 50 mm en cinco días consecutivos en el período de cosecha, siendo por lo menos 3 días con lluvias, hay pérdidas en la calidad de los granos. Así, se determinaron las probabilidades de ocurrir estos valores en todo el estado.

Para todas las variables de riesgo, se admitió la probabilidad máxima de 20% de ocurrencia en los períodos críticos. Los resultados obtenidos para cada estación meteorológica fueron transferidos para un Sistema de Información Geográfica, donde fueron cruzados para generación de mapas indicando los municipios aptos al cultivo de las diferentes especies.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 1 e 2 son presentadas las ecuaciones de regresión para estimativa de riesgo de temperaturas mínimas de abrigo inferiores a 3°C y temperaturas máximas superiores a 30°C, respectivamente, en función de altitud y latitud. Se verificó que la longitud no ejerce efecto significativo sobre las temperaturas en el Paraná. Los coeficientes de determinación en general fueron elevados, lo que permitió una buena estimativa de los riesgos.

Periodo	a	Lat	Lon	Alt	r <sup>2</sup>
1-10 mayo	-0,54246	-0,01522	-0,00117	0,000224	0,525
11-20 mayo	-0,38162	-0,02809	0,008258	0,000282	0,708
21-31 mayo	-1,26956	-0,08673	0,019470	0,000487	0,858
1-10 junio	-1,35128	-0,09327	0,017988	0,000342	0,785
11-20 junio	-1,19752	-0,09073	0,021827	0,000442	0,834
21-30 junio	-1,67931	-0,12834	0,029017	0,000454	0,913
1-10 julio	-1,70219	-0,10831	0,020124	0,000476	0,912
11-20 julio	-1,76441	-0,13116	0,026484	0,000417	0,889
21-31 julio	-1,96391	-0,13589	0,026202	0,000511	0,915
1-10 agosto	-0,43977	-0,11052	0,046027	0,000480	0,911
11-20 agosto	-1,14701	-0,08119	0,018949	0,000458	0,897
21-31 agosto	-1,18828	-0,06062	0,00898	0,000448	0,817
1-10 septiembre	-0,94803	-0,04580	0,006213	0,000365	0,740
11-20 septiembre	-0,85894	-0,03798	0,004051	0,000330	0,835

Cuadro 1. ECUACIONES DE ESTIMATIVA DE RIESGO DE TEMPERATURAS MÍNIMAS INFERIORES A 3°C EN EL ABRIGO METEOROLÓGICO EN EL ESTADO DE PARANÁ, BRASIL. A = CONSTANTE DE REGRESIÓN, LAT = LATITUD, LON = LONGITUD, ALT = ALTITUD, R<sup>2</sup> = COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN.

El período mas crítico para ocurrencia de heladas en el norte va de junio a inicio de agosto, mientras que en las áreas mas frías del sur hay riesgo desde el inicio de mayo o final de setiembre (Figura 2).

Temperaturas elevadas encima de 32°C pueden ocurrir en los meses de octubre a marzo, dependiendo de la región (Figura 3). Para el cultivo de frijol, en caso de que el florecimiento ocurra en el período entre noviembre y marzo en el norte y oeste del estado hay grande riesgo de abortamiento de las flores y pérdidas de productividad.

Excesos de lluvia en el período de cosecha ocurren de setiembre a febrero y son mas frecuentes en las latitudes superiores a 24°S (Figura 4). Los cultivos de frijol y algodón, durante el verano y trigo, durante el otoño-invierno son las mas afectadas, pudiendo haber perdidas expresivas en caso de que el período de cosecha coincida con la época mas lluviosa

