

## Introducción

Al integrar el conocimiento de las variables ambientales necesarias para el mantenimiento de un agente patógeno específico, es posible utilizar la información satelital para evaluar la distribución espacio-temporal de riesgo de la enfermedad. Investigaciones recientes mostraron el contenido de información para el seguimiento de insectos plaga a escala regional (Gleiser *et al.* 1997) de series temporales del índice de vegetación normalizado (NDVI= (NIR-RED)/(NIR+RED)), donde NIR Y RED son las reflectancias obtenidas a partir de las radiancias medidas en las longitudes de onda del infrarrojo cercano y rojo respectivamente. La vegetación es una variable que integra efectos de la temperatura, la precipitación y de propiedades edáficas; por ello puede resultar un indicador relacionado con variables que influyen directamente sobre procesos demográficos básicos (mortalidad, natalidad, dispersión). La Cuenca del Río Bermejo se encuentra en Bolivia y Argentina ocupando parte de las provincias de Formosa, Chaco, Salta y Jujuy (Figura 1). El tipo de vegetación característica de la región es el bosque xerófilo semicaducifolio. La Cuenca se encuentra en una zona crítica desde un punto de vista epidemiológico, siendo zona de transmisión endémica de malaria y de alto riesgo de transmisión de dengue, y es el área con mayor cantidad de casos de síndrome pulmonar por Hantavirus de Argentina.

## Objetivo

Con el objeto final de obtener información para la realización de modelos de riesgo epidemiológico, en esta primera instancia del trabajo se identificaron y caracterizaron patrones de variabilidad fenológica de las formaciones vegetales a partir de series temporales (2000-2010) del Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) de la cuenca del Río Bermejo.

## Metodología

Se procesaron 250 imágenes del producto MOD12A2 (h12v11) del sistema Terra-MODIS. Se utilizó un modelo cuadrático simple ((Goodin y Henebry, 1997) (de Beurs y Henebry 2004)) para modelar la variación anual del NDVI, tomando como comienzo del año el principio del invierno de manera que coincida con el ciclo de crecimiento de la vegetación.

