

Ferrelli, F., Bohn, V.Y. Piccolo, M.C. (2011): "Aplicación de geotecnologías al estudio de las precipitaciones y su relación con las coberturas del suelo (Pcia. de Buenos Aires, Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p.355-374. ISSN: 1578-5157

APLICACIÓN DE GEOTECNOLOGÍAS AL ESTUDIO DE LAS PRECIPITACIONES Y SU RELACIÓN CON LAS COBERTURAS DEL SUELO (PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA)

FERRELLI, F.¹, BOHN, V.Y.¹ Y PICCOLO, M.C.^{1,2}

¹ Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo.
12 de octubre y San Juan. 4to. Piso (8000), Bahía Blanca, Argentina.

² CONICET- Instituto Argentino de Oceanografía (IADO) CC 804 B8000FWB Bahía
Blanca, Argentina.

fferrelli@hotmail.com, vbohn@criba.edu.ar, piccolo@criba.edu.ar

RESUMEN

Se analizó la influencia de la precipitación en la vigorosidad de la vegetación y el área cubierta por agua en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina) mediante el uso de geotecnologías. Los registros pluviométricos fueron analizados estadísticamente, por un periodo de 30 años, para la obtención de mapas normales y de anomalías y clasificación de años según pluviometría. La variación temporal del estado de la vegetación se obtuvo a partir de valores del índice estandarizado de vegetación (NDVI). La variación de la cobertura de agua fue evaluada mediante clasificación no supervisada de las imágenes satelitales. En ambos casos, el período de estudio fue 2004-2009.

Como resultado, la cobertura de arbustal abierto fue la más estable frente a la variabilidad de la precipitación, mientras que la cobertura de cultivo de secano fue la más sensible. En tanto, la cobertura de pastizal abierto mostró mayor sensibilidad a otras variables climáticas, como la temperatura. Se detectó una correlación positiva entre el área cubierta por agua y la precipitación anual. La variación en la extensión de dicha cobertura fue del 30% al comparar un período húmedo (año 2004) con uno seco (2009).

Palabras clave: variabilidad de la precipitación, índice normalizado de vegetación (NDVI), coberturas de suelo

GEOTECHNOLOGIES APPLICATION TO STUDY OF RAINFALL AND ITS RELATION WITH THE LAND COVER (BUENOS AIRES PROVINCE, ARGENTINA)

ABSTRACT

The precipitation influence in the vegetation vigor and the area covered by water in the southwestern of the Buenos Aires province (Argentina) was evaluated using geotechnologies. The rainfall records were analyzed statistically for a period of 30 years in order to obtain normal maps and anomalies and classification of years depending on rainfall. The vegetation temporal changes were obtained from Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) values. The water coverage variation was evaluated by unsupervised classification of satellite images. In both cases, the study period was 2004-2009.

As a result, open shrub cover was more stable against the rainfall variability while the coverage of crops was the most sensitive. Meanwhile, the coverage of grasslands showed greater sensitivity to other climatic variables such as temperature. We found a positive correlation between the area covered by water and the annual precipitation. The variation in the areal extension was of 30% when comparing a wet period (2004) with dry one (2009).

Keywords: precipitation variability, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), land cover.

1. Introducción

La variabilidad climática de una región depende de múltiples factores, incluyendo sucesivos eventos meteorológicos que se producen en escalas temporales y espaciales diferentes. En América Latina se ha demostrado que la variabilidad climática está relacionada con el fenómeno ENSO, es decir, el fenómeno El Niño (EN) y Oscilación Sur (OS). Se han realizado numerosos estudios acerca de la posible vinculación entre las anomalías hídricas y procesos atmosféricos a distintas escalas (Pittock, 1980; Scian, 2002). Hace ya tiempo que se conoce la existencia de una relación entre las lluvias estivales y los episodios El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) en el sur de Sudamérica (Scian, 2002). Aceituno (1998) estudió los efectos sobre el clima y encontró una correlación negativa entre el índice ENSO y la precipitación en el sur de Sudamérica durante noviembre-diciembre y, sobre Chile, principalmente durante julio-agosto y septiembre-octubre. Por su parte, Grimm *et al.* (2000) afirman que el sur de Brasil presenta el mayor promedio de ocurrencia de eventos de El Niño. El comportamiento general muestra que las anomalías de precipitación y la circulación en el sur de Sudamérica ocurren durante los mismos períodos de los eventos de El Niño y La Niña.

Los estudios realizados sobre estos fenómenos han mostrado una conexión entre presión atmosférica, temperatura, precipitación y anomalías hidrometeorológicas (Aceituno, 1998). Las anomalías en las temperaturas del mar generan una alteración térmica, causando una circulación

Ferrelli, F., Bohn, V.Y. Piccolo, M.C. (2011): "Aplicación de geotecnologías al estudio de las precipitaciones y su relación con las coberturas del suelo (Pcia. de Buenos Aires, Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p.355-374. ISSN: 1578-5157

atmosférica anormal derivada de los cambios en las temperaturas del océano que, por consiguiente, alteran la interacción mar-aire, afectando los procesos nubosos y, en consecuencia, la distribución de las precipitaciones. Como resultado, la pluviometría puede ser muy diversa, generando períodos de sequías o inundaciones. El origen se debe a cambios en la presión atmosférica y en la consiguiente alteración en la circulación general de la atmósfera. Específicamente en Argentina están asociadas a condiciones anticiclónicas que persisten durante cierto tiempo (Piccolo *et al.*, 2002).

Los fenómenos que afectan a la pluviometría pueden repercutir sobre el rendimiento de los cultivos. De esta manera, la sequía es una de las principales adversidades que afecta a las regiones agrícolas de la Argentina (Carbone *et al.*, 2004). En la región de estudio las características meteorológicas están condicionadas por grandes masas de aire que surgen de los centros de acción del hemisferio Sur: Anticiclón semipermanente del Atlántico Sur, Anticiclón semipermanente del Pacífico Sur y Frente Polar. La acción de éstas le proporciona a la región la existencia de un clima templado de transición (Carbone *et al.*, 2004).

El avance o penetración de las masas de aire mencionadas no tiene límites precisos, pero genera, junto con la presencia de la Cordillera de los Andes y la baja térmica del noroeste, la "diagonal árida argentina". Este nombre identifica la franja de escasas lluvias que atraviesa al continente, desde el norte de Perú hasta la costa patagónica sobre el Atlántico (Bruniard, 1982). El desarrollo de la diagonal árida ocurre como consecuencia del predominio de determinados sistemas de presión que intensifican la llegada de masas húmedas atlánticas.

El objetivo del presente estudio fue analizar la influencia de la variabilidad de la precipitación en el vigor de la vegetación y la extensión del área cubierta por agua en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina) ([figura 1](#)) mediante el uso de geotecnologías.