Periodo	a	Lat	Lon	Alt	r <sup>2</sup>
1-10 septiembre	1,170706	0,012023	0,013059	-0,00022	0,537
11-20 septiembre	1,351715	0,019492	0,011593	-0,00029	0,628
21-30 septiembre	1,507299	0,024341	0,011050	-0,00036	0,642
1-10 octubre	1,801323	0,038839	0,005544	-0,00058	0,638
11-20 octubre	2,633383	0,027579	0,025067	-0,00071	0,779
21-31 octubre	3,245366	0,036417	0,023029	-0,00124	0,853
1-10 noviembre	4,06943	0,032880	0,042648	-0,00116	0,824
11-20 noviembre	2,340704	0,021388	0,014725	-0,00112	0,897
21-30 noviembre	2,009968	-0,02053	0,024470	-0,00140	0,839
1-10 diciembre	0,774329	-0,02294	0,001037	-0,00139	0,899
11-20 diciembre	1,350458	-0,05143	0,027307	-0,00136	0,837
21-31 diciembre	0,325691	-0,07099	0,015616	-0,00144	0,830
1-10 enero	-0,55968	-0,08643	0,008469	-0,0013	0,794
11-20 enero	1,747233	-0,03476	0,026391	-0,00138	0,826
21-31 enero	1,008636	-0,04928	0,017155	-0,00150	0,824
1-10 febrero	1,426618	-0,05763	0,034222	-0,00124	0,804
11-20 febrero	1,825526	-0,05209	0,040604	-0,00118	0,799
21-28/29 febrero	2,065720	-0,03476	0,033912	-0,00133	0,832
1-10 marzo	1,626697	-0,02607	0,021497	-0,00129	0,845
11-20 marzo	2,581814	-0,00450	0,033398	-0,00108	0,818
21-31 marzo	2,715770	-0,00739	0,041097	-0,00089	0,753

Cuadro 2. ECUACIONES DE ESTIMATIVA DE RIESGO DE TEMPERATURAS MÁXIMAS SUPERIORES A 30°C EN EL ESTADO DE PARANÁ, BRASIL. A = CONSTANTE DE REGRESIÓN, LAT = LATITUD, LON = LONGITUD, ALT = ALTITUD, R<sup>2</sup> = COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN.

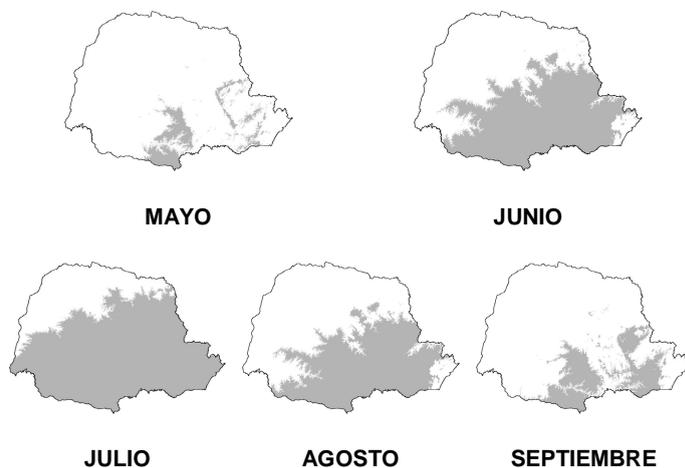


Figura 2. Riesgo de heladas en el Paraná en el periodo de 11 a 20 de los meses de mayo a septiembre. Las áreas sombreadas representan más de 20 % de riesgo.

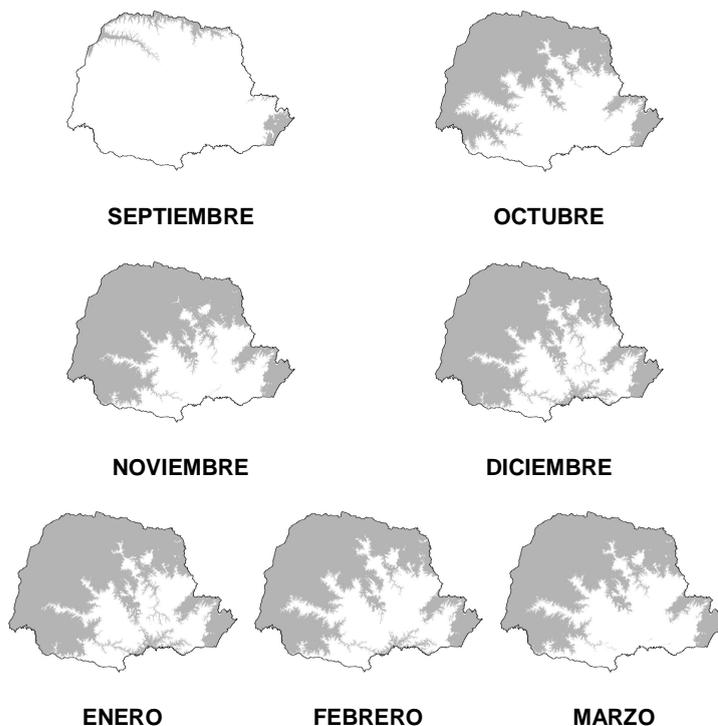


Figura 3. Riesgo de temperaturas máximas encima de 32°C en el periodo de 11 a 20 de los meses de septiembre a marzo en el estado de Paraná, Brasil. Las áreas sombreadas representan más de 20 % de riesgo.

