

INTEGRACIÓN DE SERIES DE DATOS SATELITALES Y CLIMÁTICOS PARA LA DEFINICIÓN DE AREAS CLIMÁTICAMENTE HOMOGÉNEAS EN EL CENTRO - NORDESTE DE ARGENTINA

INTEGRATING REMOTE SENSING AND CLIMATIC DATA SERIES FOR A DEFINITION OF HOMOGENEOUS ECO-CLIMATIC AREAS IN CENTRAL AND NORTH-EASTERN ARGENTINA

Ing. en Rec. Híd. Germán Pablo Farías¹

Dr. Alessandro Dessi²

Dr. Fabio Maselli²

Dr. Chiara Crotti³

¹ Área Teledetección y SIG. CIOMTA (Centro de Investigación, Observación, Monitoreo Territorial y Ambiental). Echagüe 7151 S3004JBS. Tel/Fax: 0342 4601433. Santa Fe, Argentina.

ciomta@ucsf.edu.ar

² Investigador. CNR IBIMET (Istituto di Biometeorologia del CNR) Via G. Caproni 8, 50145 Firenze, Italy. maselli@ibimet.cnr.it

³ Directora del CIOMTA. ciomta@ceride.gov.ar

RESUMEN

El índice de vegetación NDVI obtenido a partir de imágenes satelitales está muy relacionado con la cobertura vegetal. Una serie de 19 años de datos AVHRR-NOAA brinda registros de paso decádico y resolución espacial de 8x8km, permitiendo examinar los cambios cualitativos de la cobertura en el período 1982-2000. Utilizando herramientas SIG se pueden espacializar, con la misma resolución, registros climáticos tomados en el mismo periodo haciendo posible implementar un sistema para analizar la correlación NDVI/clima a escala regional.

Este estudio encara varios problemas relacionados con el procesamiento de datos para construir un set geográfico del registro diario de 33 observatorios del Centro y Nordeste de Argentina, permitiendo acoplar los índices derivados del estudio de temperaturas y precipitaciones con sus correspondientes datos de NDVI. Tras un primer estudio basado en datos puntuales de los observatorios, se individualizaron las temporadas y los índices con mayor correlación para extender los resultados a escala regional. Se presentan y discuten algunos resultados preliminares.

Palabras Claves: Teledetección; NDVI; Datos Climáticos; CIOMTA.

ABSTRACT

The NDVI index, obtained from satellite imagery, is strongly related to vegetation quantity and condition. A 19-years collection of NOAA/AVHRR images on a 10-days basis at a 8-km spatial resolution allows to examine qualitative changes in the canopy of any given area across the period 1982-2000. GIS-based calculations, applied to climatic data series taken over the same period, allow to spatialise and represent them at the same spatial resolution, in order to perform studies on the NDVI/climate correlation at regional scale.

This work was planned to address several problems related to data processing, in order to build a GIS raster data set from daily records of 33 observatories from Central and North-Eastern Argentina, allowing to join precipitatin and temperature-derived indexes with the corresponding spatial and temporal NDVI values. After a first study conducted at the single observatory scale, periods and indexes were chosen who show the highest correlation, to extend the results on a regional scale. Some preliminary results are presented and discussed.

Keywords: Remote Sensing; NDVI; Climatic Data; CIOMTA.

INTRODUCCION

Es ineludible la importancia de la disposición de información relativa a las características climáticas, especialmente si se refiere a una escala espacial adecuada a la necesidad operativa de la producción agrícola. El conocimiento de la relación existente entre la dinámica del factor climático y el comportamiento del mundo biológico constituyen un soporte válido para la planificación y el desarrollo de la actividad agrícola y forestal (Maselli, F. et al., 1996). Sabemos que un pequeño cambio de temperatura puede tener efectos importantes sobre la vegetación local, es decir, sobre la vida de las plantas. Algo más complicado es entender de qué manera las plantas a su vez ejercen algún efecto sensible sobre el clima. A nivel regional un aumento de superficie vegetada puede llevar a enfriar la superficie, originar mayor cobertura de nubes y aumento de lluvias. A nivel global un mayor crecimiento de las plantas puede reducir el porcentaje de dióxido de carbono en la atmósfera, o sea, reducir su temperatura y el efecto invernadero. Sin embargo, las respuestas ante la variabilidad interanual son grandes y se solapan con respuestas al clima que muestran tendencias a largo plazo, haciendo complicada la asignación de relaciones causales a los cambios de la vegetación (García, M., 2004). La teledetección es una de las herramientas que se aplica para la evaluación cuantitativa de estas relaciones (Sobrino, J. et al., 1998).

