

# Análisis espacio temporal del riego por pivote central en la provincia de Buenos Aires en el período 1995-2015

*Barrionuevo, Néstor<sup>1</sup>; German, leonardol<sup>1</sup>; Waldman, Cynthia<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup>Instituto de Clima y Agua. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

E-mail: [Barrionuevo.nestor@inta.gob.ar](mailto:Barrionuevo.nestor@inta.gob.ar); [German.leonardo@inta.gob.ar](mailto:German.leonardo@inta.gob.ar); [Waldman.cynthia@inta.gob.ar](mailto:Waldman.cynthia@inta.gob.ar)

## RESUMEN

El advenimiento del riego por aspersión en cultivos extensivos mediante el sistema de pivote central en la República Argentina pudo realizarse por la implementación de políticas públicas orientadas a la disminución en los aranceles de importación de bienes de capital, que permitió incorporar nuevas tecnologías de riego a principios de la década del noventa. El objetivo de este trabajo consistió en realizar un análisis espacio temporal de los círculos de riego por pivote central, resultantes de la utilización de sistemas de riego complementario en cultivos extensivos en la provincia de Buenos Aires en el período 1995-2015. Para tal fin se utilizaron imágenes provenientes del sensor Thematic Mapper del satélite Landsat 5, Extended Thematic Mapper del satélite Landsat 7 y Operational Land Imager del Landsat 8, obtenidas del Servicio Geológico de Estados Unidos. Como metodología se empleó la clasificación visual de las mismas, generando capas de información en formato vectorial que se incorporaron a un sistema de información geográfica. Como resultado preliminar del análisis, se observó la preponderancia de círculos de riego en la zona norte, específicamente en los partidos de Pergamino; Rojas; Salto; Bartolomé Mitre y Carmen de Areco, en el Sudeste, en los partidos de Balcarce; Lobería y General Alvarado y en el Sudoeste en Coronel Suarez y General La Madrid.

# Space-time analysis of irrigation by center pivot in the Buenos Aires province in the period 1995-2015

*Barrionuevo, Néstor<sup>1</sup>; German, leonardo<sup>1</sup>; Waldman, Cynthia<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup>Instituto de Clima y Agua. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

E-mail: [Barrionuevo.nestor@inta.gob.ar](mailto:Barrionuevo.nestor@inta.gob.ar); [German.leonardo@inta.gob.ar](mailto:German.leonardo@inta.gob.ar); [Waldman.cynthia@inta.gob.ar](mailto:Waldman.cynthia@inta.gob.ar)

## **ABSTRACT**

The advent of sprinkler irrigation in field crops through the system of center pivot in Argentina could be realized due the implementation of public policies aimed at the reduction in customs fees on capital goods, which allowed to incorporate new irrigation technologies to be held in the early nineties. The aim of this study was to conduct an analysis of spatiotemporal center pivot irrigation as supplementary irrigation system in field crops in the Buenos Aires province from 1995 to 2015. For this purpose, images from the sensor Thematic Mapper on Landsat 5 Thematic Mapper Extended Landsat 7 and Operational Land Imager on Landsat 8, obtained from the US Geological Survey were used. Visual classification of satellite imagery was used as main methodology, generating layers of information in vector format that were incorporated into a geographic information system (GIS). As a preliminary result of the analysis, the preponderance of irrigation circles was observed in the north, specifically in the next departments: Pergamino; Rojas; Salto; Bartolome Mitre and Carmen de Areco, in the Southeast, in the next departments: Balcarce; Lobería and General Alvarado and Southwest in Coronel Suarez and General La Madrid.

## INTRODUCCIÓN

El agua como elemento primordial para la existencia humana y el desarrollo de la vida, adquiere especial importancia para la producción de alimentos, ya sea por su déficit en las regiones áridas y semiáridas, o por exceso como ocurre en vastas zonas anegables o inundables del país, condicionando de este modo el desarrollo de la agricultura (FECIC 1988).

Según la FAO se prevé un aumento demográfico que llegará a 9.400 millones de personas para el año 2050 lo que demandará un aumento de dos terceras partes en la superficie arable global, incorporándose a la agricultura áreas desérticas mediante riego (Melani *et al.*, 2015). Utilizar los recursos naturales de manera racional para hacer frente al reto de alcanzar la seguridad alimentaria es un desafío que ha puesto de relieve la importancia del riego posibilitado por el avance de la tecnología que permite proveer de agua de buena calidad a la producción agropecuaria.

En Argentina, las culturas precolombinas ya utilizaban el riego en zonas que hoy comprenden las provincias de Salta, Jujuy y Mendoza. En el año 1909 se promulga la Ley Nacional de Irrigación N° 6546 con miras a la realización en el país de gran cantidad de obras de regadío (Chambouleyron *et al.*, 2005). A partir de la década del 50 con la aparición de la bomba de profundidad se comienza a utilizar el agua subterránea para la agricultura bajo riego, actividad que se fue incrementando en todo el país.

El primer prototipo de un equipo de riego basado en pivote central fue desarrollado en 1948 por Frank Zybach en la zona de Nebraska, E.E.U.U (Evans *et al.*, 2001). En la Argentina ingresaron en 1980 los primeros equipos de riego por pívot central con avance eléctrico y/u oleo hidráulico (Bragachini, 2009), y para el año 2002 ya había alrededor de 2500 pivotes instalados (Requena y Martínez 2010), llegando a los 3500 equipos en 2012, con un incremento del 40% (Zelmer *et al.*, 2010).

Se entiende por “área regada” a los terrenos que se están regando en un momento determinado del año (Montesinos, *et al.*; 2007). El área cultivada bajo riego en la Argentina se ha ido incrementando de manera importante en los últimos 40 años. En 1970 esta área abarcaba 1.066.143 hectárea (ha.) (Chambouleyron, *et al.*, 1983), en 1989 se incrementó a 1.760.000 ha. según la FAO y descendió a 1.650.000 ha. en 2005 (Aquastat, 2014), para tener un importante crecimiento en el año 2014 llegando a 2.079.447 ha. (Programa Nacional Agua INTA, 2014)

La provincia de Buenos Aires, situada en la región centro – este de la República Argentina, posee 12.3 millones de hectáreas (ha) cultivables de las cuales, según el Censo Agropecuario 2002, se riegan 166.483 ha., de ellas 89.662 ha. utilizado el sistema de riego por aspersión y dentro de éste, el método por pivote central es el más empleado. Las áreas irrigadas en cultivos extensivos mediante este sistema se incrementaron en forma sostenida a partir de la década del noventa. Este aumento se vio favorecido por el auge en la importación de tecnología para riego (SAPyA, 1995).

La cuantificación del riego, en cuanto a su información y divulgación, actualmente se encuentra incompleta y diversificada, debido a no contar con un inventario oficial tanto a nivel provincial como nacional. La preservación del recurso agua subterránea tanto en calidad como en cantidad requiere, en su estratégico papel para el desarrollo futuro, de una cuidadosa y actualizada evaluación (Banco Mundial, 2000).