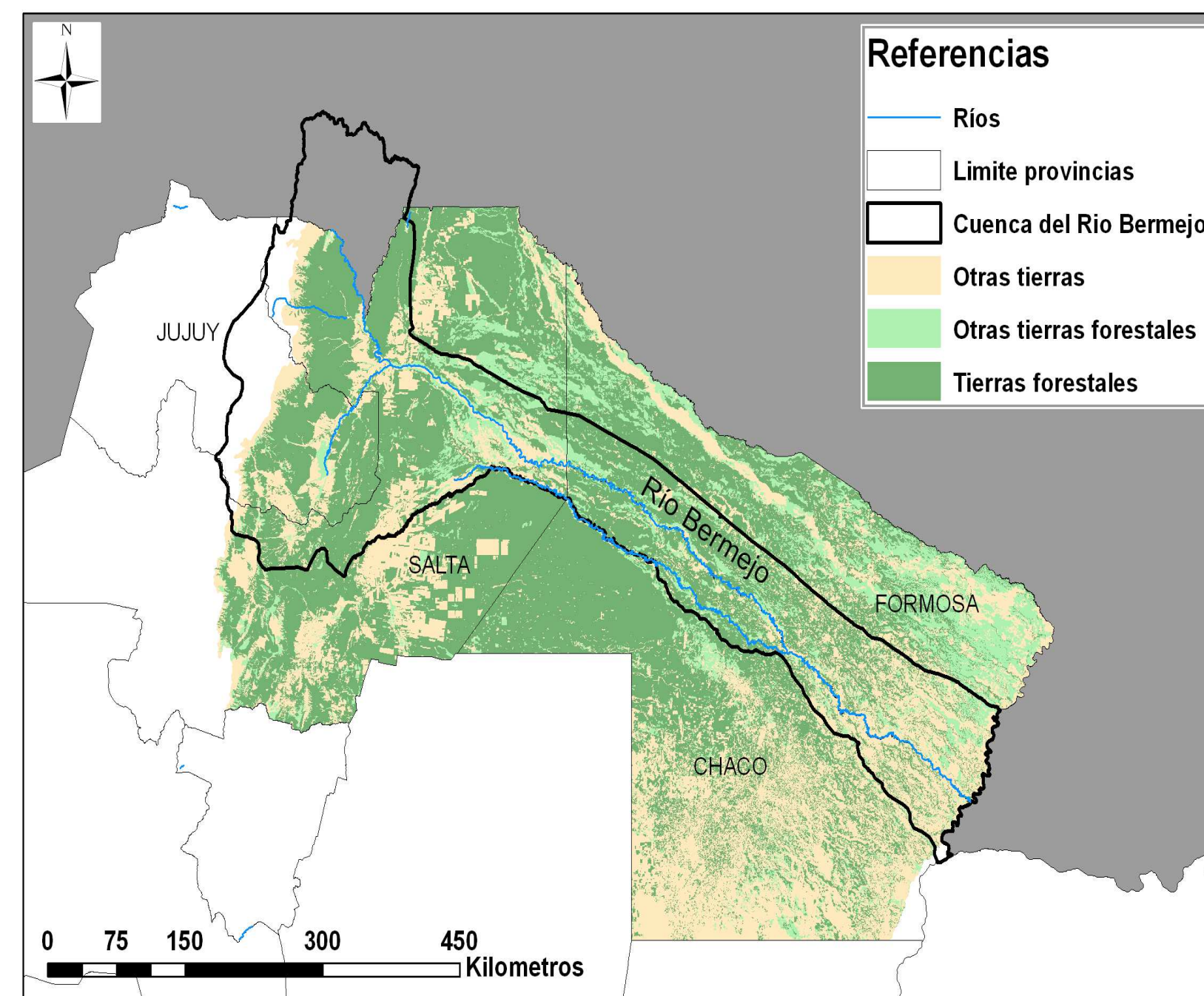