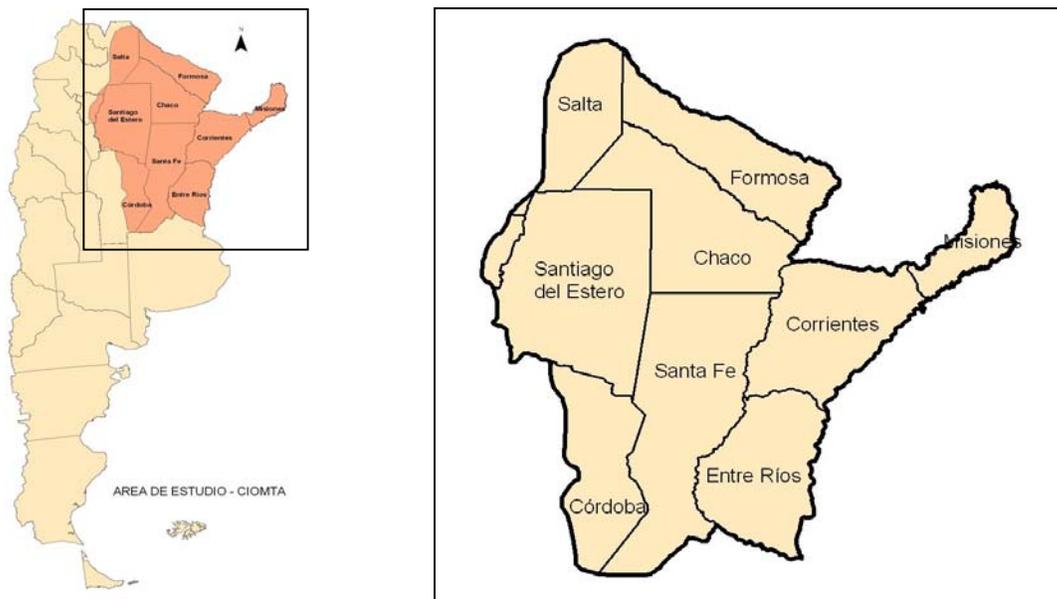
Un índice de vegetación se obtiene combinando datos espectrales de reflectancia multibanda con el objetivo de minimizar la variabilidad debido a efectos externos como nubes, atmosféricos, diferencias en iluminación solar, y otros. Comúnmente los índices de vegetación usan datos de reflectancia espectral contenidos en la porción del infrarrojo reflejado (infrarrojo cercano reflejado). El tejido vegetativo fotosintéticamente activo tiene alta absorción en el rojo (600-700 nm) y fuerte reflectancia en el infrarrojo cercano reflejado (700-1350 nm). Significativamente, esta característica espectral no está compartida por suelo y agua, las otras dos características predominantes del paisaje. Por tanto, los índices de vegetación desarrollados de datos espectrales en estas dos bandas tienen una alta correlación con parámetros comunes vegetativos, tal como el índice de área foliar (LAI), contenido de clorofila, fitomasa fresca y seca por arriba del suelo, altura del cultivo, porcentaje de cubierta de suelo por vegetación, población de plantas, etc. La principal ventaja que ofrece la utilización de índices de vegetación es que reducen la información recogida en las bandas originales de la imagen, ya que se obtiene una única banda correlacionada con parámetros agronómicos y se consigue una disminución de la cantidad de datos espectrales a tratar. El NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Rouse et al., 1974) proporciona registros cualitativos de densidad de cobertura vegetal global, y sus cambios en el tiempo; necesitando de series históricas extensas. Este índice realza el contraste entre vegetación y suelo/roca, mientras que compensa diferencias en iluminación solar. Los valores de NDVI varían de +1 a -1. Cuando la reflectancia es cero en el rojo, el NDVI = 1, que muestra un estado muy saludable de la vegetación, no sujeto a deficiencia de agua. Inversamente, cuando la reflectancia es cero en el infrarrojo cercano reflejado, el NDVI = -1, muestra rasgos del paisaje no vegetativos tal como agua y nieve. Cuando NDVI = 0, la reflexión en el rojo e infrarrojo cercano reflejado son exactamente lo mismo. El NDVI decrece con deficiencia de agua en un cultivo. Cuando la disponibilidad de agua decrece, ya sea espacialmente (debido a la variabilidad climática geográfica) o temporalmente (debido a deficiencia por sequía), las tasas de evapotranspiración actual reemplazan a las tasas de evapotranspiración potencial. Esto conduce a una reducción en la actividad fotosintética y a un incremento de la reflectancia en el rojo y, por tanto, a un decremento en el NDVI (Volante, J.N., 2003)