2. Estado de la cuestión o revisión bibliográfica

Utilizando la metodología del balance hidrológico diario con curva de retención lineal, se estudiaron las sequías más intensas correspondientes a los períodos 1916-17; 1924-25; 1927-28; 1937-38; 1942-43; 1949-50; 1956-57; 1978-79 ocurridas en la provincia de Buenos Aires (Troha y Forte Lay, 1993). Se analizaron 130 estaciones pluviométricas con un mínimo de 70 años de registro, utilizando la evapotranspiración potencial diaria normal estimada por Penman. En el período 1911-86 se detectaron un mínimo de 11 eventos secos (de 30 días o más) en el norte de la provincia y un máximo de 63 en el suroeste de la misma, lo cual indicó gran frecuencia de esta adversidad. La sequía que correspondió al verano de 1927-28 fue la más intensa y la segunda en duración, siendo la del 1916-17 la más larga (127 días).

Piccolo *et al.* (2002) analizaron el fenómeno de la variabilidad climática en relación al origen de eventos de sequía ocurridos en la región pampeana. La sequía comenzó en abril de 1995 y se extendió a lo largo del año. El déficit hídrico se adelantó a los períodos usuales, estableciéndose a mitad del otoño y determinando que más del 20% de la superficie destinada al cultivo de trigo en el radio de influencia de Bahía Blanca no se pudiera cultivar. Se estimó que el fenómeno no sólo fue

Ferrelli, F., Bohn, V.Y. Piccolo, M.C. (2011): "Aplicación de geotecnologías al estudio de las precipitaciones y su relación con las coberturas del suelo (Pcia. de Buenos Aires, Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p.355-374. ISSN: 1578-5157

importante por la escasez de agua durante siete meses sino también por los intensos vientos, que produjeron una importante erosión eólica.

La caracterización de las precipitaciones estivales para la región del suroeste bonaerense se realizó durante el período 2002-2005 (Zapperi *et al.*, 2007). Se determinó que los principales sistemas meteorológicos que originan lluvias en el área de estudio son las situaciones frontales y las vaguadas en altura. Durante el período estudiado se destacaron las precipitaciones frontales (frente frío y frente cálido), así como las producidas por ondas frontales y las que se deben a bajas presiones resultado de procesos de ciclogénesis. Se determinó que el Sistema de Ventania influye en las precipitaciones zonales del orden de los 110 mm. En cuanto a la forma de precipitación, predominaron las lluvias, pues las nevadas se presentaron en pocas oportunidades y acotadas al área serrana.

Las variaciones inter e intranuales de la precipitación mensual en la región semiárida pampeana (RESAP) de Argentina fueron analizadas para el período 1911-1999 (Scian, 2002). Se aplicó el Índice de Precipitación Estandarizado a escala 3 meses (IPE3) para analizar estadísticamente la ocurrencia de exceso o déficit de precipitación, así como su duración para seis subregiones de la RESAP. Se determinaron los porcentajes del área bajo distintas condiciones hídricas, encontrándose que existe entre un 5% y 10% de aumento en las categorías de humedad débil y moderada del fin del período, a expensas de una disminución de las condiciones secas. Se estimó que toda la región pampeana sufrió unas condiciones hídricas excepcionales, debido al incremento de la precipitación desde la década de los años 70.

Se han realizado numerosos estudios acerca de la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) e imágenes satelitales a temas medioambientales y climáticos. Alatorre *et al.* (2010) analizaron la evolución temporal y espacial de la dinámica vegetal sobre varias coberturas de suelo en el Pirineo Central (España). Utilizaron series temporales de NDVI construidas a partir de imágenes *Landsat TM* y *ETM+*. Como resultado obtuvieron una correlación entre las temperaturas mínimas y el incremento del NDVI en áreas vegetadas. Por el contrario, en áreas degradadas no encontraron relación entre la tendencia del NDVI y las variables climáticas y topográficas. A escala nacional, la dinámica temporal del NDVI del bosque y pastizal natural en el Chaco Seco de la provincia de Santiago del Estero (Argentina) fue evaluada mediante el índice normalizado de vegetación derivado del producto satelital *SPOT 4-Vegetation*. Como resultado se obtuvo una mayor estabilidad en la cobertura de bosque en relación a las variaciones de la precipitación, frente una mayor sensibilidad de la cobertura de pastizal a las temperaturas y la radiación (Zerda y Tiedemann, 2010).

3. Materiales, datos y métodos

Las estadísticas climatológicas fueron obtenidas de las bases de datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y de la Red de Información Agroeconómica de la Región Pampeana (INTA RIAP). La distribución espacial de la precipitación fue analizada mediante el uso de un SIG. Las estaciones climatológicas y

pluviométricas fueron incorporadas al SIG mediante la creación de un mapa de puntos. El mismo fue interpolado para la elaboración de mapas de isohietas y anomalías de precipitación. El método utilizado fue *Spline*, debido a la ventaja que éste presenta para su aplicación en superficies cuyos valores varían suavemente. Las isohietas correspondientes a los valores normales de pluviometría se realizaron a partir de los registros (1971-2000) de las estaciones de Bahía Blanca, Viedma, San Antonio Oeste, Pigüé, Santa Rosa, Tres Arroyos e Hilario Ascasubi ([figura 2](#)), mientras que las isohietas y mapas de anomalías anuales se realizaron sobre la base de los datos correspondientes a las estaciones de Viedma, Hilario Ascasubi, Bahía Blanca, Tres Arroyos, Escuela N° 31, Don Fulgencio, Paraje 4 Tranqueras, Emilio Lamarca, Establecimiento Lauquén, Villalonga, TGS Planta de Bombeo, Teniente Origone, Ombucta, Nicolás Levalle, Colonia Triaco y Colonia Lote 6 ([figura 2](#)). Los montos anuales de precipitación correspondientes a las estaciones Bahía Blanca, Hilario Ascasubi y Viedma (1971-2009) se analizaron mediante el método de quintiles (Bolognesi, 1971) para la determinación de años normales, secos y húmedos. El método consiste en el cálculo del parámetro estadístico quintil (Q) de una serie de datos anuales de precipitación (Q1, Q2, Q3 y Q4). El criterio de clasificación aplicado para la determinación de años secos, húmedos y normales se presenta en la [tabla 1](#).

Para el análisis de la influencia de la precipitación en el estado y densidad de la vegetación se realizó el estudio de la evolución interanual y mensual del Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) (1) durante el período 2004 -2009. Los datos de NDVI correspondientes a tres coberturas del suelo del área de estudio fueron obtenidos mediante el procesamiento digital del producto satelital MODIS NDVI (Resolución temporal=15 días; resolución espacial=250 m) (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos-USDA). Las imágenes satelitales correspondientes al área de estudio (región Argentina) fueron obtenidas en forma gratuita desde el sitio *web* del USDA. La reproyección de las imágenes al sistema de coordenadas *Trasverse Mercator* (WGS 84) fue realizada mediante la herramienta *Modis Reprojection Tool* (MRT).

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS) \quad (1)$$

donde, NIR= rango del espectro correspondiente al infrarrojo cercano y VIS=rango del espectro correspondiente al visible.

El procesamiento digital del producto satelital incluyó la extracción de valores de NDVI de tres zonas distintas en cuanto a la cobertura del suelo. De esta manera, las muestras fueron extraídas de sectores correspondientes a las coberturas de pastizal abierto, cultivo de secano y arbustal abierto según la nomenclatura y delimitación presentada en el mapa de cobertura de la tierra de la República Argentina (Programa Nacional de Ecorregiones, 2009) ([figura 3](#)). Las imágenes satelitales (resolución temporal=15 días) conformaron un producto anual realizado a partir de la función *layer stacking* del programa ENVI 4.7. De esta manera, las regiones (*roi*) fueron creadas sobre los productos anuales para el cálculo de la estadística de NDVI de cada sector y para cada período. La variabilidad temporal (interanual y mensual) del NDVI se determinó mediante el Coeficiente de Variación (CV) (2).