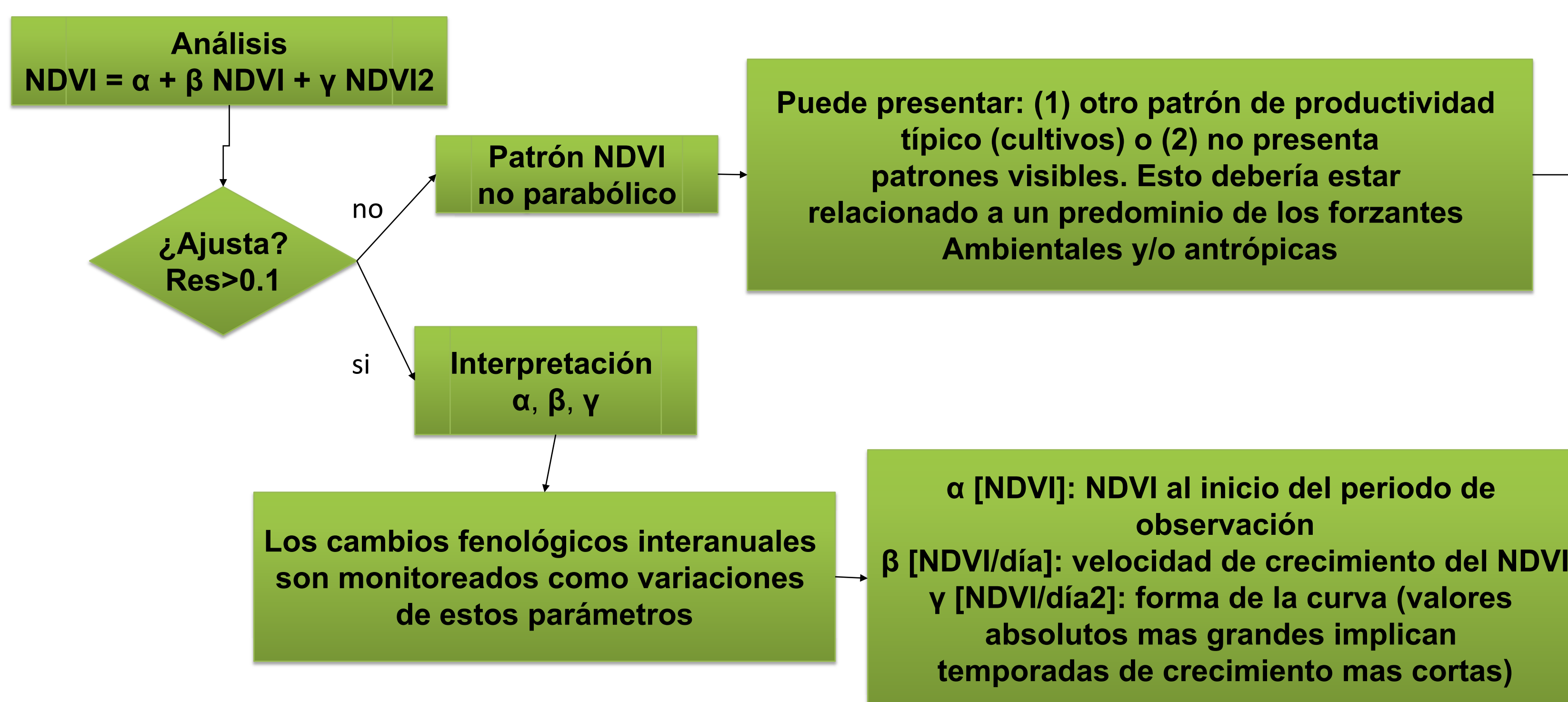