La estimación de la superficie bajo riego por pivote central y su distribución espacial resulta relevante para la planificación agroecológica local y regional. El monitoreo de la calidad del agua y su distribución racional es fundamental para la toma de decisiones futuras como la ampliación de áreas de riego existentes o la incorporación de nuevas áreas.

En las últimas décadas el uso de los sensores remotos ha surgido como una herramienta efectiva para monitorear las tierras bajo riego. La interpretación visual de las formas que los sistemas de riego por pivote central plasman en el espacio, permite digitalizarlos a partir de imágenes de mediana resolución espacial como las del satélite Landsat, demostrando ser un método factible (Ozdogan *et al.*, 2010) para su integración en un Sistema de Información Geográfica (SIG) (Braga y Oliveira *et al.*, 2005).

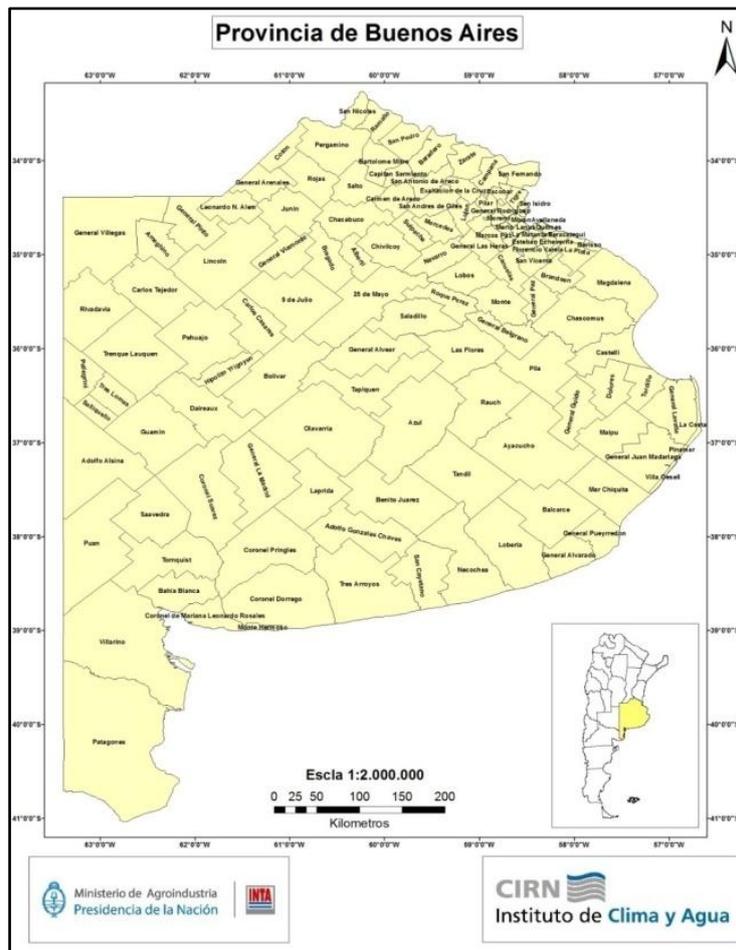
A raíz de lo planteado anteriormente el objetivo de este trabajo fue realizar un análisis espacio temporal de la evolución del área bajo riego mediante el sistema de pivote central en el período 1995-2015 y generar información geoespacial de base.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### *Área de estudio*

El área de estudio se centró en la provincia de Buenos Aires (Argentina), que comprende una superficie total de 307.571 km<sup>2</sup>. Esta se encuentra ubicada entre los paralelos 29°30' y 35° de latitud sur y entre los meridianos 61° 47' y 65°46' de longitud oeste, limita al norte con las provincias de Entre Ríos y Santa Fe; al oeste con las provincias de Córdoba, La Pampa y Río Negro; al sur y al este con el mar argentino del océano Atlántico; y al nordeste con el Río de la Plata. Con 307 571 km<sup>2</sup> de extensión, es la provincia más extensa del país, ocupando el 11,06 % de su superficie total. Su población era de 15.625.084 de habitantes al 27 de octubre de 2010, según los resultados definitivos del censo de 2010 con lo cual es la provincia más poblada de la República Argentina.

El relieve es principalmente llano, aunque es posible distinguir en términos generales tres áreas: Pampa ondulada, Pampa deprimida y Pampa elevada. El clima es el templado pampeano, presenta veranos templado-calurosos e inviernos frescos, precipitaciones suficientes y vientos predominantes del este y del noreste. Las áreas orientales son más húmedas porque se producen las mayores precipitaciones (algo más de 1.000 mm. anuales), concentradas de octubre a marzo. Hacia el oeste el clima es más árido; las precipitaciones oscilan entre los 400 y 500 mm. anuales. En función de la presencia de los Hemiciclos Húmedo o Seco, las isohietas se corren 300 km o más (Sánchez R. *et al.* 2015) (Figura 1).



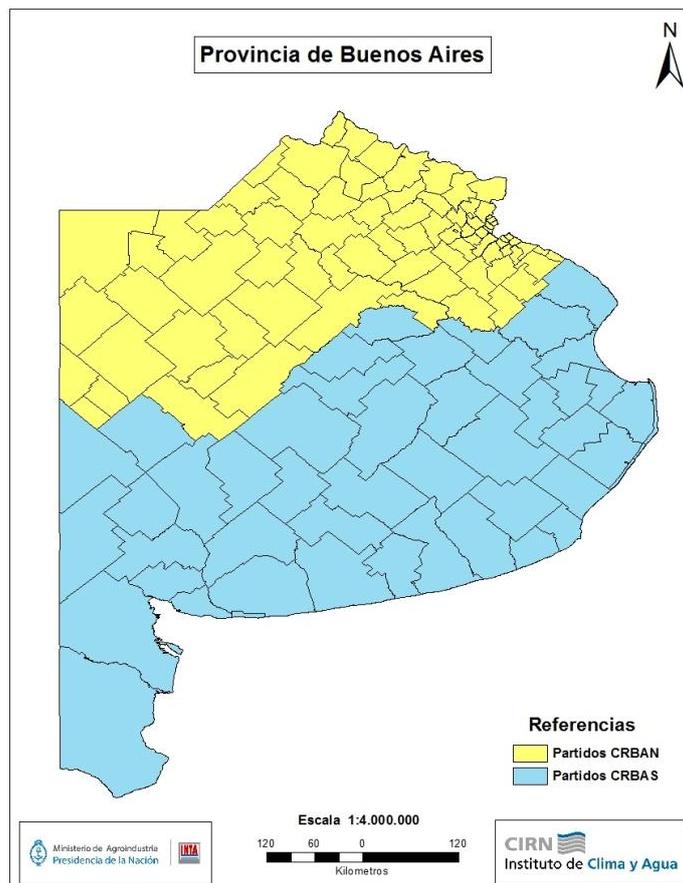
*Figura 1. Área de estudio.*

*Fuente: Elaboración propia.*

El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) realizó una división geográfica de la provincia de Buenos Aires y la separa en dos grandes áreas administrativas: El Centro regional Buenos Aires Norte (CRBAN) y el Centro Regional Buenos Aires Sur (CRBAS) (Figura 2).

