

## **Evolución del área regada por pivote central en la provincia de Córdoba entre los años 1994-2014**

Barrionuevo, Néstor José<sup>1</sup>; Feler, María Victoria<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Clima y Agua. INTA Castelar. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Los Reseros y las Cabañas S/N. Hurlingham. CP (1686). Buenos Aires. Argentina.

Mail de contacto: [barrionuevo.nestor@inta.gov.ar](mailto:barrionuevo.nestor@inta.gov.ar)

**Resumen.** Las aéreas regadas mediante el sistema de pivote central se incrementaron en forma sostenida en la provincia de Córdoba a partir de la década de los noventa. El objetivo de este trabajo consistió en realizar un análisis espacio temporal de los círculos de riego por pivote central como sistema de riego suplementario correspondientes a cultivos extensivos en la provincia de Córdoba en el período 1994-2014. 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 (OLI) del Landsat 8. Se realizó una interpretación visual de los círculos de riego en las imágenes satelitales y se generaron capas de información en formato vectorial en un sistema de información geográfica (SIG) para cada año analizado. Las imágenes utilizadas fueron obtenidas en forma gratuita del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) y del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE) de la República Federativa de Brasil. Como resultado preliminar del análisis, se registró una preponderancia en la presencia de círculos de riego a partir de 1994 en la zona central de la provincia, específicamente en los departamentos de Juárez Celman, Río Primero, Río Segundo y Tercero Arriba. Asimismo, se observó la incorporación de círculos de riego en los departamentos de Marcos Juárez, San Alberto y San Javier en menor proporción.

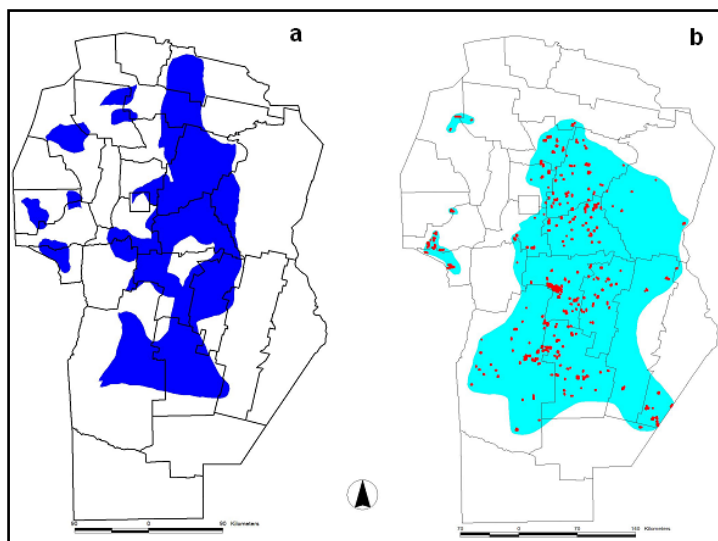
**Palabras claves:** Riego suplementario; círculo de riego; teledetección; sistema de información geográfica.

### **1 INTRODUCCIÓN**

Tanto la actividad económica como el desarrollo en muchas regiones del mundo se ve limitada por la disponibilidad de agua (Arnell, *et al.*; 2001; Viviroli, *et al.*; 2003). Por lo tanto, resulta imprescindible propiciar y establecer políticas que avalen un manejo sustentable de este recurso en todos los niveles. Una de las áreas donde el agua juega un rol importante es en los cultivos de riego.

El aumento del área regada con el consecuente consumo de agua, podrían provocar en un futuro la profundización de los niveles freáticos o piezométricos, la disminución de las reservas de agua subterránea y el deterioro de la calidad de la misma por variaciones en la concentración de sales y/o contaminantes. De esta manera, surge la importancia de representar las áreas regadas por medio del sistema de pivote central, utilizando un sistema de información geográfico (SIG) que permita tener conocimiento tanto de la superficie en un tiempo determinado como de la evolución de la misma a través de los años. Se entiende por “área regada” a los terrenos que se están regando en un momento determinado del año (Montesinos, *et al.*; 2007).