Figura 1. Inventario Forestal del Norte Argentino (UMSEF, modificado 2006)

## Análisis de Resultados

A partir de las muestras obtenidas se identificaron cuatro formas funcionales de NDVI que pudieron ser explicados mediante distintas combinaciones de los parámetros (Tabla 1, Figura 2). Los resultados obtenidos mostraron que los valores máximos y mínimos de NDVI corresponden a épocas de mayor verdor o cobertura, y de menor cobertura, senescencia respectivamente. A partir de las clases definidas se clasificaron las imágenes de toda la serie de tiempo mediante un árbol de decisión. Las clases de formas funcionales de NDVI (parábolas) se encontraron en más de un 90% del área (Figura 3). El restante 10% correspondió a patrones que presentaban un comportamiento bimodal (en su mayoría cultivos bianuales), u otro tipo de variación anual no explicable por el algoritmo utilizado.

## Diagrama de flujo del procedimiento



Tipo de cambio	Definición
Tipo A	↓β ↑α ↑γ
Tipo B	↑β ↓α ↓γ
Tipo C	↑β ↑α ↓γ
Tipo D	↓β ↓α ↑γ
No fiteo	Residuo > 0.1

Tabla 1. Definición de formas funcionales de NDVI.

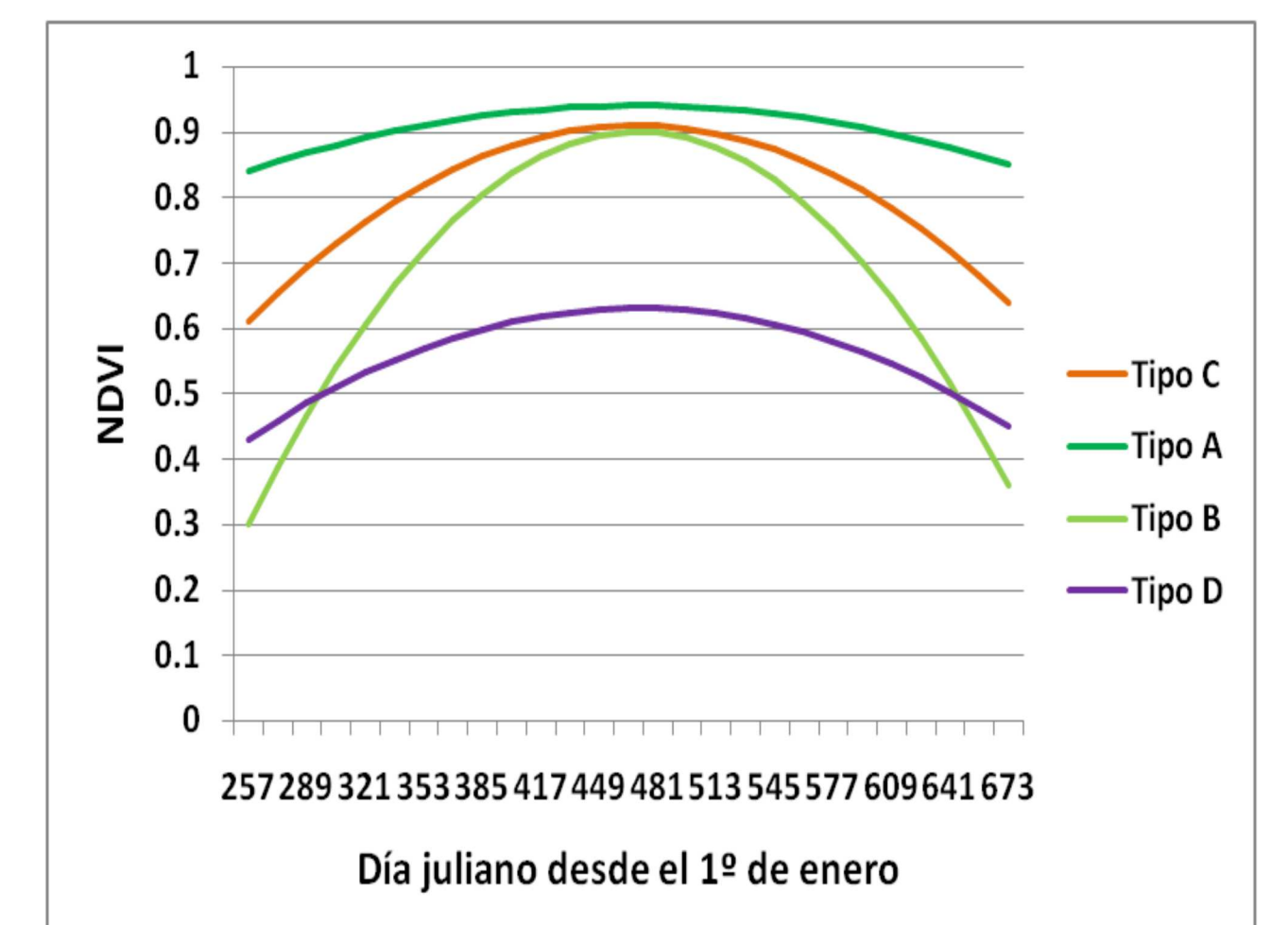


Figura 2. Ejemplos de curvas de formas funcionales de NDVI.