EL CRBAN comprende los siguientes partidos: Brandsen, General Paz, Monte, Cañuelas, 25 de Mayo, Roque Pérez, Bolívar, Daireaux, Trenque Lauquen, Tres Lomas, Saliquelo, Pellegrini, San Vicente, Lobos, Navarro, Chivilcoy, Alberti, Bragado, General Viamonte, Lincoln, Carlos Tejedor, Rivadavia, General Villegas, Ameghino, Leandro N. Alem, Junín, Chacabuco, Suipacha, Mercedes, Lujan, Campana, Exaltación de la Cruz, San Andrés de Giles, San Antonio de Arco, Capitán Sarmiento, Bartolomé Mitre, Salto, Carmen de Arco, Rojas, General Arenales, Colon, Pergamino, San Nicolás, Ramallo, San Pedro, Baradero, Zarate y Partidos del Conurbano Bonaerense.

El CRBAS comprende los siguientes partidos: Patagones, Villarino, Puan, Adolfo Alsina, Guamini, Coronel Suarez, Coronel Pringles, Saavedra, Tornquist, Mar Chiquita, General Madariaga, General Guido, Pila, Las Flores, Saladillo, General Belgrano, General Lavalle, Tordillo, Dolores, Castelli, Lezama, Chascomus, Magdalena, Punta Indio, Balcarce, Bahía Blanca, Coronel Rosales, Coronel Dorrego, General La Madrid, Tres Arroyos, González Chávez, Laprida, Olavarría, Benito Juárez, Necochea, Lobería, General Alvarado, General Pueyrredón, Tandil, Tapalque, Azul, Rauch, Ayacucho y General Alvear.



**Figura 2.** División geográfica de la Provincia de Buenos Aires (INTA).

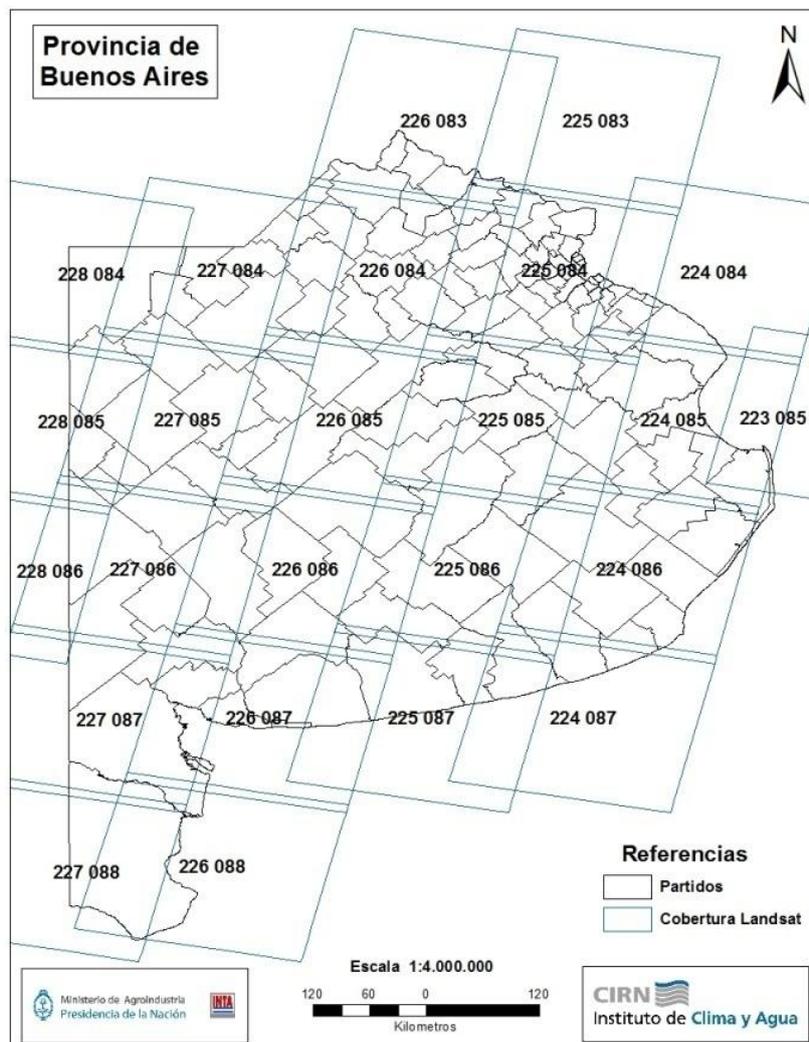
**Fuente:** Elaboración propia

### Información satelital

La identificación de los círculos de riego se llevó a cabo mediante una interpretación visual en cada imagen satelital que se analizó. Esta interpretación tiene en cuenta la textura, estructura, emplazamientos o disposición donde se incorpora un criterio visual para separar los objetos geográficos (Chuvieco, 2002). Para realizar la interpretación y la generación de las capas temáticas en formato vector se utilizó QGIS.

Las imágenes que se utilizaron son provenientes del sensor Landsat 5 TM (Thematic Mapper), Landsat 7 ETM+ (Extended Thematic Mapper Plus) y Landsat 8 Operational Land Imager (OLI). Las mismas fueron obtenidas del sitio del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS).

Para el estudio se utilizaron las escenas correspondientes a los path 223, 224, 225, 226, 227 y 228 y los row 83, 84, 85, 86, 87 y 88 correspondientes a los satélites Landsat sumando un total de veinticuatro escenas por año para cubrir la superficie de toda la provincia procesándose 120 imágenes satelitales. El período de estudio está comprendido entre los años 1995 y 2015, tomando intervalos de cinco años (Figura 3).



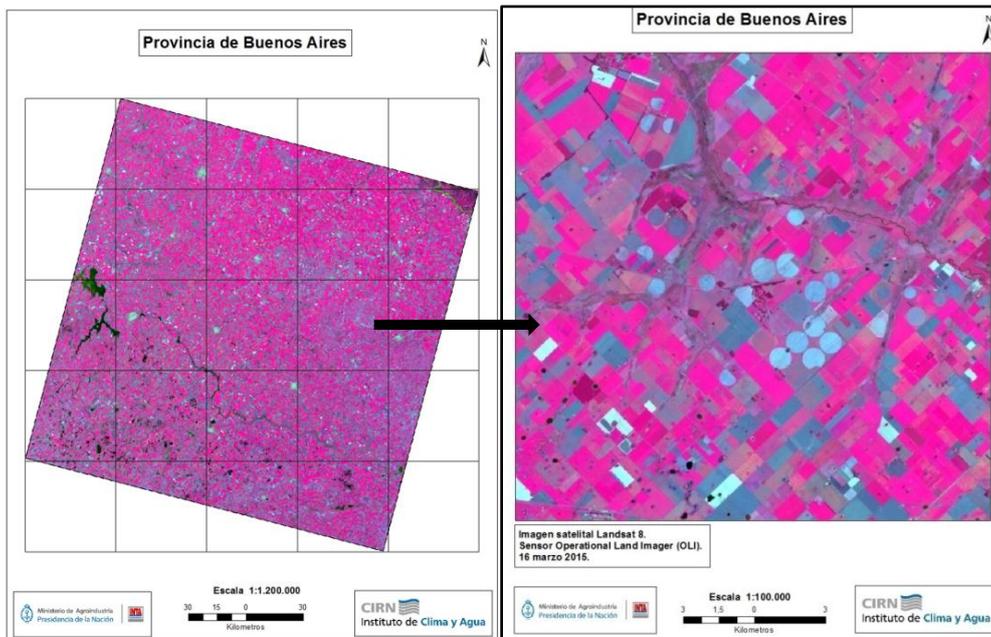
**Figura 3.** Escenas del satélite Landsat de la Provincia de Buenos Aires.