El Grupo de Suelos de INTA Manfredi junto con la Secretaría de Agricultura y Recursos Renovables de la provincia de Córdoba (1995) estimaron una superficie posible de regar de aproximadamente 1.500.000 hectáreas, consistentes en la combinación de suelos aptos para riego y agua de calidad (Figura 1 a). Posteriormente, el área de agronomía de la E.E.A. INTA Manfredi actualizó el relevamiento, donde mediante una cartografía temática se pudo observar la distribución de los círculos de riego hasta el año 2004 para toda la provincia de Córdoba (Martellotto, *et al.*; 2005) (Figura 1 b).



**Figura 1 a.** Área potencial con aptitud para riego suplementario (año 1995).  
**b.** Distribución de círculos de riego (año 2004).

Es importante mencionar que el trabajo fue realizado para los años 2000, 2003 y 2004. Por lo tanto, la finalidad de este estudio fue ampliar a diecinueve la cantidad años relevados de los círculos de riego y su superficie.

En la provincia de Córdoba las áreas irrigadas en cultivos extensivos mediante el sistema de pivote central se incrementaron en forma sostenida a partir de la década del noventa. Este aumento se vio favorecido tanto por la estacionalidad de las precipitaciones (que se producen durante los meses fríos) y durante la época estival se registran sequías, como por el auge en la importación de tecnología de riego en el sector agropecuario. Asimismo, se destaca que la implementación de este sistema conlleva a un notable desarrollo socio-económico (Martellotto, 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 regada mediante el sistema de pivote central para el período 1994-2014 y generar información geoespacial de base para futuros estudios y toma de decisiones en la provincia de Córdoba.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Área de estudio

El área de estudio se centró en la provincia de Córdoba (Argentina), que comprende una superficie total de 165.321 km<sup>2</sup>, 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 (Figura 2). Esta provincia contiene parte de las regiones Chaqueña, Espinal y Pampeana dentro de la clasificación biogeográfica (Cabrera y Willink; 1980). En lo que respecta a vegetación, presenta una predominancia de bosque xerófilo caducifolio, con un estrato herbáceo de gramíneas previo a las modificaciones sufridas por la acción antrópica.

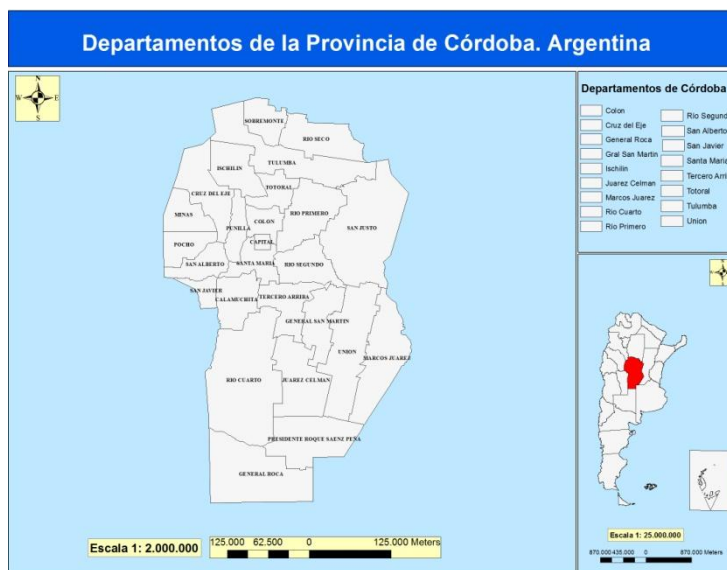


Figura 2: Departamentos de la provincia de Córdoba, Argentina.

## 2.2 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) y del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE) de la República Federativa de Brasil. Las características de las imágenes satelitales utilizadas se presentan en el tabla 1.