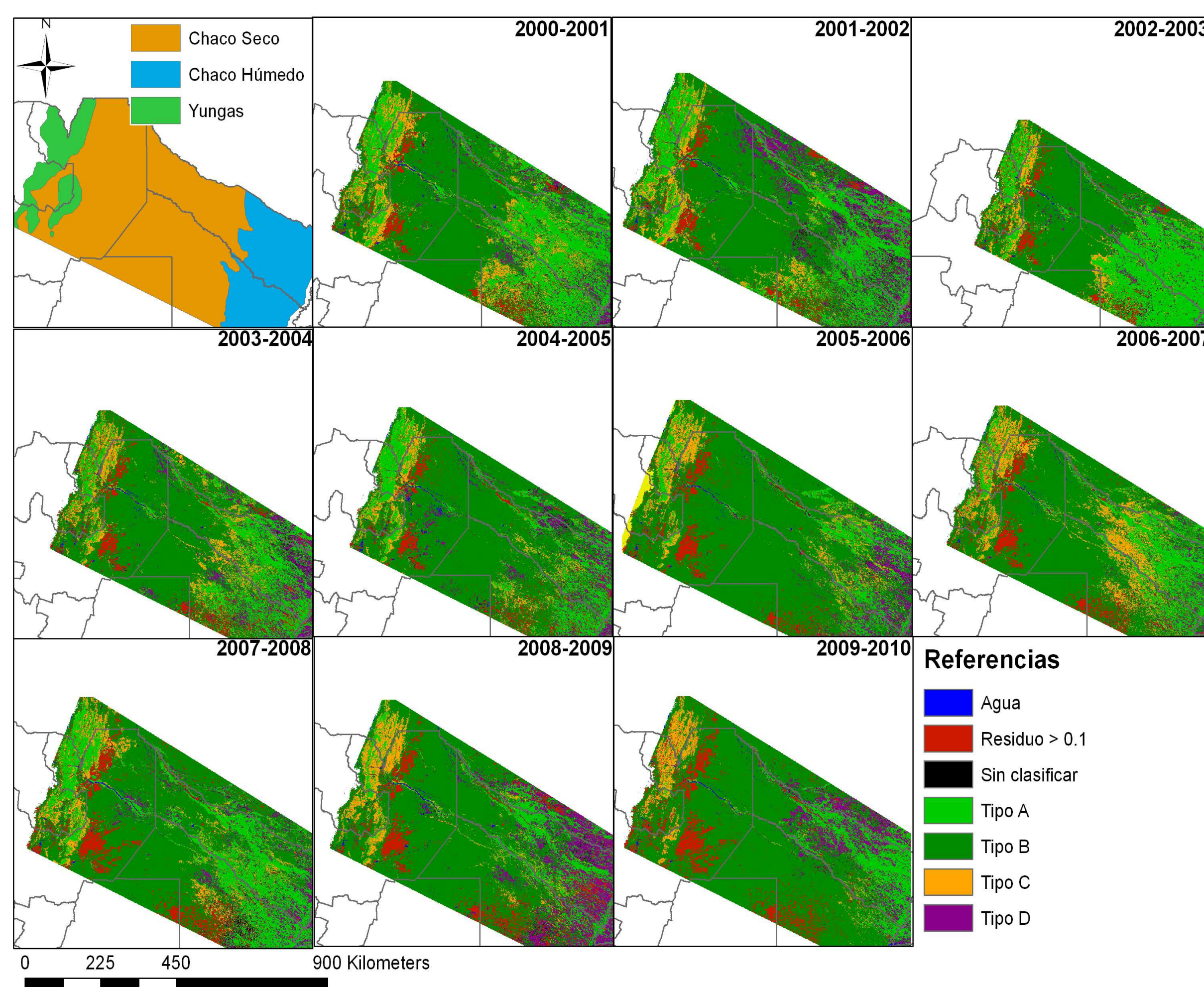


Figura 3. Mapas temáticos de formas funcionales de NDVI para la serie de tiempo 2000-2010.