*Fuente:* Elaboración propia.

Las fechas de las escenas que se emplearon para realizar la clasificación visual correspondieron a los meses de verano (enero, febrero y marzo), lo cual permitió observar los cultivos en estados fenológicos de crecimiento activo que facilitó identificar los círculos de riego y digitalizar los mismos en las imágenes satelitales.

#### *Procesamiento de imágenes*

Las imágenes seleccionadas se sometieron a un proceso de importación de bandas generando imágenes multispectrales y luego se re proyectaron geoméricamente de Universal Transverse Mercator (UTM) en zona 20 Norte a Sur y a Datum WGS 84 con el programa MultiSpec. Se confeccionó una cuadrícula (36 km x 36 km) en QGIS, que se superpuso sobre cada imagen satelital conteniendo la superficie total. Posteriormente, cada imagen fue barrida cuadro a cuadro para identificar los círculos de riego y digitalizarlos generando las capas de información en formato vectorial. Se calculó la superficie en hectáreas correspondiente a los círculos de riego digitalizados a nivel departamental y provincial (Figura 4 y 5).



**Figura 4.** Cuadrícula sobre imagen satelital **Figura 5.** Visualización de círculos de riego.  
**Fuente:** Elaboración propia. **Fuente:** Elaboración propia.

### *Estimación de densidad (Kernel)*

El estimador kernel es un método de interpolación que ofrece la posibilidad de su representación continua donde cada pixel tiene un valor específico de densidad (Buzai y Baxendale, 2012). El método *kernel* en el análisis geoespacial es un método de modelado local, en forma similar a la técnica de densidad por matriz (Cardoso et al., 2010). El método de estimadores focales, como también se lo conoce, se utiliza para realizar el cálculo de densidades a partir de variables referidas espacialmente a entidades puntuales. Este incluye una serie de parámetros que pueden condicionar de manera importante los resultados obtenidos. Lo que hace singular a este estimador es que adopta un enfoque no paramétrico para la formulación de funciones de densidad, entonces no se imponen asunciones tan rígidas a los datos como sucede con un método paramétrico (Moreno Jiménez, 1991).

## **RESULTADOS**

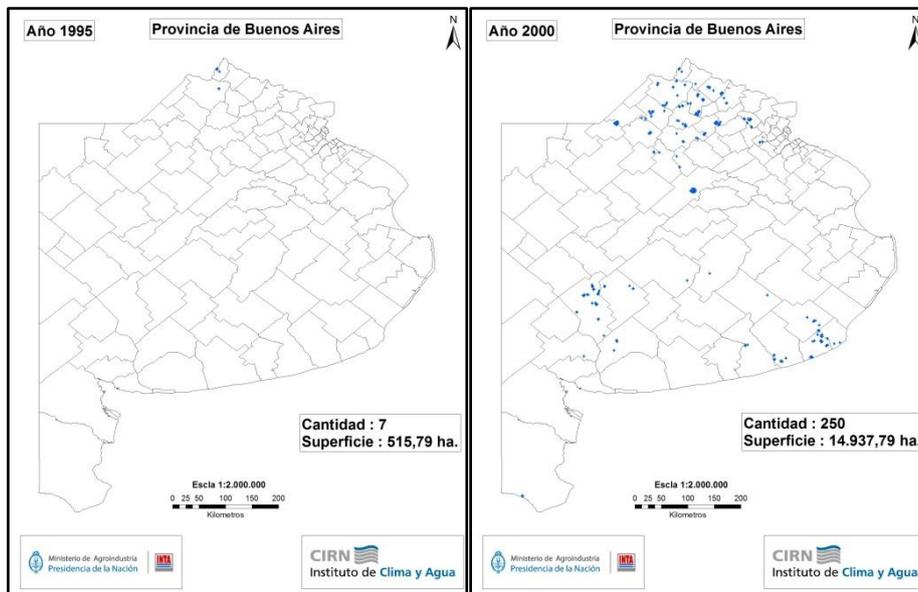
Como resultado del estudio realizado durante el período de estudio (1995-2015) pudimos observar que en la Provincia de Buenos Aires el riego por el sistema de aspersión (pivote central) se incrementó en forma exponencial (Figura 6).