Tabla 1: Características de los satélites Landsat 5, 7 y 8. Unidad de medida: Longitud de onda en micrones ( $\mu$ )

Sensor	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7	Banda 8	Banda 9	Banda 10	Banda 11
TM	0,45	0,53	0,63	0,76	1,55	10,4	2,08	-	-	-	-
	0,52	0,60	0,69	0,90	1,75	12,5	2,35	-	-	-	-
ETM+	0,45	0,53	0,63	0,78	1,55	10,4	2,09	0,52	-	-	-
	0,52	0,61	0,69	0,90	1,75	12,5	2,35	0,90	-	-	-
Región	Azul	Verde	Rojo	NIR	SWIR	TIR	SWIR	Pan			
OLI	0,435	0,452	0,533	0,636	0,851	1,566	2,107	0,503	1,363	10,60	11,5
	0,451	0,512	0,590	0,673	0,879	1,651	2,294	0,676	1,384	11,19	12,51
Región	Aerosol	Azul	Verde	Rojo	NIR	SWIR	SWIR	Pan	Cirro	TIR	TIR

Fuente: Elaboración propia a partir de información del sitio oficial Landsat <http://landsat.usgs.gov/>

Para el estudio se utilizaron los path 228, 229 y 230 y los row 81, 82, 83 y 84 correspondientes a los satélites Landsat sumando un total de diez imágenes por año para cubrir la superficie de toda la provincia. Las fechas de las imágenes que se emplearon para realizar la clasificación correspondieron a los meses de verano (enero, febrero y marzo), las cuales permitieron observar los cultivos en estados fenológicos de crecimiento activo y de esta manera facilitaron diferenciar los distintos usos del suelo. Para cubrir la superficie total

de la provincia de Córdoba y el periodo comprendido entre los años 1994 y 2014, exceptuando el año 2012 por falta de imágenes de buena calidad, se procesaron 190 imágenes satelitales.

### 2.3 Procesamiento de imágenes

Las imágenes seleccionadas se sometieron a un proceso de importación de bandas generando imágenes multispectrales y luego se reprojectaron geoméricamente de Universal Transverse Mercator (UTM) en zona 20 Norte a Sur y a Datum WGS 84 con el programa MultiSpec. Se confeccionó una matriz (36 km x 36 km) en QGIS que fue siendo superpuesta en cada imagen satelital conteniendo la superficie total. Posteriormente, cada imagen fue barrida cuadro a cuadro para identificar los círculos de riego y generar las capas de información en formato vectorial. Se calculó la superficie correspondiente al área regada (hectáreas) representada por los círculos a nivel departamental y provincial (Figura 3).

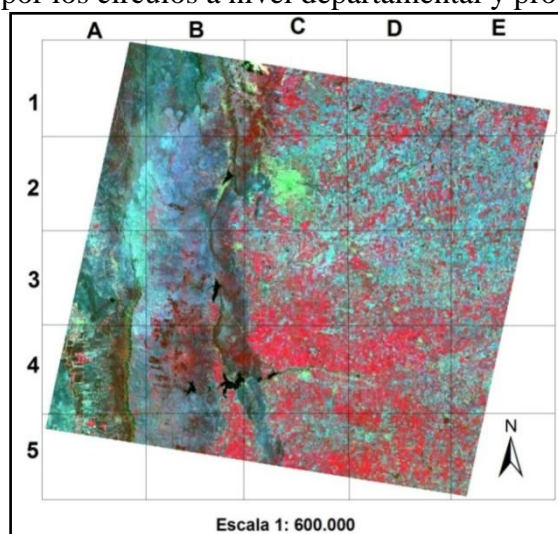


Figura 3: Diseño de matriz de barrido visual de imágenes Landsat.

### 2.4 Estimador *kernel*

El concepto de densidad es importante en el análisis del espacio geográfico, las distribuciones espaciales se observa con la frecuencia diferencial con un hecho geográfico que se produce en el espacio, la misma refiere a valores que asumen las mediciones de una variable dividiéndolo por una unidad de superficie. 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). 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).