Ferrelli, F., Bohn, V.Y. Piccolo, M.C. (2011): "Aplicación de geotecnologías al estudio de las precipitaciones y su relación con las coberturas del suelo (Pcia. de Buenos Aires, Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p.355-374. ISSN: 1578-5157

$$CV = (\text{Desvío Standard/Media}) * 100 \quad (2)$$

Complementariamente, se clasificó a los productos satelitales mediante el método de clasificación no supervisada *ISODATA* para la obtención de los vectores correspondientes a los cuerpos de agua superficiales. Posteriormente, los vectores fueron convertidos en polígonos. El cálculo correspondiente a las áreas cubiertas por agua para cada año fue realizado mediante operaciones SIG.

4. Descripción y análisis de los resultados

4.1. Distribución espacial y variabilidad temporal de las precipitaciones

El trazado de las isohietas para un período de 30 años mostró que la precipitación en el área de estudio disminuye en dirección NE-SO, con valores entre los 400 y 600 mm anuales ([figura 4](#)). Como resultado de la aplicación del método de quintiles (Bolognesi, 1971), el año 2004 fue considerado lluvioso en toda la región, mientras que los años restantes (2005-2009) fueron considerados secos y muy secos. Durante los períodos secos, específicamente durante el año 2008, la distribución espacial y los montos de precipitación variaron con respecto a los valores normales. De esta manera, se observó una disminución de la precipitación en sentido E-O y los máximos y mínimos sólo alcanzaron los 350 y 100 mm anuales, respectivamente ([figura 5](#)).

La aplicación de geotecnologías en el análisis de la distribución espacial y variabilidad de la precipitación permitió la confección de mapas de anomalías pluviométricas. La [figura 6](#) muestra la distribución espacial de las anomalías de precipitación durante un año húmedo (2004) con respecto a los valores normales de precipitación. Como resultado, se obtuvo que en el noreste de la región la anomalía pluviométrica fue positiva, alcanzando los 350 mm ([figura 6](#)). Las precipitaciones correspondientes a este año fueron de 758, 712,3 y 481,5 mm en el norte, centro y sur del área de estudio, respectivamente.

Por el contrario, las anomalías de precipitación calculadas para el año 2008, en relación a los valores normales, fueron mayormente negativas. El máximo valor fue obtenido para el sector sureste de la región (≈ 50 mm), mientras que el menor registro se obtuvo en el oeste (-350 mm). Durante este año, la distribución de las precipitaciones (y por ende de las anomalías) fue diferente a la normal, disminuyendo de este a oeste ([figura 7](#)).

4.2. Influencia de la variabilidad de la precipitación la vegetación y el área cubierta por agua

4.2.1. Dinámica interanual del NDVI (2004-2009)

La mayor estabilidad anual la obtuvo la cobertura de arbustal abierto (CV=5,60%) durante un período seco (2007), seguido de la cobertura de pastizal abierto en el año 2005 (CV=9,32%) y la cobertura de cultivo de secano en el año 2004 (CV=13,85). La mayor actividad fotosintética se obtuvo para la cobertura de arbustal abierto en el año 2004, con valores de NDVI de 0,45 ([figura 8](#)). En las restantes coberturas, la mayor actividad fotosintética del período también fue obtenida en el año 2004 con valores de NDVI de 0,43 (pastizal abierto) y 0,41 (cultivo de secano), en coincidencia con anomalías pluviométricas positivas para la región de estudio ([figura 6](#)) ([Tabla 2](#)).

En la [figura 9](#) se muestra la correlación entre el índice de vegetación (NDVI) en las tres coberturas de vegetación y la precipitación mensual acumulada de la región en estudio durante el año 2004. Durante este período húmedo las correlaciones fueron positivas, indicando que, ante el incremento de la precipitación y la humedad del suelo, la vigorosidad y/o densidad de la vegetación también registró aumentos. La correlación entre la precipitación acumulada y el cultivo de secano y la cobertura de arbustal abierto fue $R^2 > 0,7$, mientras que para la cobertura de pastizal abierto dicha correlación superó el valor de 0,9. En estos casos, la vegetación no sólo respondió a la estacionalidad de las condiciones climáticas o períodos de crecimiento vegetal, sino que se registró la influencia de las condiciones pluviométricas de períodos anteriores.

Por el contrario, la vegetación presentó menor vigorosidad durante el año más seco (2009). En dicho período, en el que las precipitaciones anuales medias para la región fueron inferiores a 600 mm, los valores de NDVI se aproximaron a 0,22 en todas las coberturas ([figura 8](#)). Durante los años 2005-2008 ([tabla 2](#)) los valores de NDVI calculados por el satélite indicaron la presencia de vegetación más dañada con respecto a la del año 2004 ([figura 8](#)). Como resultado, las correlaciones entre los valores de precipitación acumulada y los de NDVI mostraron patrones temporales y espaciales diferenciados. La correlación positiva sólo fue observada para la cobertura de cultivo de secano en el año 2005 y 2006 ($R^2=0,89$ y $R^2=0,88$, respectivamente) y para el caso de la cobertura de arbustal abierto ($R^2= 0,64$) en el año 2006. En los casos restantes, las precipitaciones acumuladas no presentaron correlación con la dinámica estacional de la vegetación principalmente por tratarse de años secos y muy secos en toda la región. La correlación entre la variable climática y el NDVI en dichos períodos fue negativa.

4.2.2. Dinámica mensual del NDVI (2004-2009)

De acuerdo a valores medios (período 2004-2009), la vegetación de arbustal abierto presentó el mayor vigor durante los meses de abril-julio, con valores medios de NDVI cercanos a 0,3, en coincidencia con el período de menores temperaturas y evapotranspiración en el área de

Ferrelli, F., Bohn, V.Y. Piccolo, M.C. (2011): "Aplicación de geotecnologías al estudio de las precipitaciones y su relación con las coberturas del suelo (Pcia. de Buenos Aires, Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p.355-374. ISSN: 1578-5157

estudio ([figura 10](#)). Asimismo, dicho lapso coincide con balances hídricos positivos (Ferrelli, 2011) para la región de estudio.

La dinámica mensual del pastizal abierto siguió el modelo regional de las precipitaciones y temperaturas (Campo *et al.*, 2004), con mayores valores de NDVI durante una de las estaciones más lluviosas de la región (otoño). El deterioro de la vegetación respondió a períodos de temperaturas más bajas ([figura 10](#)) y ocurrencia de heladas, con valores de NDVI < 0,3 durante los meses de invierno ([figura 11](#)). En cuanto al cultivo de secano, se evidenció la mayor sensibilidad (en relación a las demás coberturas) con la precipitación, presentando mayor actividad fotosintética durante los dos períodos más lluviosos.