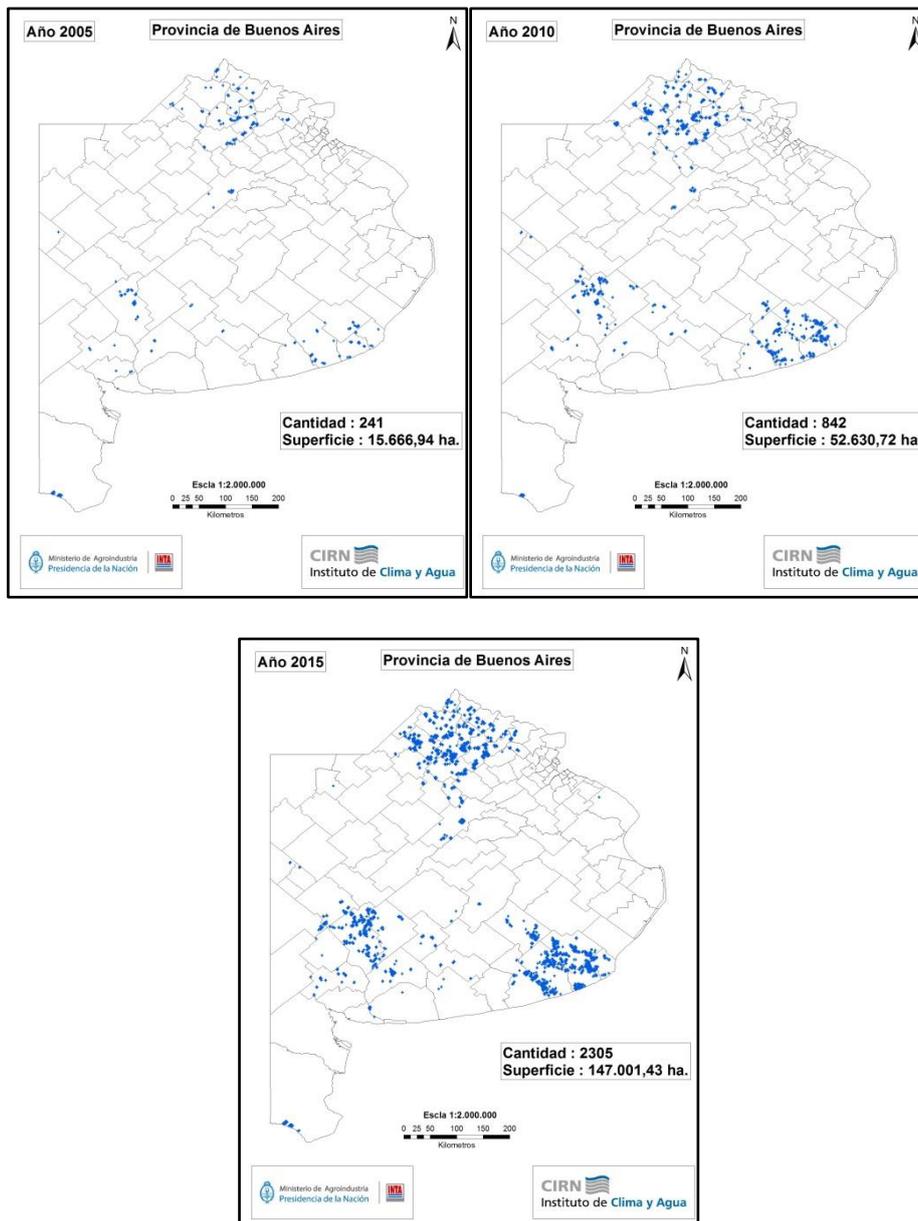


**Figura 6.** Evolución espacio temporal de la superficie de círculos de riego en la Provincia de Buenos Aires en los años relevados.

*Fuente:* Elaboración propia.

En el primer año relevado se encontraron siete círculos cuya superficie fue de 515,79 ha. Mientras en el año 2015 se hallaron 2.300 círculos con una superficie total de 147.001,73 ha. (Figura 7).

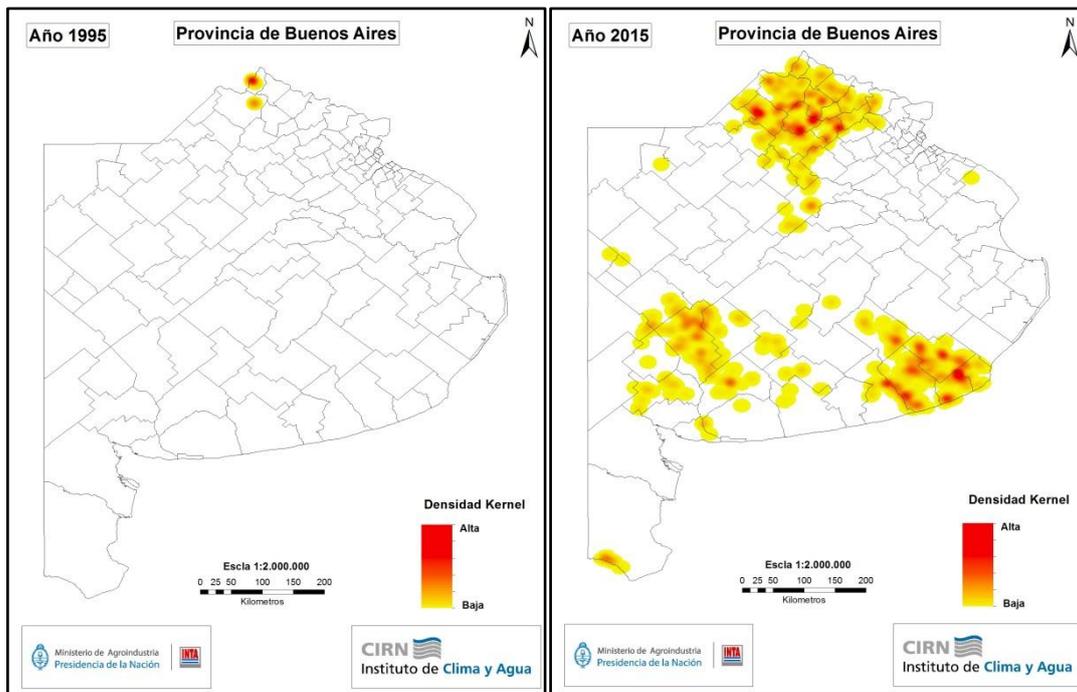




**Figura 7.** Evolución espacio temporal de la cantidad y superficie de círculos de riego en la Provincia de Buenos Aires en los años relevados.

**Fuente:** Elaboración propia.

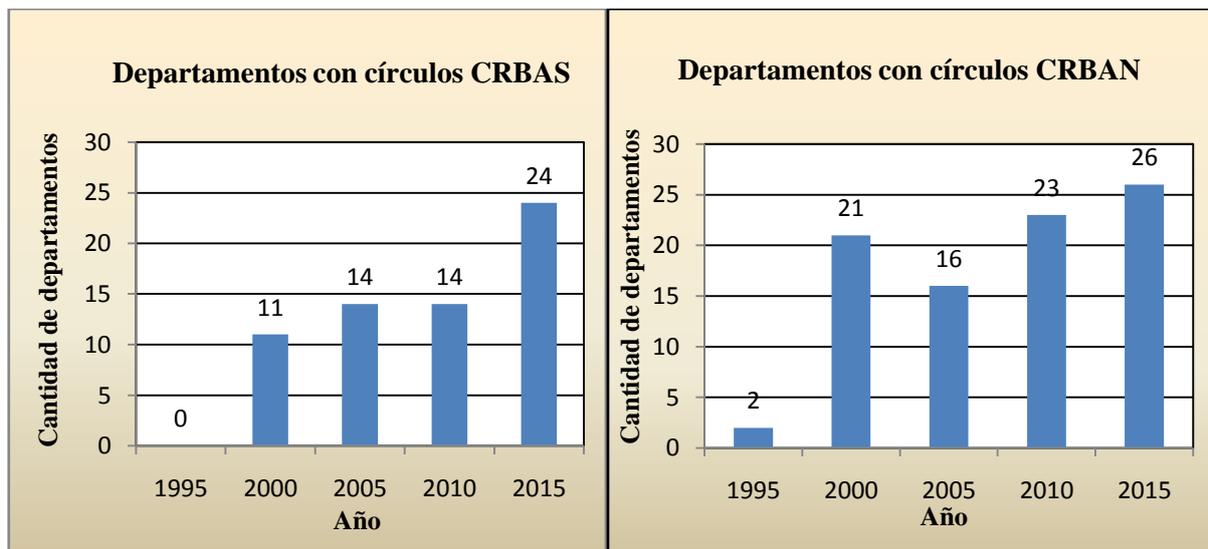
En el año 1995 se observaron los primeros círculos de riego en partidos del norte de la provincia de Buenos Aires, que luego fueron expandiéndose en los subsiguientes años, acentuándose en tres áreas definidas: norte, sudoeste y sudeste, concentrándose en cinco departamentos en la zona norte y cuatro en el sur (Figura 8).