## 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la metodología expresada anteriormente, se lograron ubicar y cuantificar los círculos de riego en cada una de las imágenes. En la Figura 4 se detalla el número total de círculos de riego para las 170 imágenes analizadas correspondientes a los años estudiados y su evolución a través del tiempo. Se observa un incremento sostenido en el número de círculos, fluctuando desde 2 en el año 1994 a 1393 en el año 2014.

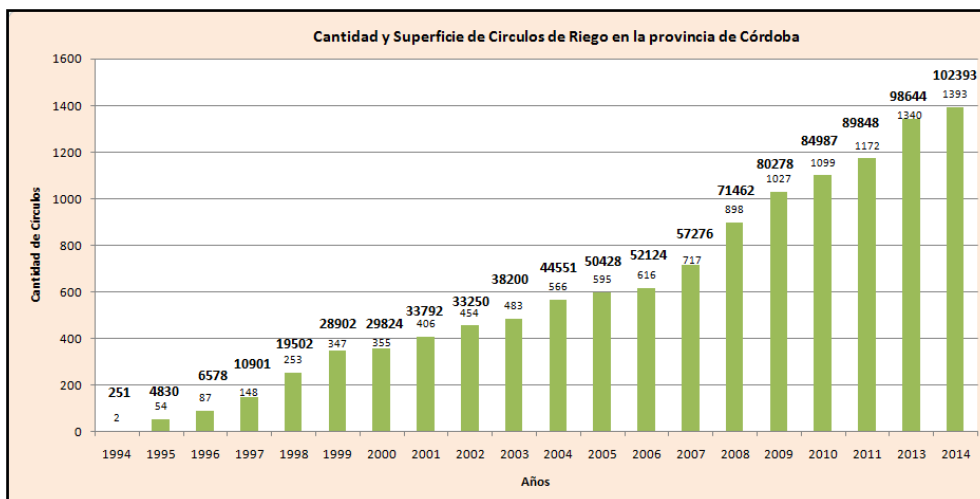


Figura 4: Evolución de la cantidad de círculos de riego en la provincia de Córdoba.

Por otra parte, se calculó la superficie correspondiente a cada uno de los círculos, para cada departamento y para cada uno de los años de estudio. Asimismo, fue posible analizar la tendencia de la superficie regada por departamento a través de los años. Es importante destacar el aumento sostenido de la superficie regada en los departamentos citados en el gráfico, destacándose la preponderancia del departamento Tercero Arriba hasta el año 2006, siendo luego superado ampliamente a partir del siguiente año por Río Primero hasta la actualidad (Figura 5).