En la totalidad de las coberturas de suelo analizadas la actividad fotosintética de la vegetación mostró sensibilidad al efecto de la evaporación y las sequías, mostrando los mínimos valores de NDVI del período durante el año más seco (2009). Durante el mismo, las anomalías de precipitación fueron negativas y variaron en forma similar al año anterior, entre -400 y -50 mm ([figura 7](#)). La mayor diferencia detectada entre coberturas en relación a la dinámica mensual del NDVI se vinculó con la mayor actividad fotosintética registrada durante la primavera en el cultivo de secano respecto de las demás coberturas ([figura 11](#)).

4.2.3. Dinámica interanual de la cobertura de agua (km²)

Complementariamente al estudio de la influencia de la precipitación en el desarrollo de la vegetación, se realizó el análisis de la variación interanual del área cubierta por agua durante el período 2004-2009. El máximo valor hallado correspondió al año 2004, durante el cual se registraron los mayores montos de precipitación en toda el área de estudio. Las extensiones de los cuerpos de agua superficiales mostraron decrecimiento durante los períodos más secos (años 2008-2009), disminuyendo en un 30% con respecto al período más húmedo ([figura 12](#)).

5. Conclusiones

El análisis de la variabilidad de la precipitación mediante técnicas estadísticas durante un período de 30 años favoreció la apreciación de períodos extremos vinculados, fundamentalmente, con fenómenos de sequía. Durante dichas anomalías, la influencia de la precipitación fue detectada sobre la vegetación del área de estudio a partir de la aplicación de geotecnologías y el uso de imágenes satelitales. El índice de vegetación disponible en los productos satelitales constituyó un indicador preciso de la variabilidad en el vigor y densidad de la vegetación a lo largo del período estudiado.

La correlación entre la variabilidad de la precipitación y el vigor de la vegetación se diferenció según coberturas a lo largo del período 2004-2009. La cobertura de arbustal abierto fue la más estable frente a las fluctuaciones anuales de la precipitación, mientras que el cultivo de secano

Ferrelli, F., Bohn, V.Y. Piccolo, M.C. (2011): "Aplicación de geotecnologías al estudio de las precipitaciones y su relación con las coberturas del suelo (Pcia. de Buenos Aires, Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p.355-374. ISSN: 1578-5157

se mostró más sensible a dichos cambios. En este último caso la sensibilidad fue más notoria en relación a las precipitaciones estacionales de otoño y primavera que a la influencia de la humedad del suelo de períodos anteriores (precipitación acumulada). En el caso de la cobertura de pastizal abierto, ésta se mostró más sensible a las temperaturas, mostrando un descenso del NDVI durante la época invernal.

A escala interanual, la correlación entre la precipitación acumulada y el vigor de la vegetación fue positiva, especialmente durante períodos húmedos. En valores medios, la disminución del NDVI durante un período seco en relación a un año húmedo fue del 48% aproximadamente en las tres coberturas de suelo.

En cuanto a la cobertura del suelo por parte de aguas superficiales, la correlación entre la precipitación y el área cubierta por agua fue positiva. La variación en la extensión de la cobertura fue del 30% entre un período húmedo (año 2004) y uno seco (2009).

Finalmente, se considera que las investigaciones futuras han de estar centradas en el perfeccionamiento de la metodología empleada, incorporando bases de datos satelitales de mayor resolución espacial, así como también la incorporación de una fase de trabajo de campo que complemente a los procesos de validación de bases de datos pre-existentes.

6. Referencias bibliográficas

- Aceituno, P. (1998): "On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector". Part I: Surface Climate, *Mon. Wea. Rev.*, 116, pp. 505-524.
- Alatorre, L.C., Beguería, S. y Vicente-Serrano, S.M. (2010): "Análisis de la evolución espaciotemporal del NDVI sobre áreas vegetadas y zonas de riesgo de erosión en el Pirineo Central", *Pirineos*, 165, pp. 7-27.
- Bolognesi, E. (1971): "Análisis de criterios para clasificar totales mensuales de precipitación aplicados a series de República Argentina", *Meteorológica*, 2, pp. 171-205.
- Bruniard, E. (1982): "La diagonal árida argentina: un límite climático real", *Revista Geográfica*, 95, pp. 5-20.
- Campo, A., Capelli, A. y Diez, P. (2004): *El clima del Sudoeste Bonaerense*. Bahía Blanca, Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur. 99 pp.
- Carbone, M.E., Piccolo M.C. y Scian B.V. (2004): "Análisis de los períodos secos y húmedos en la cuenca del arroyo Claromecó, Argentina", *Rev. Papeles de Geografía*, 40, pp. 25-35.
- Grimm, A.M., Barros, V.R. y Doyle, M.E. (2000): "Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events", *Journal of Climate*, 13, pp. 35-58.
- Ferrelli, F. (2011). *La sequía 2008-2009 en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires*. Tesis de Licenciatura. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. 62 pp.

Ferrelli, F., Bohn, V.Y. Piccolo, M.C. (2011): "Aplicación de geotecnologías al estudio de las precipitaciones y su relación con las coberturas del suelo (Pcia. de Buenos Aires, Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p.355-374. ISSN: 1578-5157

- Piccolo, M.C., Capelli de Steffens, A. y Campo de Ferreras, A. (2002). "La sequía del año 1995 en el sur de la región pampeana argentina", en Lugo, J. y Inbar, M. (Eds.): *Desastres Naturales en América Latina*, México, Fondo de Cultura Económica, pp. 189-206
- Pittock, A.B. (1980): "Patterns of climatic variation in Argentina and Chile- I. Precipitation, 1931-60", *Monthly weather review*, 108, pp. 1347-136
- Programa Nacional de Ecorregiones (2009). *Informe Técnico Unificado PNECO 1643. Monitoreo de la cobertura y el uso del suelo a partir de sensores remotos*. INTA. 31 pp.
- Scian, B. (2002): "Variabilidad de las condiciones hídricas en la región semiárida pampeana Argentina", *Geoacta*, 27, pp. 30-52.
- Troha, A. y Forte Lay, J.A. (1993): "Análisis de las principales sequías edáficas ocurridas en la provincia de Buenos Aires", *Geoacta*, 20, pp. 79-85.
- Zapperi, P.A., Ramos, M.B., Gil, V. y Campo, A.M. (2007): "Caracterización de las precipitaciones estivales en la región del suroeste bonaerense", *Contribuciones Científicas GAEA*, pp. 483-491
- Zerda, H.R. y Tiedemann, J.L. (2010): "Dinámica temporal del NDVI del bosque y pastizal natural en el Chaco Seco de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina", *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, 6, pp. 14-23.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), a la Universidad Nacional del Sur (UNS), al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y Proyecto INTA RIAP. Los datos satelitales fueron cedidos por *Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC)*, *U.S. Geological Survey (USGS)* y *Earth Resources Observation and Science (EROS) Center* (lpdaac.usgs.gov) y Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA).