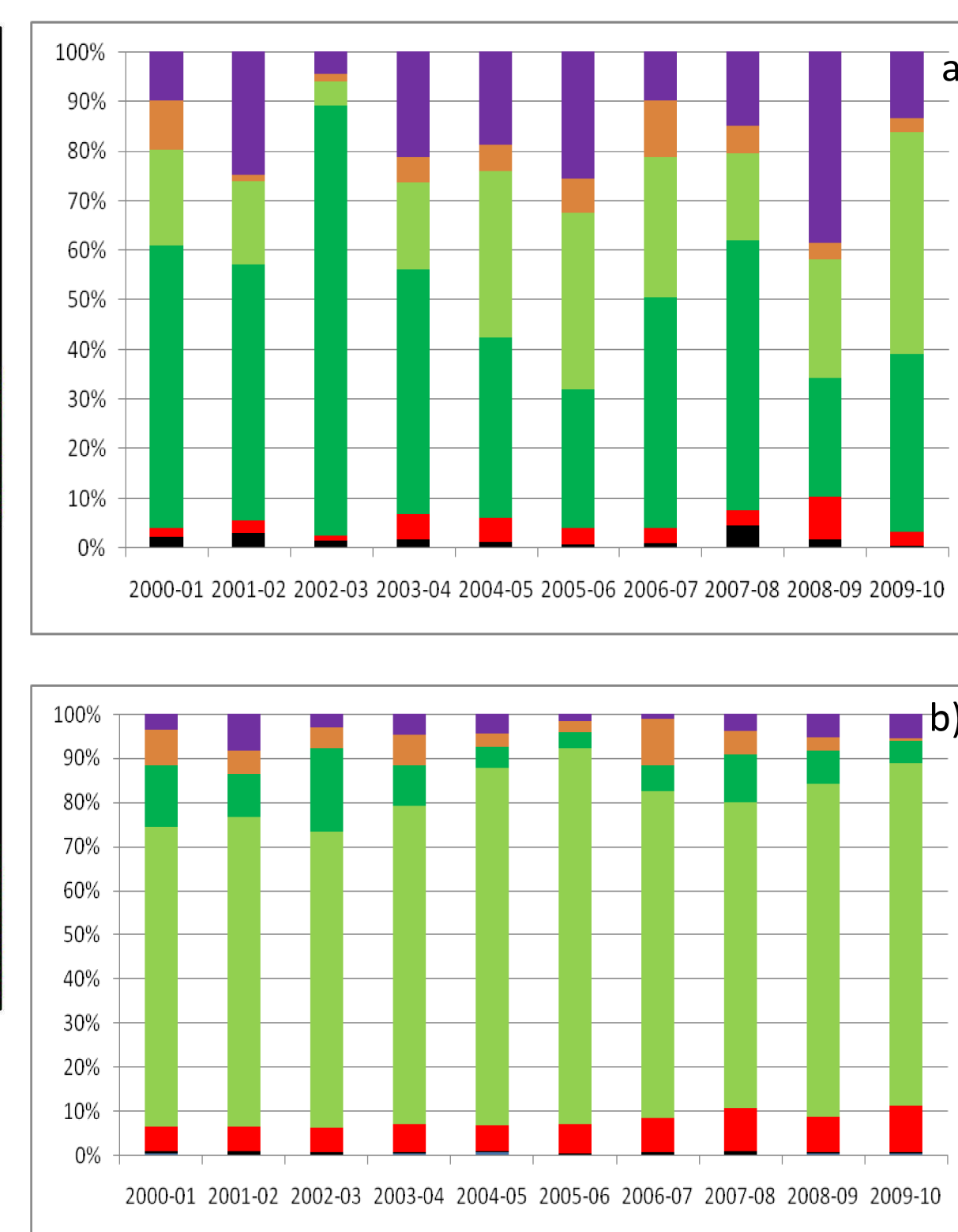


Figura 4. Proporciones de las clases de formas funcionales de NDVI para el Chaco húmedo (a) y Chaco Seco (b). (violeta: Tipo D, naranja: Tipo C, verde claro: Tipo B, verde: Tipo A, negro: sin clasificar, rojo: residuo > 0.1)

- La dinámica de cada clase siguió el modelo regional de precipitaciones (estivales), alcanzando valores máximos durante la estación húmeda (Octubre-Mayo), y menores de NDVI, durante la estación invernal (Junio-Septiembre).
- Las formas funcionales de NDVI con mayor estacionalidad (clases B y C) se encontraron en el área correspondiente al chaco seco, y las clases con estacionalidad menos marcada (clases A y D) se ubican en el Chaco húmedo (Figura 4).
- Las clases C y D, parecen ser estadios transitorios de cambio luego de algún disturbio (ambiental a escala regional o antrópico a escala local).
- A lo largo de la serie temporal se observan cambios en el comportamiento estacional de la vegetación, asociados a anomalía negativa o positivas de precipitación y, por eventos de inundación dados por anomalías positivas de precipitación en la alta cuenca (Figura 5 y 6). La proporción de cambios interanuales es mayor en el Chaco húmedo.