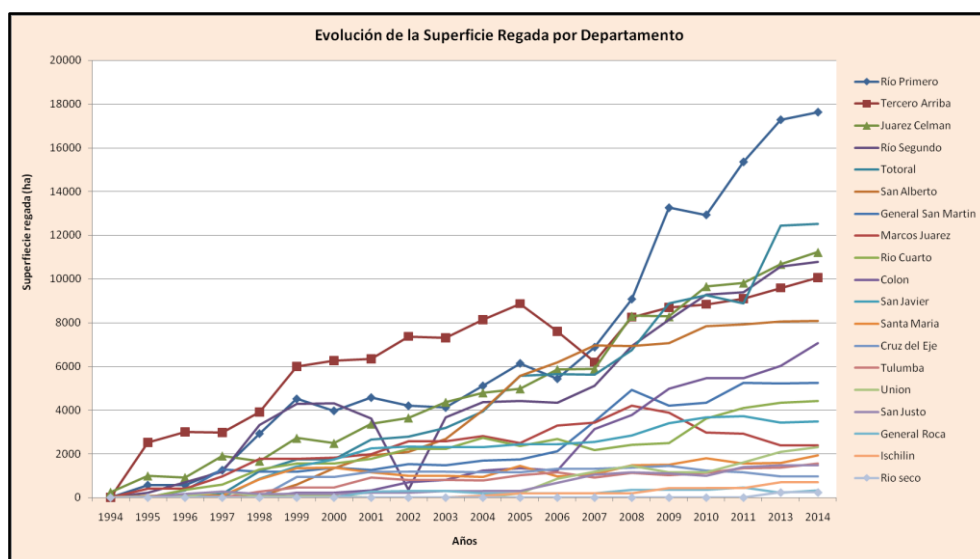
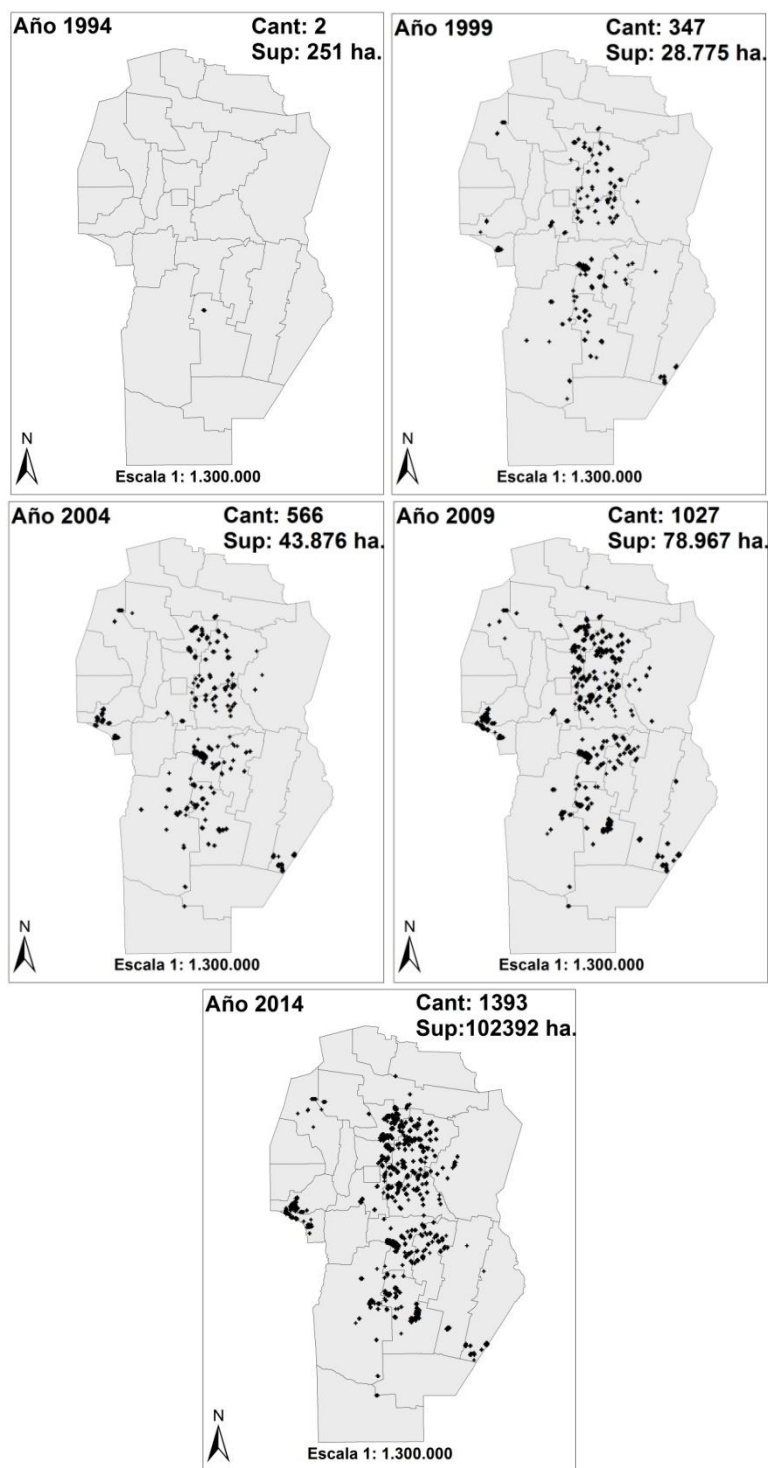


Figura 5: Evolución de la superficie regada durante la temporada de verano por departamento en la provincia de Córdoba.