TABLAS

Tabla 1. Clasificación de períodos anuales en relación a las precipitaciones anuales según el método de quintiles (Bolognesi, 1971)

Año muy seco	$P < 1Q$
Año seco	$1Q \leq P < 2Q$
Año normal	$2Q \leq P < 3Q$
Año lluvioso	$3Q \leq P < 4Q$
Año muy lluvioso	$P \geq 4Q$

Ferrelli, F., Bohn, V.Y. Piccolo, M.C. (2011): "Aplicación de geotecnologías al estudio de las precipitaciones y su relación con las coberturas del suelo (Pcia. de Buenos Aires, Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p.355-374. ISSN: 1578-5157

Tabla 2. Valores medios de NDVI según año y cobertura de suelo

Cobertura del suelo	NDVI					
	2004	2005	2006	2007	2008	2009
arbustal abierto	0,45 (±0,11)	0,35 (±0,04)	0,33 (±0,05)	0,26 (±0,01)	0,28 (±0,05)	0,22 (±0,03)
pastizal abierto	0,43 (±0,08)	0,31 (±0,03)	0,30 (±0,05)	0,30 (±0,05)	0,28 (±0,06)	0,22 (±0,02)
cultivo de secano	0,42 (±0,05)	0,29 (±0,06)	0,30 (±0,09)	0,25 (±0,05)	0,22 (±0,05)	0,22 (±0,06)

FIGURAS

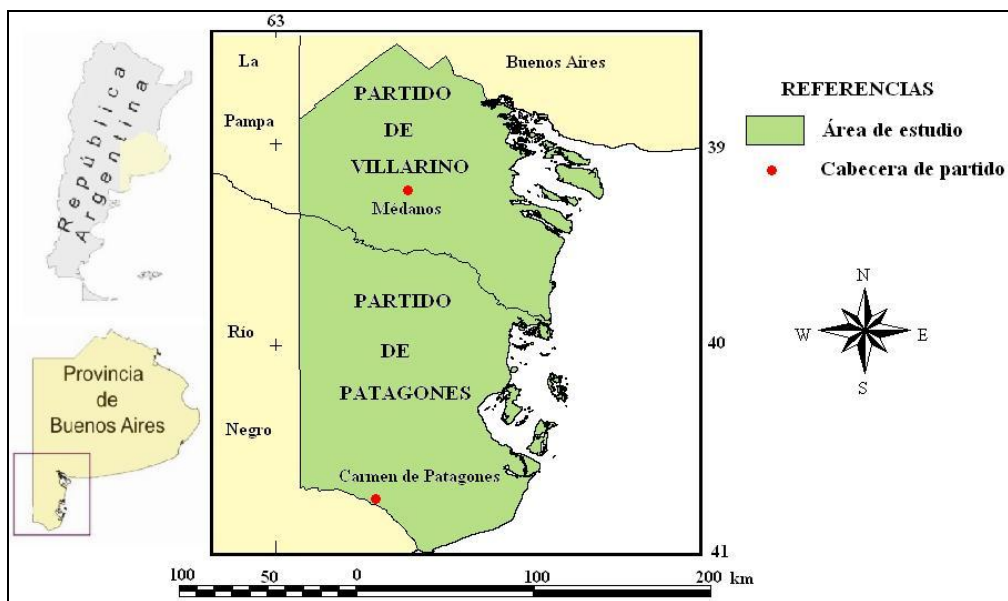


Figura 1. Localización del área de estudio

Ferrelli, F., Bohn, V.Y. Piccolo, M.C. (2011): "Aplicación de geotecnologías al estudio de las precipitaciones y su relación con las coberturas del suelo (Pcia. de Buenos Aires, Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p.355-374. ISSN: 1578-5157

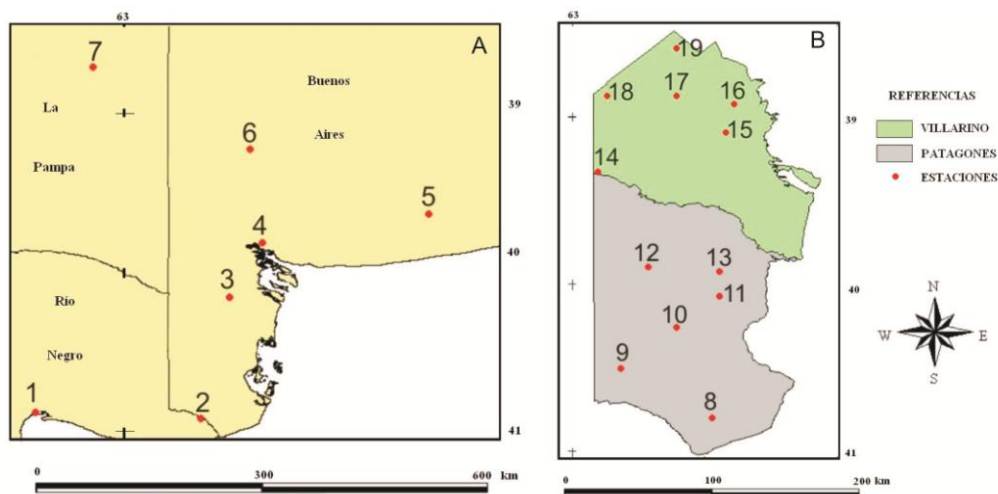


Figura 2. Estaciones meteorológicas del área de estudio: 1) San Antonio Oeste, 2) Viedma, 3) Hilario Ascasubi, 4) Bahía Blanca, 5) Tres Arroyos, 6) Pigüé, 7) Santa Rosa, 8) Escuela N° 31, 9) Don Fulgencio, 10) Paraje 4 Tranqueras, 11) Emilio Lamarca, 12) Establecimiento Lauquén, 13) Villalonga, 14) TGS Planta de Bombeo, 15) Teniente Origone, 16) Ombucta, 17) Nicolás Levalle, 18) Colonia Triaco, 19) Colonia Lote 6. El mapa A presenta la localización de las estaciones de las que se dispone de series largas de tiempo. El mapa B indica las estaciones de las que se obtuvieron series cortas de tiempo.

Ferrelli, F., Bohn, V.Y. Piccolo, M.C. (2011): "Aplicación de geotecnologías al estudio de las precipitaciones y su relación con las coberturas del suelo (Pcia. de Buenos Aires, Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p.355-374. ISSN: 1578-5157