**Figura 8.** Mapa de densidad de círculos de riego en la Provincia de Buenos Aires entre los años 1995-2015.

*Fuente:* Elaboración propia.

El número de partidos con círculos de riego aumentó durante el período de estudio en ambas zonas CRBAS y CRBAN. En el CRBAS entre los años 1995 y 2000 se incorporaron once departamentos con riego por pivote central, sin una importante variación entre los años 2000-2010, pero se observó un incremento nuevamente entre los años 2010 y 2015. En el área del CRBAN se pudo apreciar un crecimiento pronunciado en la incorporación del riego en los primeros cinco años (1995-2000), sin una gran variación en departamentos con riego posteriormente (Figura 9).



**Figura9.** Cantidad de departamentos con círculos de riego en el CRBAS y CRBAN.

*Fuente:* Elaboración propia.

Al analizar la superficie ocupada por los círculos de riego en cada departamento, se observó el crecimiento en el CRBAN, destacándose los siguientes: Salto, Rojas, Pergamino, Carmen de Areco y Bartolomé Mitre (Figura 10).

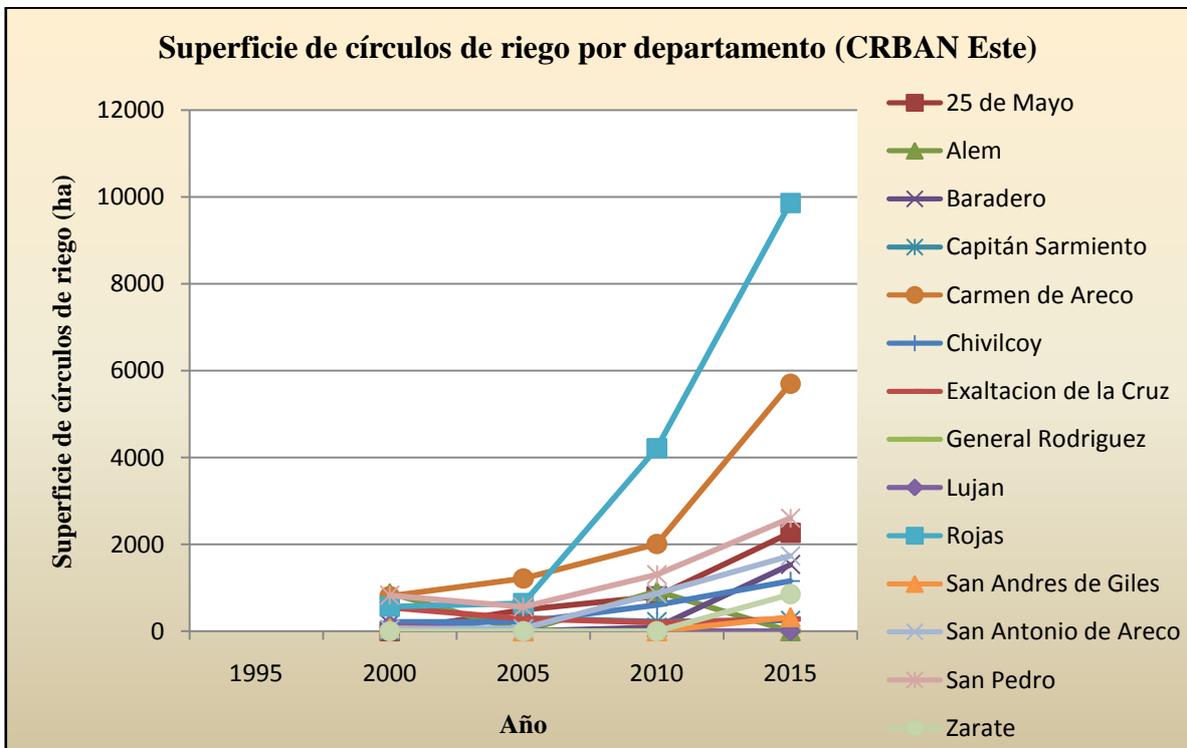
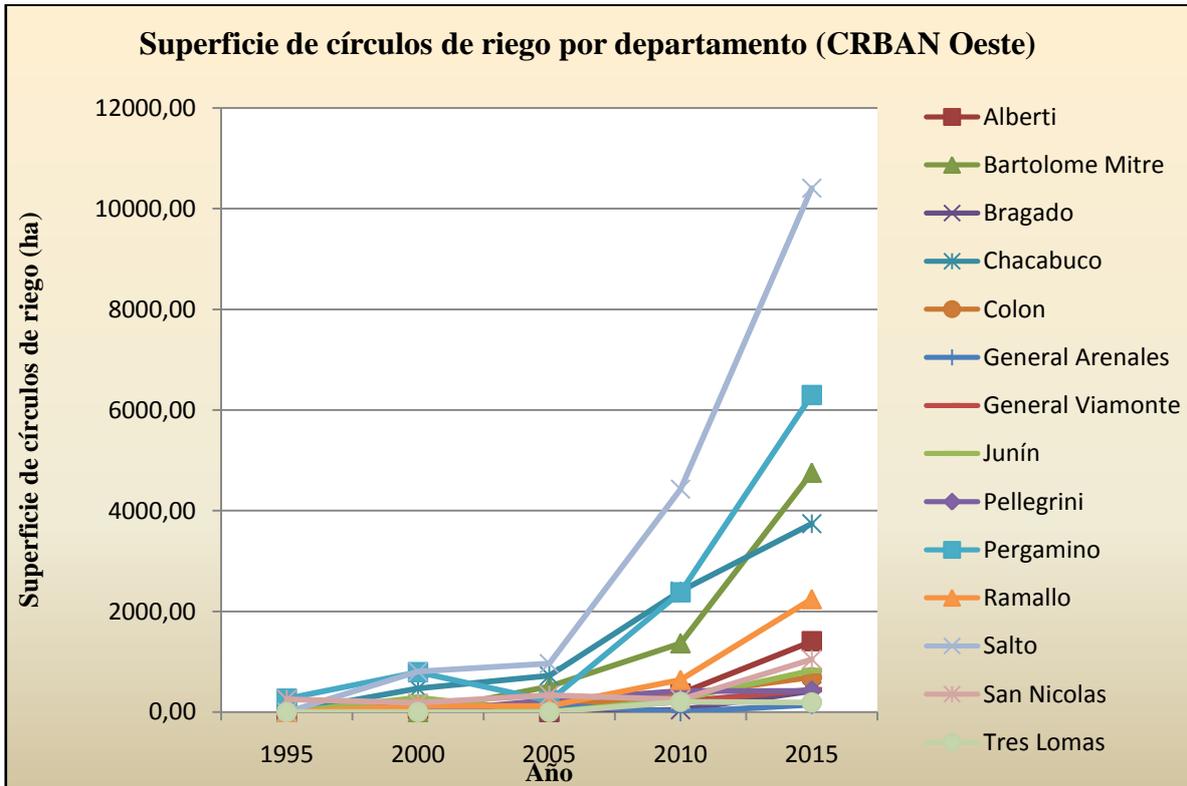
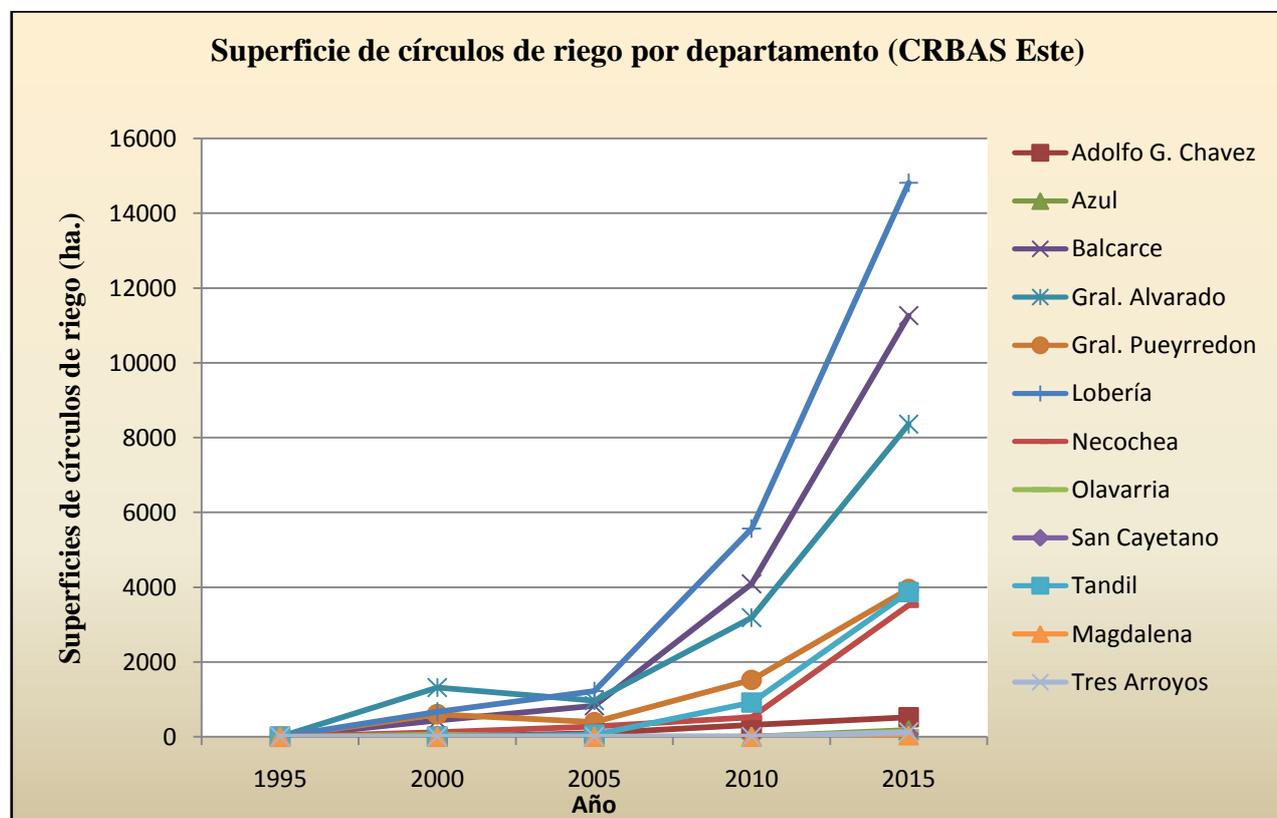
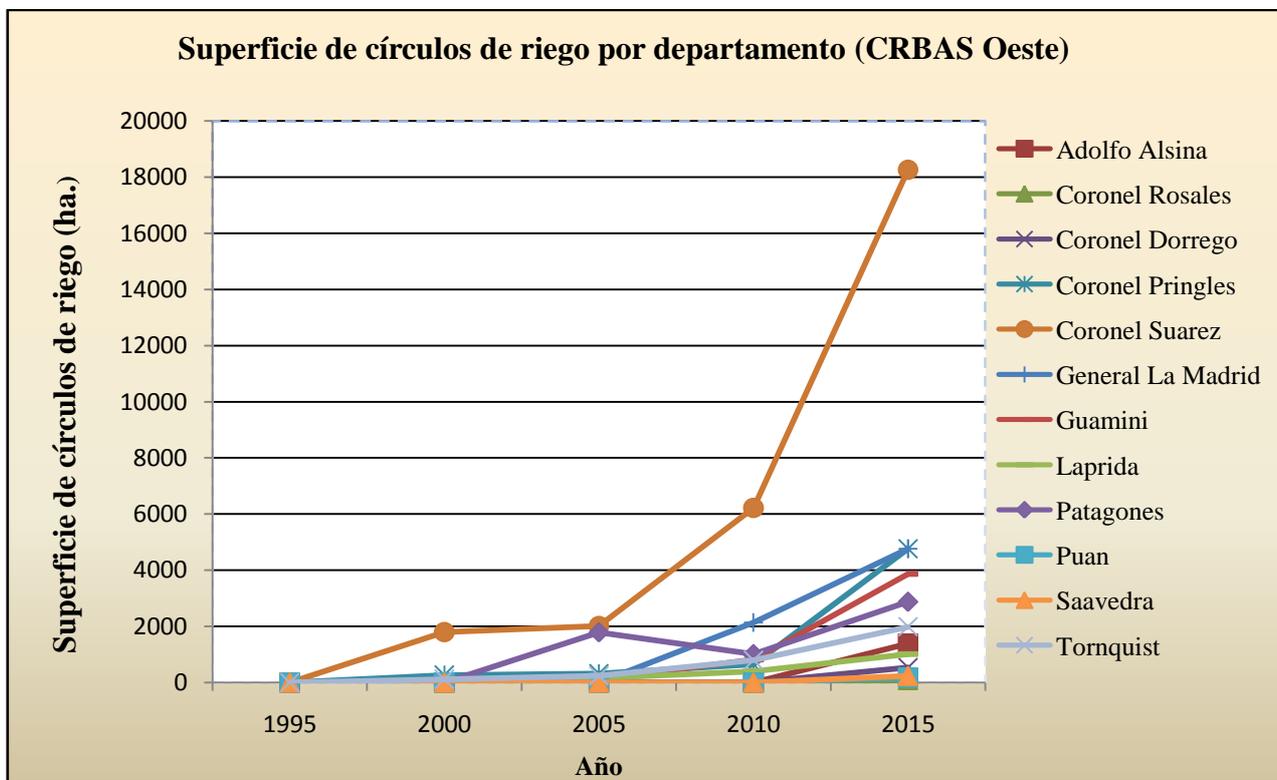


Figura 10. Superficie por departamentos con círculos de riego en el CRBAN.