En respuesta al análisis espacio temporal, se observa la tendencia general y por departamento con que los productores fueron incorporando esta tecnología a lo largo del tiempo, pasando de un solo departamento en el año 1994 a veinte en 2014, cubriendo una superficie regada total de 102.393 hectáreas bajo el sistema de pivote central en el último año. Asimismo, se generó la cartografía temática de la distribución de círculos de riego cada 5 años comprendidos en el período de estudio (Figura 6).



**Figura 6:** Cartografía temática de la distribución de círculos de riego en la provincia de Córdoba para el período 1994-2011.

En la cartografía temática se observa cómo evolucionó la cantidad de círculos de riego y su dirección de expansión, que dependió fundamentalmente de la disponibilidad de agua subterránea y de la presencia de suelos aptos para agricultura. La mayor concentración de círculos se observa en la región central de la provincia. En 1995 incorpora el uso de esta tecnología el departamento de Marcos Juárez, situado al sudeste de la provincia de Córdoba y tres años más tarde, los departamentos de San Alberto y San Javier, situados al centro oeste de la provincia (zona de Traslasierra). La adopción de esta tecnología en los últimos departamentos mencionados fue más marcada, habiéndose relevado un total de 131 círculos

de riego durante el año 2011, en contraposición con 41 círculos registrados en el departamento de Marcos Juárez para el mismo año.

A partir de los centroides que se generaron a partir de los círculos se procedió a aplicar el estimador *kernel* de los mismos. En este trabajo se pudo representar las variaciones en la distribución geográfica de los círculos de riego, definiendo los departamentos de la provincia donde hay concentración y dispersión que permitan identificar patrones en el comportamiento del riego suplementario. En el trabajo se tomaron los años 1995 (Figura 7 a); 2000 (Figura 7 b); 2005 (Figura 7 c) y 2014 (Figura 7 d) para observar la densidad de los círculos de riego a nivel provincial.

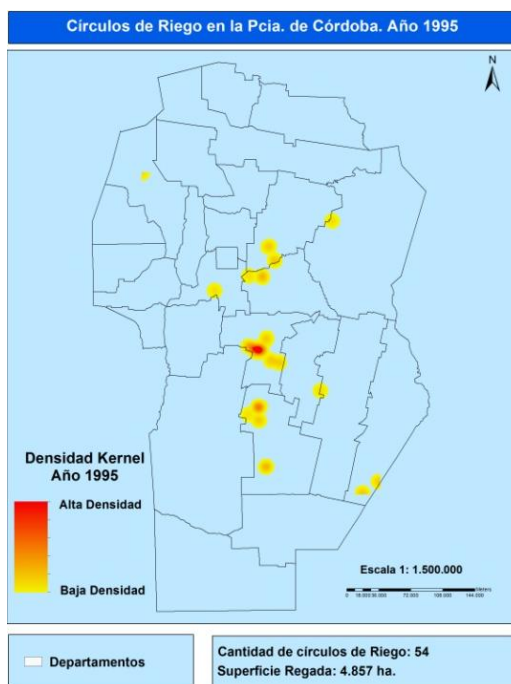


Figura 7 a. Densidad *kernel* de 1995.