El objetivo más importante que se ha propuesto el CIOMTA (Centro de Investigación, Observación, Monitoreo Territorial y Ambiental) es la intención de evaluar y difundir todas las informaciones de tipo agroclimático y ambiental en general, como punto inicial para orientar una adecuada gestión del territorio, mediante la conservación, recuperación y aprovechamiento de los recursos naturales, en especial los recursos de la vegetación nativa y el desarrollo de actividades agropecuarias. En tal sentido, el CIOMTA tiene como propósito aportar elementos de análisis que logren evaluar y difundir la incidencia del cambio climático y analizar los flujos de carbono en ecosistemas representativos de la región involucrada. El presente trabajo se enmarca en el Proyecto Cambio Climático y Sumideros de Carbono del CIOMTA, el objetivo fue asociar la variabilidad decadal del índice de vegetación NDVI con variables climáticas tales como la precipitación y la temperatura en el centro-nordeste de Argentina. Se procesaron las imágenes decadales de NDVI del programa Pathfinder adquiridas por el sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) a bordo del satélite NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) del periodo 1982-2000. Los datos climáticos diarios corresponden a 33 observatorios pertenecientes al SMN (Servicio

Meteorológico Nacional) y al INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), para su análisis se tomó el mismo periodo que las imágenes de NDVI.

El área de estudio del Proyecto Cambio Climático y Sumideros de Carbono abarca aproximadamente 80.000.000 has., incluyendo las provincias de Santa Fe, Entre Ríos, Santiago del Estero, Formosa, Misiones, Corrientes, Chaco, parte de Salta, este de Tucumán y este de Córdoba (Figura 1). La naturaleza propia del territorio cubierto con este proyecto corresponde a una de las áreas con mayor densidad de población del país después de Capital Federal y la Provincia de Buenos Aires, con uno de los mayores índices de producción de origen agropecuario. El clima en esta zona caracterizado según el índice de DeMartonne (DeMartonne, E. 1927), varía de zonas semiáridas (zona oeste: Santiago del Estero) a zonas muy húmedas en la provincia de Misiones (Figura 2) (Farías, G., et al. 2005).

En esta área se encuentran superficies importantes que corresponden a reservas naturales provinciales, parques nacionales, y tierras fiscales pertenecientes a las distintas jurisdicciones de los gobiernos municipales, provinciales y nacionales, actualmente sin explotación. Éstas constituyen superficies potencialmente productivas y su uso racional y sustentable permitirá mejorar las condiciones socioeconómicas de la población de la región, que correctamente guiada, podría constituirse en la mejor defensora de las mismas, sensible y receptiva a las líneas de desarrollo



internacional y promotora de políticas locales apropiadas.

Figura 1: Área de estudio - CIOMTA

METODOLOGIA

El trabajo comprendió el procesamiento de las imágenes decadales del índice de vegetación NDVI correspondientes al período 1982-2000. Se utilizaron las imágenes NOAA-AVHRR, con resolución espacial de 8x8 km. El procesamiento de las imágenes incluyó la corrección por efectos de errores en la adquisición de la imagen y el efecto de nubosidad. El procesamiento de las imágenes se apoyó en el software IDRISI en su versión 14.0 KILIMANJARO (Eastman, R.J., 2003), y otros software implementados en el CNR IBIMET para ajuste de georreferenciación y corrección de errores (Escadafal et al., 2001). El procesamiento de las imágenes incluyó el cálculo de valores máximos y promedios mensuales para cada año y para toda la serie y su clasificación no supervisada (Dessi, A., et al., 2003).

Posteriormente se procedió con dos tipos de análisis:

Estudio de correlación espacial: (cálculo de promedios temporales) agregando los datos de cada estación y sus valores de NDVI en promedios temporales 1982-2000; y

Estudio de correlación temporal: agregando por cada año los valores espacializados de precipitaciones efectivas para estudiar su correlación con el valor NDVI del mismo píxel a lo largo del tiempo.

Correlación Espacial: se extrajeron los valores decadales de NDVI en los puntos donde se encuentran los observatorios meteorológicos. Para la información climática se utilizaron los datos diarios de los 33 observatorios. Los mismos se distribuyen en toda el área de estudio del CIOMTA (Figura 2). En una primera etapa se seleccionaron los observatorios más consistentes, es decir aquellos que poseen la información más completa y confiable. Los datos fueron procesados con métodos estadísticos diseñados por consultores y personal del CIOMTA llegando a su validación estadística, eliminación de record equivocados y dudosos y generación de datos faltantes (Vanlesberg, S., et al., 2004). Se estimó, en función de estos, una serie de índices bioclimáticos en los cuales la información climática se integra con la agrícola. Se determinó para cada observatorio los valores promedios anuales de: Precipitación Efectiva (PE), Precipitación Total Anual (PTA), Precipitación Máxima (PM), Días con Precipitación año (DP), Sumatoria Térmica Anual (STA), Día de Brote (DB), Duración de la Estación Vegetativa (EV). También se calculó el índice climático de DeMartonne (IM) para cada observatorio, el mismo se expresa como:

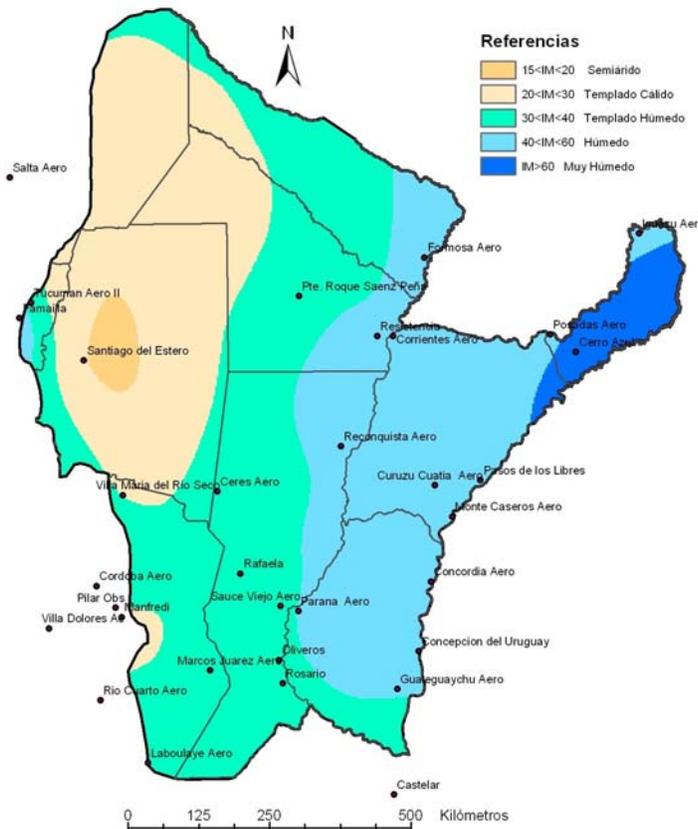
$$IM = P / (T+10)$$

Donde:

P: precipitación total anual
T: temperatura media anual

Con este índice se determinaron las zonas climáticas homogéneas (Figura 2) presentes en el área de estudio (Fariás, G. et al., 2005).

Zonas Climáticas Homogéneas - Índice de DEMARTONNE



Se definieron los píxeles de entorno a los 33 observatorios seleccionados, de acuerdo a la resolución espacial de los datos de NDVI a utilizar, en este caso 8 km. Estos entornos se calcularon como sub-raster del mapa de clasificación supervisada (Carñel, G., et al., 2004), calculando las composiciones porcentuales correspondientes a las 13 clases de uso del suelo. Para los mismos sub-ráster (en formato SIG de ventanas/mapas) se extrajeron los perfiles de NDVI de paso decádico para todos los años de la serie PATHFINDER (1982-2000). Estos datos se juntaron en tablas, clasificadas por estación y agregando los valores de los índices bioclimáticos calculados: (PE), (PTA), (PM), (DP), (STA), (DB), (EV).

Figura 2: Zonas Climáticas homogéneas según el índice de DeMartonne (IM). Distribución de los observatorios climáticos.

Posteriormente se analizaron las relaciones entre los valores decadales de NDVI, los porcentajes de uso del suelo y los índices climáticos. Inicialmente se realizó una correlación entre los valores decadales de NDVI y algunas clases predominantes como ser

Bosque, Zona agrícola y Campo Natural. Luego se correlacionaron estos mismos valores de NDVI con los índices climáticos.

Correlación Temporal: para todas las estaciones, se profundizó el estudio de la dinámica entre disponibilidad de agua y densidad de la vegetación a través del examen de los picos y

tendencias de precipitaciones y NDVI a lo largo del año en toda la serie 1982-2000. El análisis preliminar de los datos fue llevado a cabo a través del estudio de la correlación entre el NDVI de cada década y los índices anteriormente mencionados (Figura 3), para focalizar posteriormente las temporadas con mayor correlación. Los datos finales utilizados son la precipitación efectiva (PE) acumulada marzo-agosto, calculada por cada observatorio y cada año de la serie; para los mismos años se determinó el valor promedio de las 3 imágenes NDVI de agosto.

RESULTADOS

Correlación Espacial: se presentan los gráficos de correlación entre el valor NDVI decádico y los índices considerados en el estudio (Figura 3). En este gráfico se muestra la variación de la correlación para todos los observatorios entre el índice NDVI promedio (1982-2000) y los índices bioclimáticos para las zonas con cobertura homogénea, en este caso se adoptaron las áreas con un 50 % o más de cobertura agrícola. Aquí se aprecia que hasta la década 6 aproximadamente la correlación es negativa para los índices relacionados a la precipitación (PE, PMA, PMA), mientras que para los índices relacionados a la temperatura (DP, STA, DB, EV) la correlación comienza a ser positiva a partir de la década 9.