Fuente: Elaboración propia.

Cuando se analizó el crecimiento en superficie ocupada por los círculos de riego en cada departamento se destacaron en el CRBAS los siguientes: Coronel Suarez, Lobería, Balcarce y General Alvarado (Figura 11).



**Figura 11.** Superficie por departamentos con círculos de riego en el CRBAN.

*Fuente:* Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

En los años del relevamiento se pudo observar un crecimiento del riego por pivote central en la provincia de Buenos Aires en la zona norte, sudoeste y sudeste. Para el año 2015 en la zona norte se destacan los departamentos de Salto (10.407,84 ha.); Rojas (9860,73 ha.); Pergamino (6296,2 ha.); Carmen de Areco (5701,97 ha.) y Bartolomé Mitre (48752,95 ha.). En el sur los departamentos de Coronel Suarez (18.268,52 ha.); Lobería (14.813,6 ha.); Balcarce (12.261,01 ha.) y General Alvarado (8360,42 ha.).

Se destaca Coronel Suarez como el departamento con mayor cantidad de superficie con riego por pivote central de la provincia de Buenos Aires.

Con respecto a la cantidad de círculos de riego en el año 2015 de los 50 departamentos donde se encontraron, se destacan en el norte los departamentos de: Salto (176); Rojas (167); Pergamino (126) y Bartolomé Mitre (104). En el sur: Lobería (213); Balcarce (194); Coronel Suarez (193) y General Alvarado (120).

## BIBLIOGRAFÍA

- Banco Mundial, 2000. Argentina Water Resources Management Policy Issues and Notes thematic annexes volume III.
- Braga, A. L.; Oliveira, J. C. 2005. Identificação e quantificação de áreas irrigadas por pivô central utilizando imagens. Anais XII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril, INPE, p.849-856.
- Bragachini, M. 2009. "Historia de la mecanización agrícola del país: del arado de reja a la siembra de precisión". Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (CASAFE).
- Buzai, D.; Baxendale, C. 2012. "Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica ordenamiento territorial, temáticas de base vectorial". Lugar editorial. Buenos Aires.
- Cardoso, O. 2010. "Localización óptima de expendios de carne porcina con Sistemas de Información Geográfica en la ciudad de Resistencia, Argentina". Cuadernos de Geografía. Revista colombiana de Geografía, número 19, pp. 87-96. Universidad Nacional de Colombia.
- Chambouleyron J. 1983. El riego en Argentina, actualidad y perspectivas. INCYTH – CRA.
- Chambouleyron, J.; 2005: Riego y drenaje (Tomo II): Técnicas para el desarrollo de una agricultura regadía sustentable. Mendoza, Ediunc, 1040 pp.
- Chuvieco, E. 2002. Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Edit. Ariel Ciencia. España.
- Evans R. 2001. Center Pivot Irrigation. USDA. -Agricultural Research Service.
- FECIC, 1988. "El deterioro del ambiente en la argentina" Fundación para la Educación, la Ciencia y la cultura, ISBN: 9789509149304, pp. 497.
- Melani, E; Draghi, L; Jorajuria Collazo, D; Palancar, T. 2015. Alteración de las propiedades mecánicas de un Ustochreptudertico tratado con agua enriquecida en sodio. Revista RIA. Vol. 41 N\* 1. ISSN 0325-8718.

- Montesinos, S. 2007. “Estimación de la superficie en regadío mediante técnicas de teledetección: conceptos y su aplicación operativa”. Jornadas sobre Aguas subterráneas en España ante las Directivas europeas: retos y perspectivas. 7 al 9 de noviembre de 2007. Santiago de Compostela (España).
- Moreno Jimenez A. 1991. “Modelización cartográfica de densidades mediante estimadores kernel”. Treballs de la Societat Catalana de Geografia 6.
- Ozdogan, M., Yang, Y., Allez, G., Cervantes, C. (2010). “Remote sensing of irrigated agriculture: Opportunities and challenges”. Remote Sensing, 2, 2274-2304.
- Requena A. y Martínez R.S. (2010). “El riego con grandes máquinas.” Fruticultura y diversificación. 63:22-29. Edición INTA Alto Valle.
- Sánchez R., Guerra L., Scherger M. 2015. Evaluación de las Áreas bajo riego afectadas por salinidad y/o sodicidad en Argentina. INTA-FAO.
- Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación (SAPyA). 1995. “Manual de riego del productor pampeano”. Programa Riego. Ministerio de Economía Y Obras y Servicios Públicos.
- Zelmer H., Rubén, Barrionuevo N., D’Onofrio M. 2010 “Área regada por pivot en la cuenca del río negro y caracterización de su funcionamiento” INTA.

----- Review -----

El trabajo "Análisis espacio-temporal del riego por pivote central en la provincia de Buenos Aires en el periodo 1995-2015" realiza un análisis espacio temporal de la evolución del área bajo riego mediante el sistema de pivote central para la provincia de Buenos Aires en el período 1995-2015 basado en imágenes ópticas de las misiones Landsat.

En el trabajo se observa claramente el aumento en la superficie bajo riego con sistema de pivote central comenzando a partir de 1995. Los autores mencionan como factores que acompañaron este proceso la reducción en los costos de importación. También, muestran como esta tendencia es más notable en partidos como Salto y Rojas (en subregión norte) o Coronel Suarez y Lobería (en subregión sur). Ciertamente, es de interés conocer aquellos factores que podrían haber impulsado estos sistemas de riego suplementario en aquellas áreas que se aprecian con mayor densidad de círculos.

**RE: La disminución de aranceles de bienes de capital están expuestos en el Manual de Riego del Productor Pampeano del año 1995. SAPyA.**

En el trabajo no se menciona la validación del método de detección de círculos de riego. En otras palabras, el área bajo riego por sistema de pivote central estimada para 2015 fue de 147.001,73 ha. Podría estimarse un error en la superficie cubierta por fallos de omisión o comisión en la detección y conteo de círculos de riego?

**RE: El método fue una clasificación visual de objetos. Y las referencias están en el cuerpo del trabajo.** "En las últimas décadas el uso de los sensores remotos ha surgido como una herramienta efectiva para monitorear las tierras bajo riego. La interpretación visual de las formas que los sistemas de riego por pivote central plasman en el espacio, permite digitalizarlos a partir de imágenes de mediana resolución espacial como las del satélite Landsat, demostrando ser un método factible (Ozdogan et al., 2010) para su integración en un Sistema de Información Geográfica (SIG) (Braga y Oliveira et al., 2005)."

**En cuanto a la matriz de confusión no consideramos realizarlo ya que no realizamos ningún tipo de clasificación semi- automática. El trabajo fue solamente de relevamiento de los círculos de riego por pivote central.**

Considero que este trabajo es relevante para el monitoreo del recurso agua y forma parte de un inventario de interés y actualizado. Recomiendo la inclusión de este trabajo en el evento IFRH 2016 y abordar las preguntas planteadas.

Saludos cordiales.