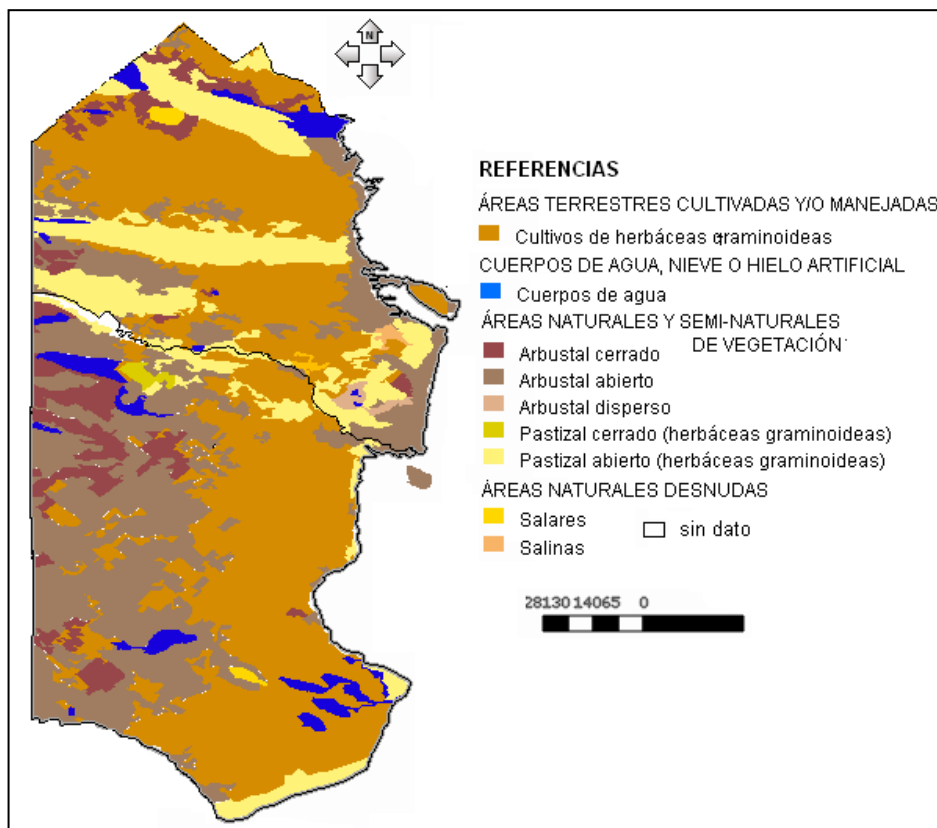


Figura 3. Cobertura del Suelo de la República Argentina Año 2006-2007 (modificado de Programa Nacional de Ecorregiones, 2009)

Ferrelli, F., Bohn, V.Y. Piccolo, M.C. (2011): "Aplicación de geotecnologías al estudio de las precipitaciones y su relación con las coberturas del suelo (Pcia. de Buenos Aires, Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p.355-374. ISSN: 1578-5157

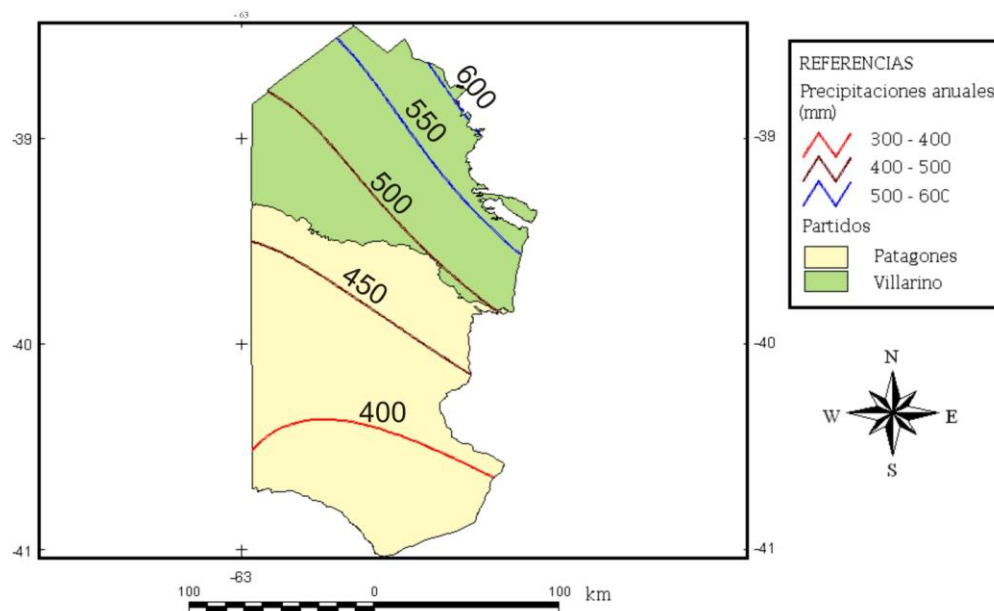


Figura 4. Distribución de la precipitación anual (mm) en el área de estudio (1971-2000)

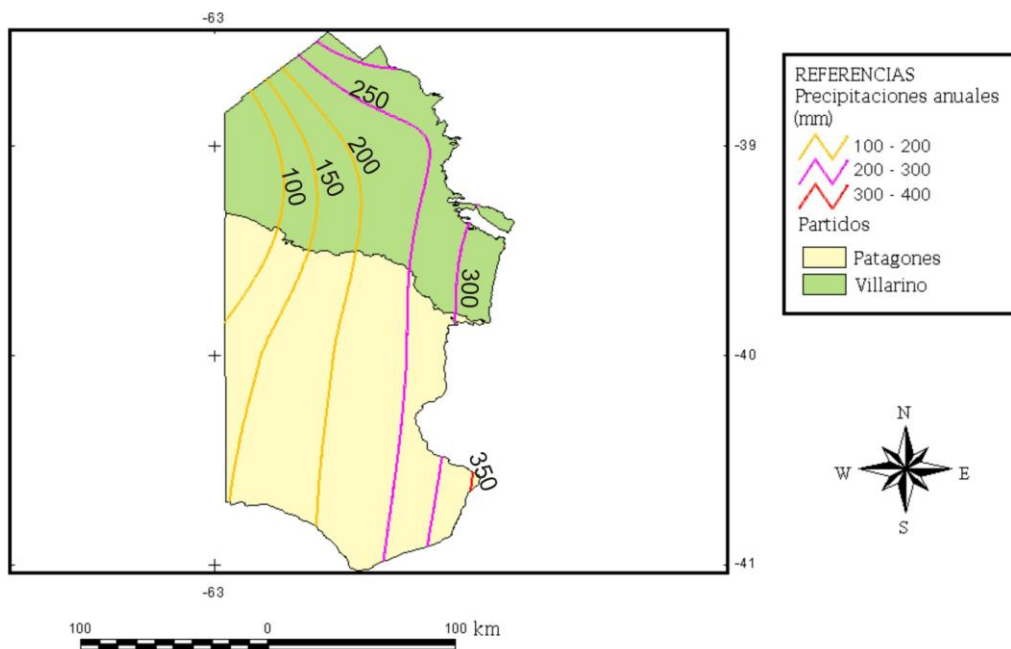


Figura 5. Distribución de la precipitación anual (mm) en el área de estudio durante el período seco (2008)

Ferrelli, F., Bohn, V.Y. Piccolo, M.C. (2011): "Aplicación de geotecnologías al estudio de las precipitaciones y su relación con las coberturas del suelo (Pcia. de Buenos Aires, Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p.355-374. ISSN: 1578-5157