La deficiencia hídrica no fue limitante para el cultivo de especies perennes, pero los cultivos anuales presentaron riesgos encima de los límites aceptables, dependiendo de la región o época de siembra. De una manera general en el norte del estado los riesgos son mayores. Cultivos como arroz y frijol tienen restricciones severas al cultivo por deficiencia hídrica en esas regiones.

La figura 5 muestra un ejemplo de recomendaciones de las épocas de siembra de menor riesgo para los cultivos anuales. La figura 6 muestra la zonificación de el cultivo del café, indicando las áreas aptas de acuerdo con el riesgo permitido de ocurrencia de heladas.

Hasta ahora, 18 cultivos fueron zonificadas en el estado de Paraná y hay recomendaciones de siembra oficial, conforme Cuadro 1. Los períodos recomendados comprenden el inicio y final de la época de plantación en todo el estado, pero cada municipio recibe una indicación de mejor período, de acuerdo con el nivel de riesgo envolvió. Caso el riesgo de alguna de las variables analizadas ultrapase 20%, el municipio es considerado inepto al cultivo de aquella especie y no aparece en las indicaciones.



Figura 4. Riesgos de exceso de lluvias en el periodo de 11 a 20 de cada mes en el estado de Paraná, Brasil. Las áreas sombreadas representan más de 20 % de riesgo.

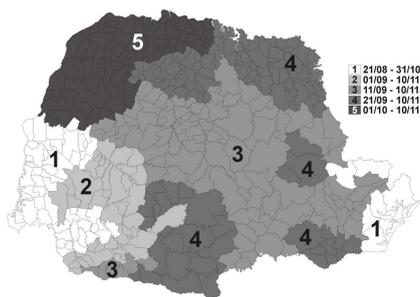


Figura 5. Indicación de las áreas aptas y mejores épocas de siembra para el cultivo del maíz en el estado de Paraná, Brasil.

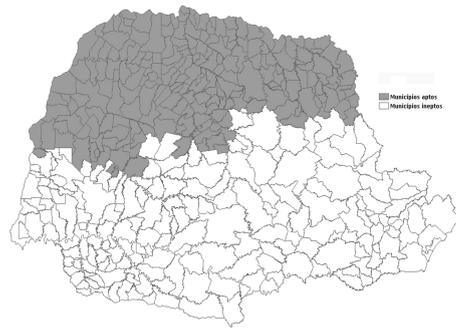


Figura 6. Regiones aptas e ineptas al cultivo del café en el estado de Paraná, Brasil, de acuerdo con el riesgo de heladas. Las áreas sombreadas son aptas al cultivo.

Las informaciones de época de siembra de cada cultura por municipio son enviadas al Ministério de Agricultura, Pecuária y Abastecimento (MAPA), que publica las recomendaciones en el Diario Oficial de la Unión. Los decretos están disponibles en el sitio de MAPA para consulta ([www.agricultura.gov.br](http://www.agricultura.gov.br)). Esta publicación es utilizada por el Banco do Brasil para conceder crédito a los productores para estimular la producción. A demás de eso, los agricultores que desean contratar el seguro agrícola necesariamente precisan seguir la zonificación agrícola.

### 3.1. Beneficios de la zonificación de riesgos climáticos

Antes de la implantación de la zonificación, no había clara definición de cuales cultivos y épocas de siembra en las cuales los riesgos climáticos serían menores para los diversos municipios paranaenses. Debido a esto las perdidas eran elevadas, a tal punto de tornarse no viable el seguro agrícola oficial. Después de la implantación de zonificación en nivel nacional, el seguro oficial volvió a tener superávit y las productividades aumentaron sensiblemente. La zonificación pasó también a ser un inductor de uso de las tecnologías disponibles, pues al contratar el crédito para financiar la siembra el agricultor es obligado a utilizar cultivares recomendadas y prácticas agronómicas adecuadas. Gracias a este trabajo actualmente los agricultores cuentan con orientaciones seguras para producir.