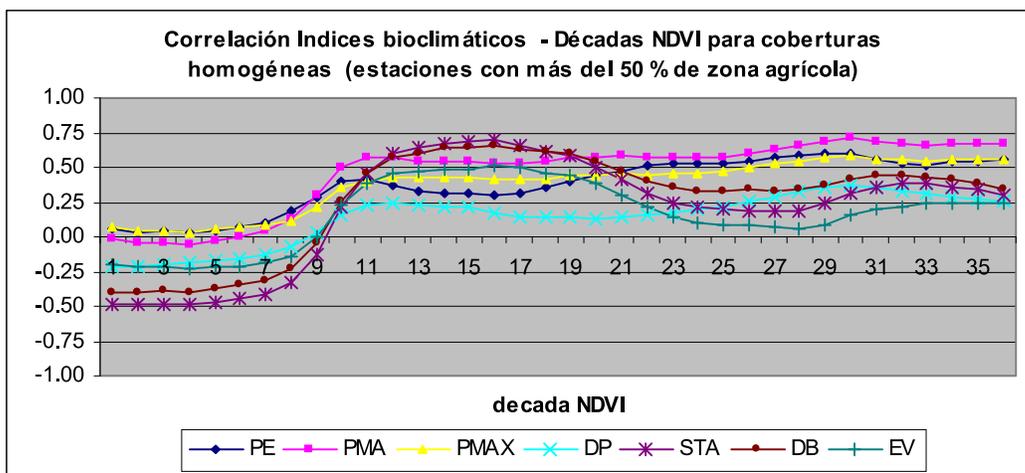


Figura 3: Correlación entre los índices bioclimáticos y el NDVI promedio para toda la serie

Del estudio de todo el año se extrapolan dos gráficos, ilustrando las curvas de correlación NDVI/IM y NDVI/PE en sus décadas de mayor correlación (es decir respectivamente 21 y 20) (Figuras 4 y 5)

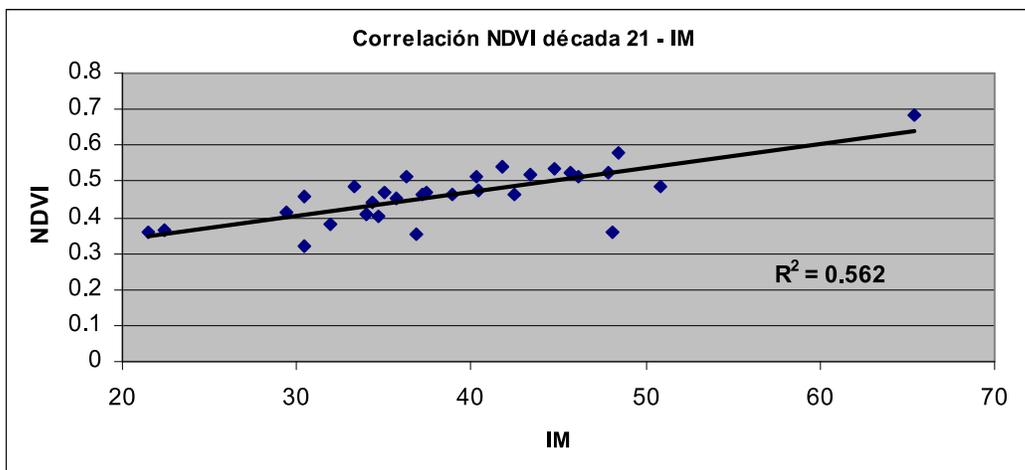


Figura 4: Correlación entre los valores de NDVI de la década 21 y el índice de Demartonne