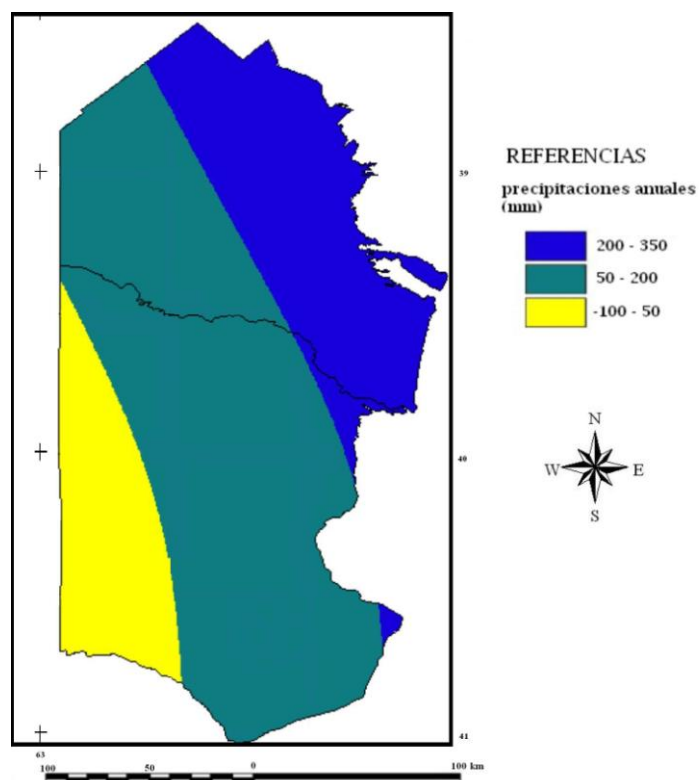


Figura 6. Anomalías pluviométricas (mm) correspondientes al año 2004

Ferrelli, F., Bohn, V.Y. Piccolo, M.C. (2011): "Aplicación de geotecnologías al estudio de las precipitaciones y su relación con las coberturas del suelo (Pcia. de Buenos Aires, Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p.355-374. ISSN: 1578-5157

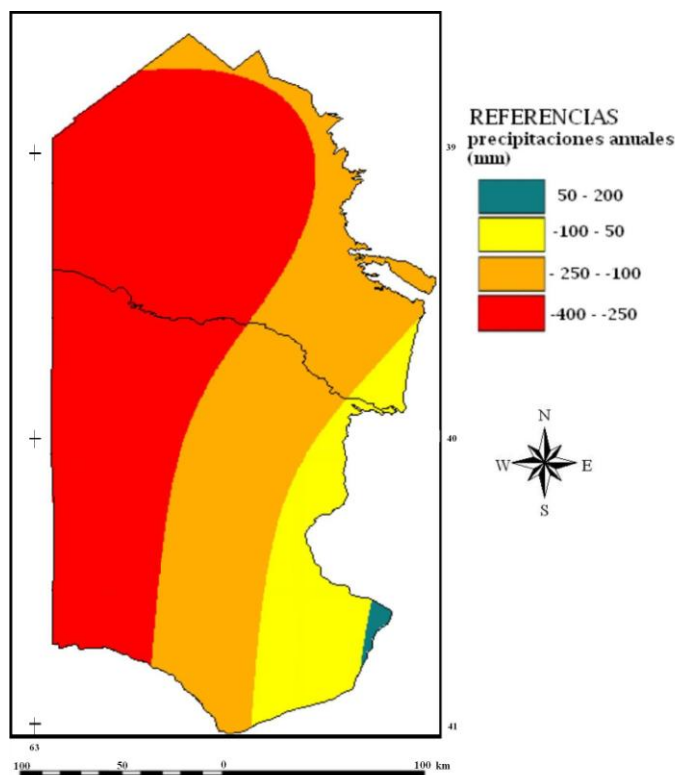


Figura 7. Anomalías pluviométricas (mm) correspondientes al año 2008

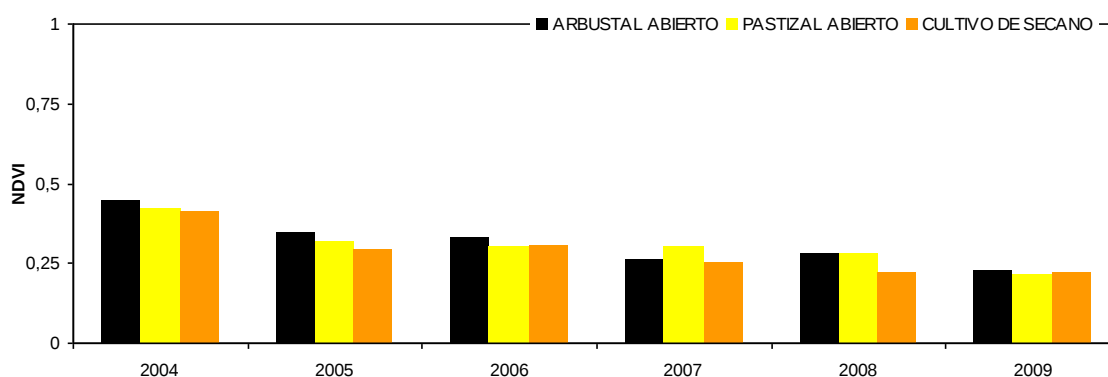


Figura 8. Dinámica interanual del NDVI según coberturas de suelo (Período 2004-2009)

Ferrelli, F., Bohn, V.Y. Piccolo, M.C. (2011): "Aplicación de geotecnologías al estudio de las precipitaciones y su relación con las coberturas del suelo (Pcia. de Buenos Aires, Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p.355-374. ISSN: 1578-5157

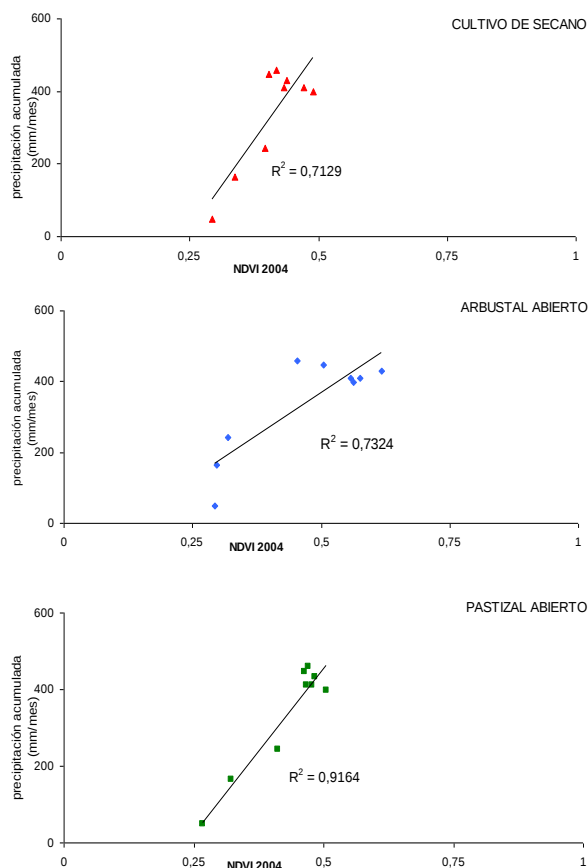


Figura 9. La correlación entre el NDVI y la precipitación acumulada fue positiva durante el año húmedo para los tres casos de cobertura de vegetación seleccionadas.