Con la finalidad de demostrar los impactos de zonificación, se preparó un breve ejemplo utilizando el cultivo de maíz de primera cosecha. Según datos presentados por IAPAR con base en experimentos de épocas de siembra en diversos locales de Paraná, si no es hecha la siembra en el período correcto la productividad puede disminuir de 10 a 40%. Como ejemplo, se asume que las pérdidas en la productividad serían de 10% y que 20% de los agricultores no sembraran en el período ideal. El estado de Paraná es el principal productor brasilero de maíz, con una producción de aproximadamente 9 millones de toneladas, con valor en torno de 1,2 billones de euros. En este escenario los daños anuales serían equivalentes a 25 millones de euros debidos a la siembra en la época incorrecta, solamente con esta cultura.

Cultivos	Área <sup>1</sup> (ha)	Períodos recomendados <sup>2</sup>
Algodón	13.890	01 de octubre a 30 de noviembre
Ciruella	900	01 de julio a 31 de agosto
Maní	5.026	11 de setiembre a 31 de enero
Arroz de Secano	59.804	21 de agosto a 30 de noviembre
Café	100.319	11 de setiembre a 31 de mayo
Cevada	32.606	11 de mayo a 30 de junio
Frijol 1 <sup>a</sup> cosecha	361.233	11 de junio a 31 de octubre
Frijol 2 <sup>a</sup> cosecha	213.956	01 de diciembre a 28/29 de febrero
Frijol 3 <sup>a</sup> cosecha	14.861	11 de febrero a 10 de abril
Girasol <sup>3</sup>	1.485	01 de agosto a 31 de marzo
Manzana	1.864	01 de julio a 31 de agosto
Mamona	549	21 de agosto a 10 de febrero
Mandioca	172.951	01 de junio a 30 de setiembre
Maíz	1.465.755	21 de agosto a 10 de noviembre
Maíz 2 <sup>a</sup> cosecha	947.999	01 de enero a 10 de marzo
Pelón	250	01 de julio a 31 de agosto
Pera	215	01 de julio a 31 de agosto
Durazno	1.746	01 de julio a 31 de agosto
Soja <sup>4</sup>	3.931.721	01 de octubre a 31 de diciembre
Trigo	885.163	11 de marzo a 20 de julio

Cuadro 1. CULTIVOS ZONIFICADOS, ÁREA CULTIVADA Y PERÍODOS INDICADOS DE SIEMBRA. <sup>1</sup>DATOS SEAB/DERAL PR. <sup>2</sup>MINISTÉRIO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA Y ABASTECIMIENTO. <sup>3</sup>REALIZADO EN ASOCIACIÓN CON EMBRAPA SOJA. <sup>4</sup>REALIZADO POR LA EMBRAPA SOJA.

#### 4. CONCLUSIONES

La zonificación de riesgos climáticos implantado en el estado de Paraná contribuye para optimizar las condiciones de cultivo agrícola, estabilizando la productividad y trayendo mayores retornos a los productores.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Al Ministério da Agricultura, Pecuária y Abastecimento (MAPA) de Brasil por el soporte en la realización de este trabajo.

#### 6. REFERENCIAS

- BARON, C.; PEREZ, P.; MARAUX, F. *Sarrazon: bilan hydrique applique au zonage*. Montpellier: CIRAD-CA, 1996. 26p.
- CAVIGLIONE, J. H.; CARAMORI, P.H.; KIHIL, L.R.B.; OLIVEIRA, D. *Cartas Climáticas do Paraná*. Londrina, 2000. IAPAR. (CD-ROM).

- DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. Yield response to water irrigation and drainage. Rome: FAO, 1979. 193 p.
- GRODZKI, L.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. Riscos de ocorrência de geada no estado do Paraná. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.4, n.1, p.93-99, 1996.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. (Rio de Janeiro - RJ) *Levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Paraná*. Londrina: IAPAR, 2v, 1984.788p.
- THORNTHWAITTE, C.W.; MATTER, J.R. The water balance. Publications in Climatology, 8, Centerton, New Jersey, 1955.