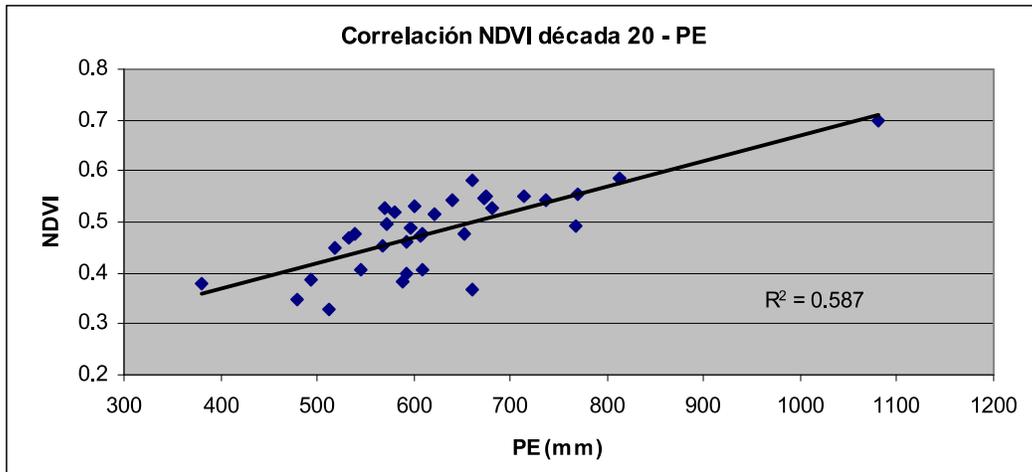


Figura 5: Correlación entre los valores de NDVI de la década 20 y la Precipitación Efectiva (PE)

Correlación Temporal: Luego de varios ensayos para individuar las correlaciones más fuertes, se decidió enfocar el análisis sobre la relación entre el periodo de mayor estrés para la vegetación (tal como se observa en los perfiles NDVI) y las precipitaciones, consideradas como factor limitante para su desarrollo (Figuras 6 y 7).

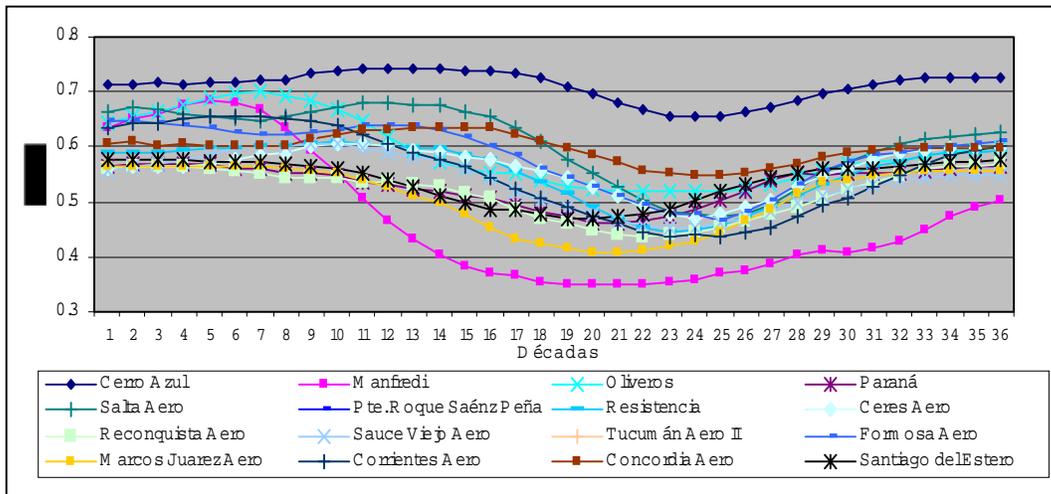


Figura 6: Valores promedio de NDVI por décadas para algunos observatorios

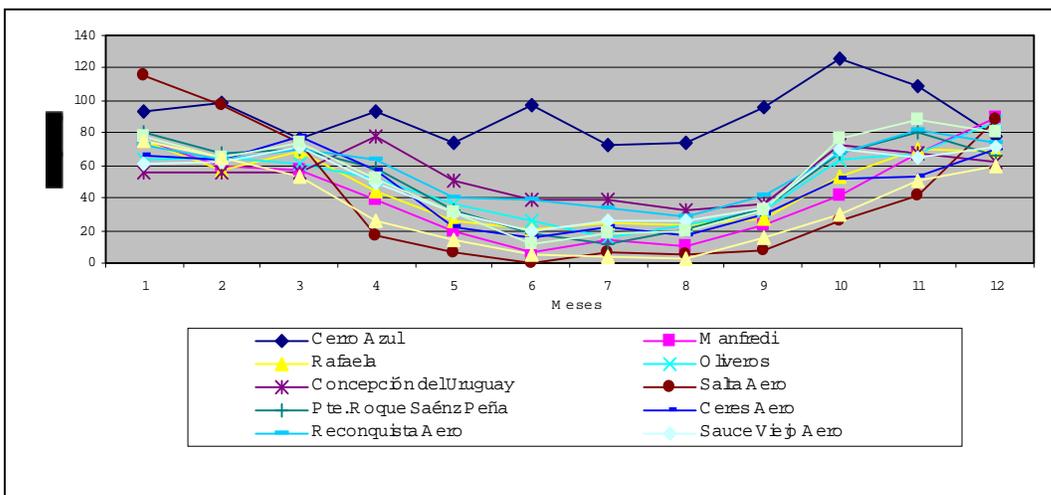


Figura 7: Variación mensual de la Precipitación Efectiva para algunos observatorios

Se espacializaron entonces los datos de precipitaciones en el mismo formato de las imágenes NDVI. La espacialización del dato climático se hizo con métodos geoestadísticos, ajustando los parámetros del Kriging con base en las curvas de los años más lluviosos (especialmente 1990) para obtener el mejor ajuste y reducir las discontinuidades abruptas en los resultados. De esta forma se obtuvieron 19 ráster (1982 a 2000) de precipitación efectiva (PE) acumulada marzo-agosto (Figura 8); otros 19 ráster se calcularon para el NDVI promedio del mes de agosto de los mismos años (Figura 9).