Ferrelli, F., Bohn, V.Y. Piccolo, M.C. (2011): "Aplicación de geotecnologías al estudio de las precipitaciones y su relación con las coberturas del suelo (Pcia. de Buenos Aires, Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p.355-374. ISSN: 1578-5157

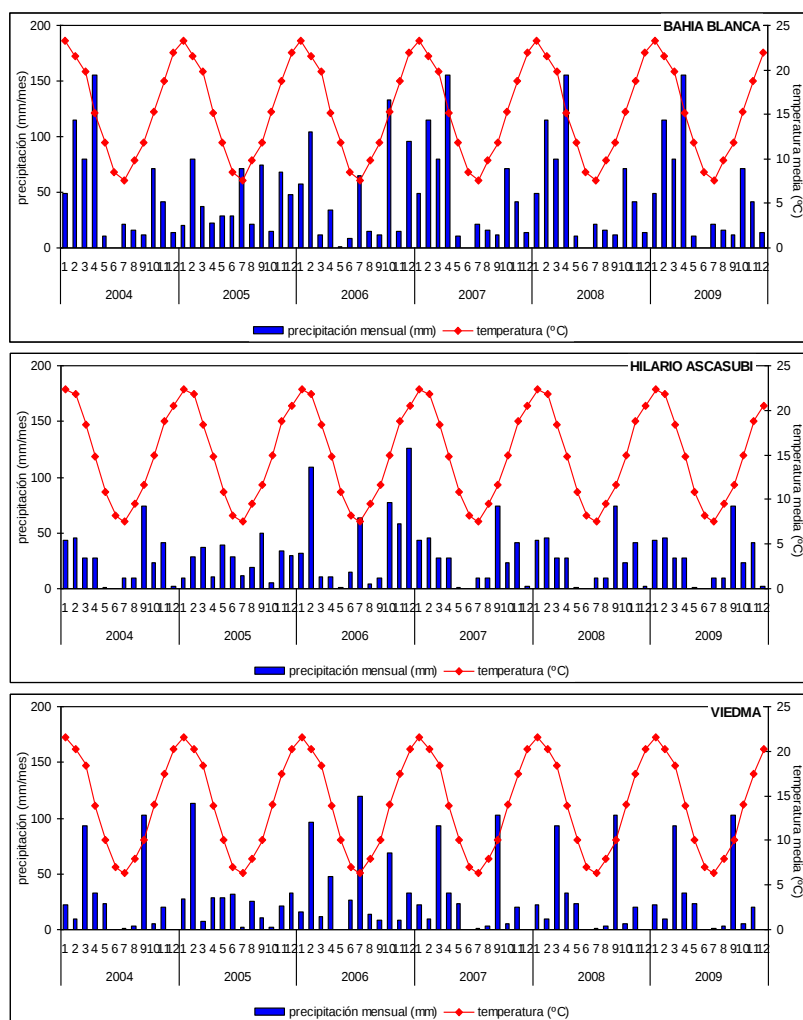


Figura 10. Precipitación mensual (mm) y temperatura media (°C) para tres estaciones representativas del área de estudio: Bahía Blanca (norte), Hilario Ascasubi (centro) y Viedma (sur).

Ferrelli, F., Bohn, V.Y. Piccolo, M.C. (2011): "Aplicación de geotecnologías al estudio de las precipitaciones y su relación con las coberturas del suelo (Pcia. de Buenos Aires, Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p.355-374. ISSN: 1578-5157

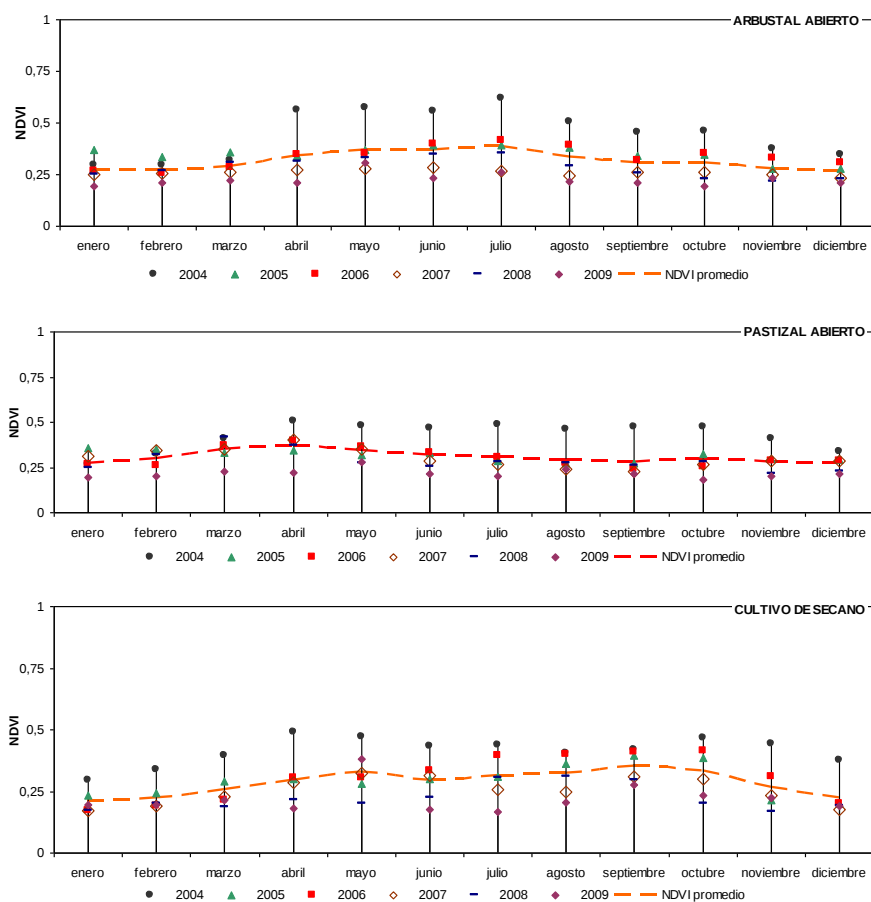


Figura 11. Dinámica mensual del NDVI según coberturas de suelo (Período 2004-2009)

Ferrelli, F., Bohn, V.Y. Piccolo, M.C. (2011): "Aplicación de geotecnologías al estudio de las precipitaciones y su relación con las coberturas del suelo (Pcia. de Buenos Aires, Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p.355-374. ISSN: 1578-5157

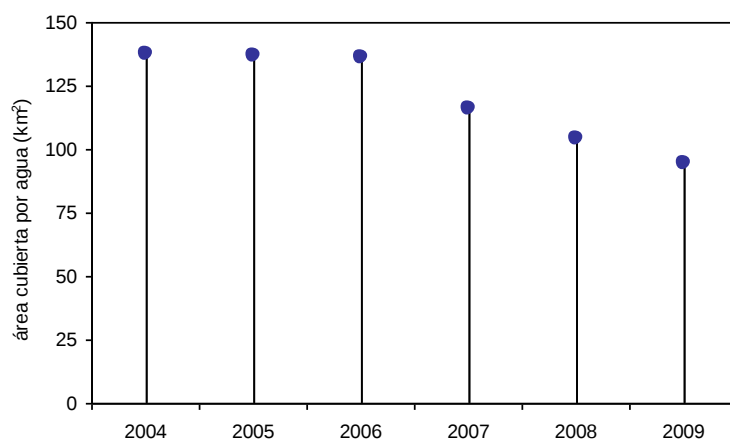


Figura 12. Evolución del área cubierta por agua (lagunas permanentes e intermitentes) en el área de estudio.