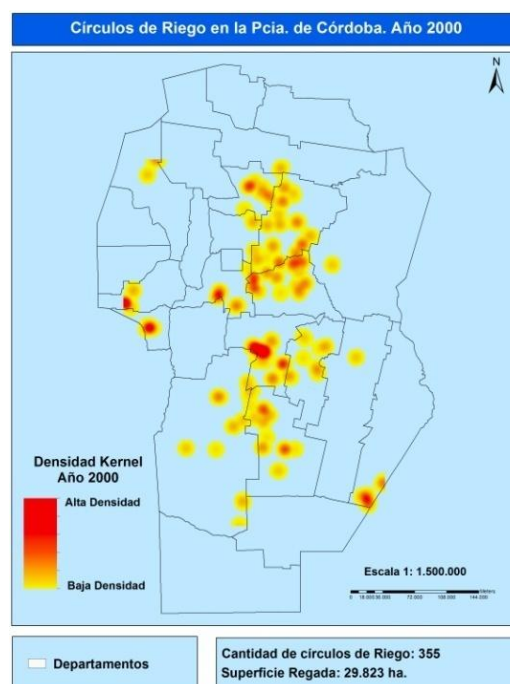


Figura 7 b. Densidad *kernel* de 2000.

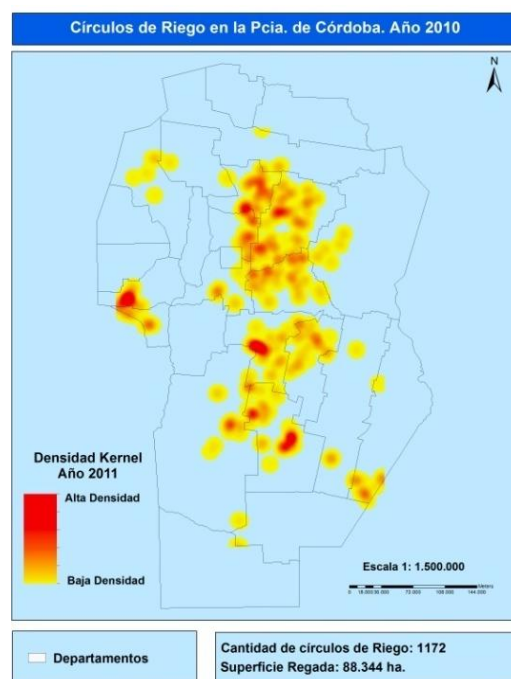


Figura 7 c. Densidad *kernel* de 2010.

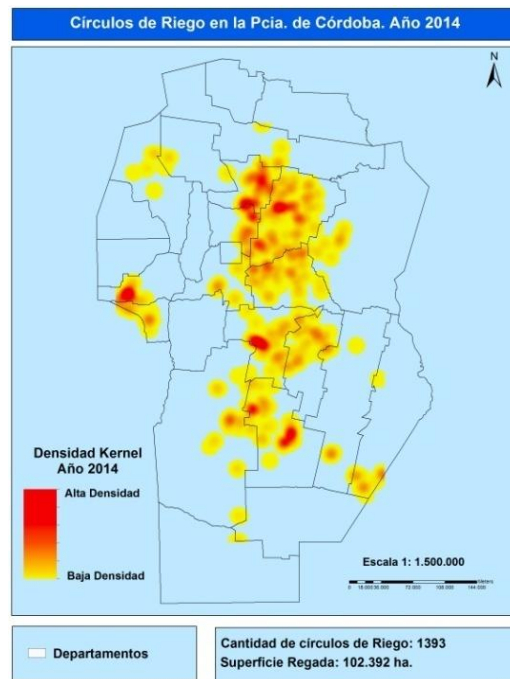
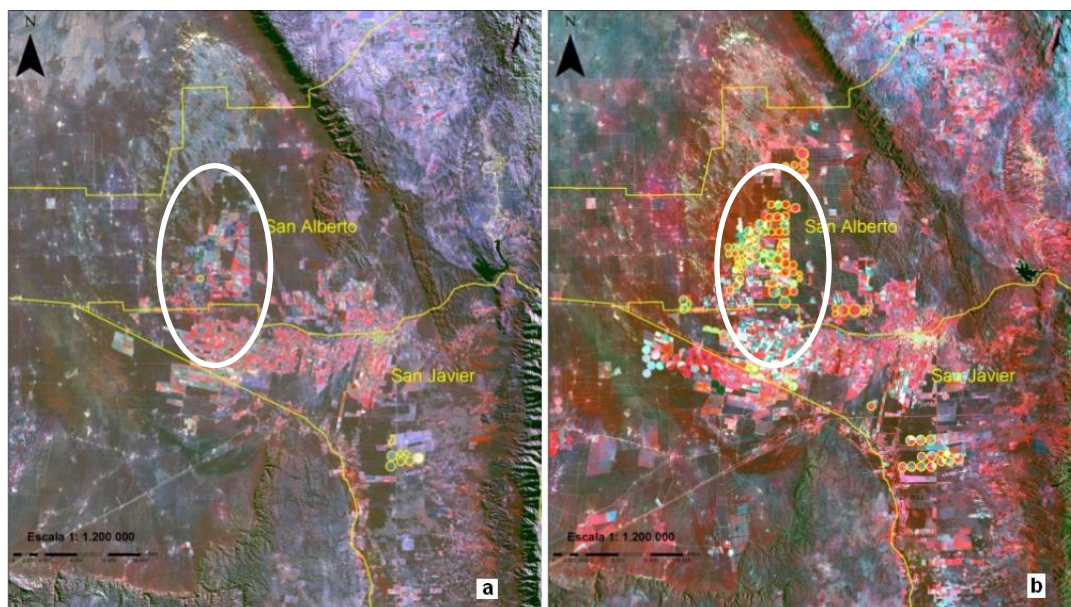