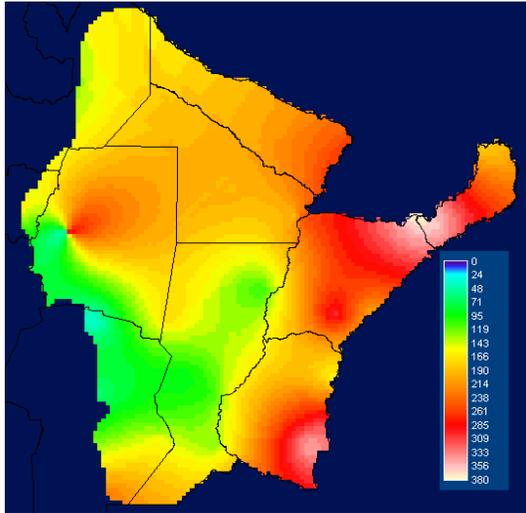


Figura 8: PE acumulada mar-ago '95

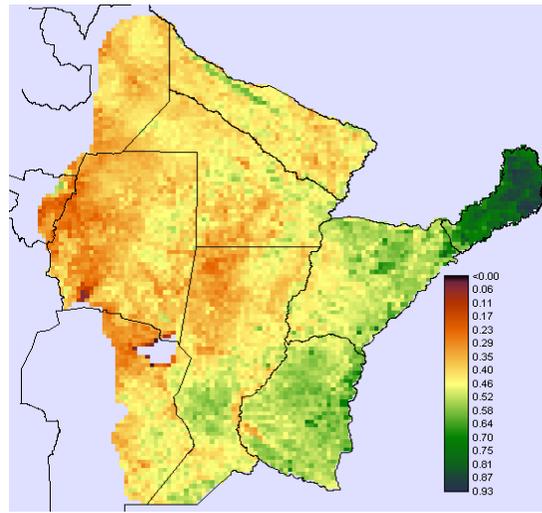


Figura 9: NDVI promedio agosto '95

Estas 19 parejas de imágenes se utilizaron para estudiar la correlación por píxel, año por año, resultando en un mapa sintético de correlación entre los dos factores (Maselli, F. et al., 2001) que abarque todo el área de estudio.

La Figura 10 representa el resultado de este cálculo. Se puede observar como a lo largo de 19 años la región que mayor correlación tiene es la del sector sur y oeste del área de estudio, mientras posiblemente en las zonas tocadas por los ríos más importantes el efecto sea menor. El bajo valor de correlación en el área central merece estudios más detallados y la integración de otros factores como por ejemplo la hidrografía superficial.

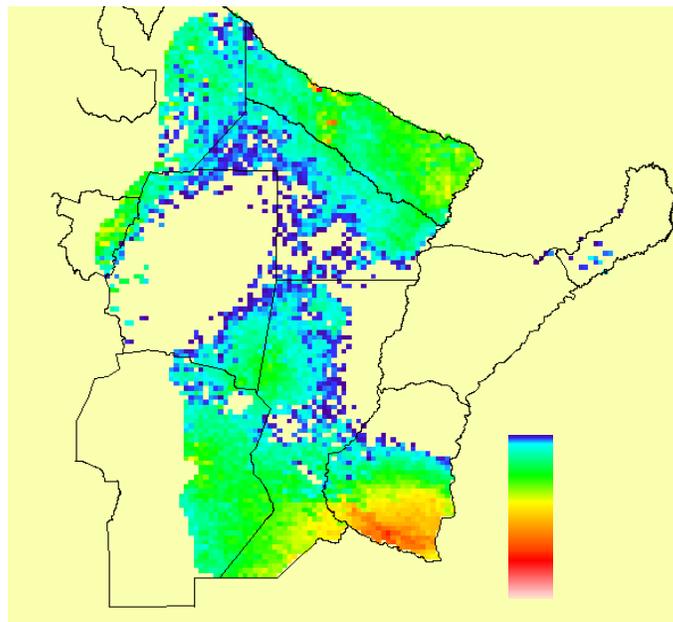


Figura 10: Correlación entre PE (mar - ago) y NDVI (ago)

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los resultados inducen con buena confianza a afirmar que en algunos sectores del área de estudio existe una relación muy fuerte entre el desarrollo estacional de la vegetación y las Precipitaciones de los meses anteriores. Aparentemente esta correlación es mayor en el sector meridional del área, mucho menos fuerte alrededor de cauces fluviales importantes, aunque en los humedales del sur-este del área es donde el dato es más fuerte.

Este estudio constituye una etapa fundamental de una investigación más amplia, ya que afinar las herramientas informáticas y llevar a una plataforma SIG los índices y datos climáticos no es sino el comienzo del estudio real de la relación entre clima y vegetación con su respectiva evolución. La espacialización de datos meteorológicos a través de métodos estadísticos conlleva un nivel de incertidumbre más grande al aumentar la distancia entre las estaciones, y si bien es posible agregar nuevas estaciones a las redes existentes, no hay forma de obtener registros del pasado.

El estudio de correlación con datos satelitales a nivel puntual, entonces, puede representar un elemento útil para complementar los métodos de espacialización de datos meteorológicos y reconstruir series climáticas para varias aplicaciones. Entre ellas, la clasificación del territorio según el índice de DeMartonne, cuya evolución brinda informaciones útiles para ir estudiando posibles cambios futuros, incluyendo estrés hídrico, temperaturas extremas y otros factores relevantes para la defensa del territorio y la planeación.

Estos primeros resultados animan entonces a realizar un análisis más profundo de los índices y sus tendencias. Es necesario un estudio detallado de las condiciones del territorio, incluyendo las aguas superficiales y los factores morfológicos que también afectan al desarrollo de la vegetación. Sin embargo, nada se puede hacer para reconstruir tendencias de la vegetación en aquellas áreas donde el uso del suelo (y por ende de la cobertura) cambió muy rápidamente en los años considerados por efecto del desmonte de bosques y por el avance de la frontera agrícola.

REFERENCIAS CITADAS

- Carñel, G.; Farías, G; Crotti, C., 2005. **Mapa de uso y ocupación actual del suelo en el centro – noreste argentino 2004**. CIOMTA. ACADI-AVSI. UCSF.2005
- DeMartonne, E. 1927. **Regions of interior basin drainage**. Geographical Review 17:397-414
- Dessi, A., Maselli F., 2003. **TELEDETECCIÓN, conceptos generales, aplicaciones y posibles avances en el CIOMTA**. 1er seminario internacional “Cambio Climático y sumideros de Carbono”, Santa Fe. 2003
- Eastman, R.J., 2003. **IDRISI 14.0 (Kilimanjaro)**. Clark Labs, Clark University 950 Main Street, Worcester MA 01610-1477 USA.
- Escadafal, R., Bohbot, H. and Mégier, J. 2001. **CAMELEO Final Report**. Research Project funded by the European Commission / DGXII-INCO-DC (contract N° IC18-CT97-0155).
- Farías, G.P., Orlandini, S., 2005. **Caracterización Climática y Bioclimática del Territorio**. Informe Interno. Proyecto Cambio Climático y Sumideros de Carbono. CIOMTA. Abril, 2005. Santa Fe. Argentina.
- García, M, 2004. **Respuesta de la vegetación a variaciones climáticas en praderas y sistemas adeshados Mediterráneos**. Metodología de análisis utilizando datos hiperespectrales y multiespectrales. Ecosistemas. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. Año XIII, Nº2. Mayo - Agosto, 2004. España.
- Maselli, F., Petkov, L., Maracchi, G. and Conese, C., 1996. **Eco-climatic classification of Tuscany through NOAA-AVHRR data**. Int. J. remote Sensing, 1996. VOL. 17, Nº 12, 2369-2384.
- Maselli, F. and Rembold, F., 2001. **Analysis of GAC NDVI data for cropland identification and yield forecasting in Mediterranean African countries**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 67, 593-602.
- Rouse, J.W., Haas, R.W., Schell, J.A., Deering, D. W. and Harlan, J.C. 1974. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwava effect) of natural vegetation**. NASA/GSFCT type III Final Report, Greenbelt, MD, USA.
- Sobrino, J.A., Olneda, M.A. y Raisouni, N., 1998. **Aplicación de la técnica de composición del máximo NDVI al seguimiento de la cobertura terrestre en la península Ibérica**. Revista de Teledetección. 1998. España.

- Vanlesberg, S., Fibbi, L., Ibarrola, S., Crotti, C., 2004. **Datos Meteorológicos, su control y tratamiento.** CIOMTA. ACDI-AVSI-UCSF. Informe interno 2004
- Volante, J.N., Bianchi, A.R.; 2003. **Índice de vegetación normalizado diferencial (NDVI) de las Yungas y del Chaco Semiárido en el Noroeste Argentino.** EEA Salta. INTA