Figura 7 d. Densidad *kernel* de 2014.

Asimismo, en la cartografía citada puede observarse la dinámica del cambio en el uso del suelo en los departamentos de San Alberto y San Javier, donde en el año 1998 la cantidad de círculos fue de 9 y en el año 2008 pasó a ser de 105. Esto fue producto de la agriculturización de la zona, que es semiárida y por lo tanto no permite la existencia de cultivos extensivos bajo el régimen de secano (Figura 8 a y 8 b).



**Figura 8** a. círculos de riego en el año 1998 (9 círculos de riego; superficie regada: 3552 ha.);  
b. círculos de riego en el año 2008 (105 círculos de riego; superficie regada: 9747 ha.).

## 4 CONCLUSIONES

Del análisis espacio temporal se concluye que la zona central de la provincia de Córdoba, particularmente los departamentos de Río Primero, Tercero Arriba, Río Segundo y Juárez Celman son los departamentos donde se concentró el uso el sistema de riego por pivote central. La cartografía temática obtenida es útil como información de base para futuros estudios del uso consuntivo del agua en la agricultura en la provincia de Córdoba. Asimismo, resulta práctico para realizar comparaciones interanuales de la dinámica de la presencia de círculos de riego.

## REFERENCIAS

- Arnell, N., et al. "Chapter 4. Hydrology and Water Resources. En: Climate Change 2001. Impacts, adaptation, and vulnerability." IPCC. Cambridge University Press. p. 193-233, 2001.
- Buzai, D., et al. "Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica: ordenamiento territorial, temáticas de base vectorial". Lugar editorial. Buenos Aires, 2012.
- Cabrera, A. y Willink, A. "Biogeografía de América Latina". Washington, OEA. 2da edición corregida Selección de capítulos. Cátedra de Ecología – Facultad de Agronomía – UBA. S/f. Biomasa y tipos de vegetación de la Argentina, 1980.
- Chuvieco, E. "Teledetección ambiental". Ariel Ciencia. Barcelona, 2002.
- Martellotto, E.; et al. "Inventario y caracterización del riego suplementario en la provincia de Córdoba". Boletín Nro. 10. I.S.S.N: 1668-2882. Área de agronomía. E.E.A. INTA Manfredi, 2005.
- Montesinos, S.; et al. "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), 2007.
- Moreno Jiménez, A. "Modelización cartográfica de densidades mediante estimadores kernel". Treballs de la Societat Catalana de Geografia 6, 1991.
- Viviroli, D.; et al.. "Assessing the hydrological significance of the world's mountains". Mountain Research and Development 23 (1), p. 32-40, 2003.