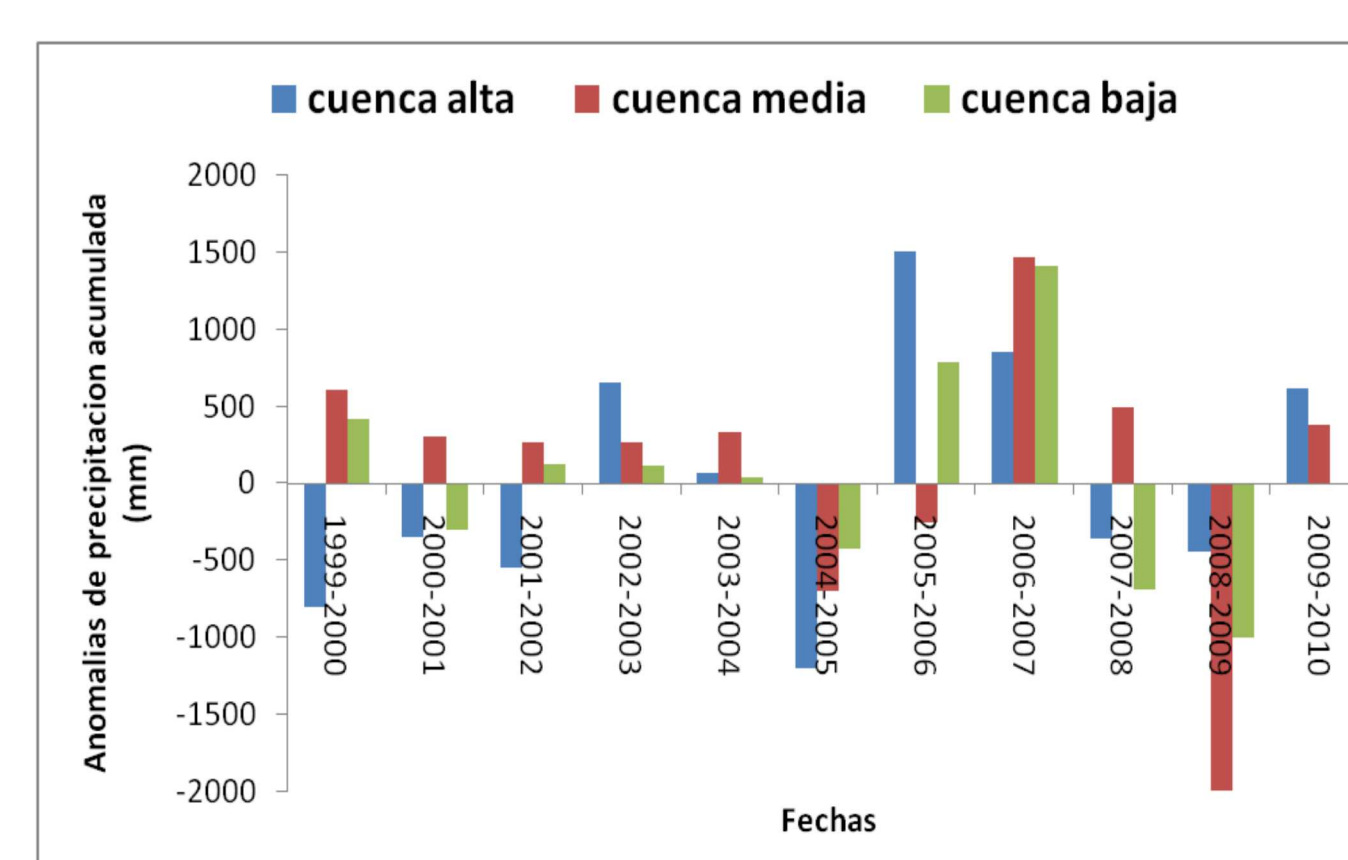


Figura 5. Anomalías de precipitación para la serie 1999-2010

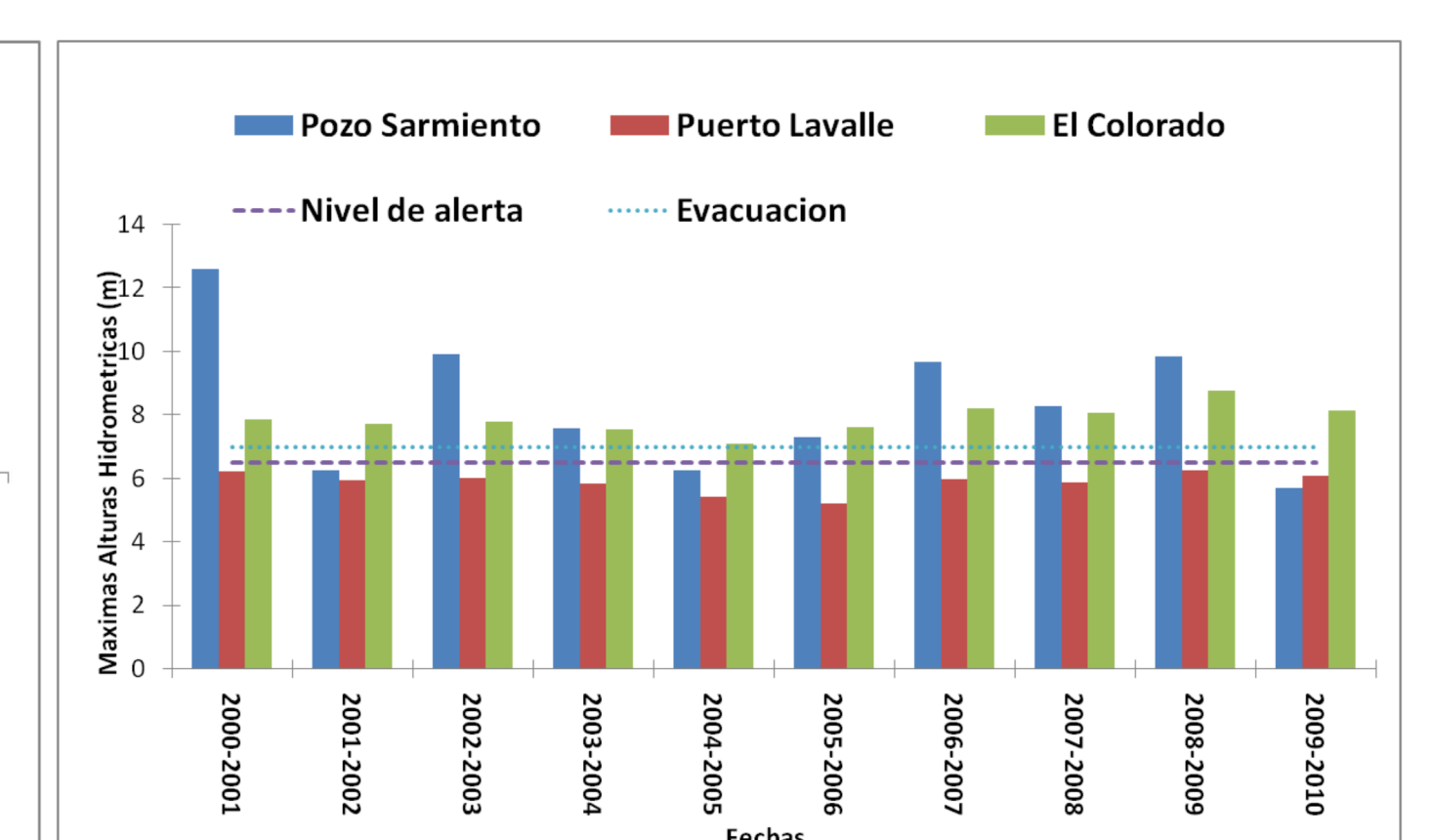


Figura 6. Altura hidrométrica Máxima en tres estaciones de la cuenca alta (Pozo Sarmiento), media (Puerto Lavalle) y baja (El Colorado)

## Conclusiones

- Los patrones estudiados expresaron la estacionalidad climática del área de estudio.
- Los cambios inter-anales de formas funcionales para cada ecoregion están relacionados con las adaptaciones de las coberturas vegetales.
  - En el Chaco seco la vegetación dominante (especies leñosas) están adaptadas tanto a las importantes fluctuaciones de disponibilidad hídrica y a las variaciones térmicas, lo cual se expresa en una menor proporción de cambios inter-anales en años con variaciones ambientales extremas.
  - El Chaco Húmedo presentó mayor proporción de cambios luego de eventos extremos, lo cual estaría indicando una menor resiliencia del sistema frente a disturbios climáticos. Esto puede deberse a la presencia de mayor riqueza de ambientes acuáticos (bosques rivereños, sabanas, esteros entre otros), cuya fenología se encuentra influenciada tanto por condiciones climáticas como por pulsos de inundación.
- Estos resultados aportan un nuevo elemento para el estudio de la distribución de vectores de enfermedades, al proveer capas de información tanto de la heterogeneidad espacial como temporal de las condiciones ambientales.

## Bibliografía

de Beurs KM, Henebry GM (2004). Land surface phenology, climatic variation, and institutional change: analyzing agricultural land cover change in Kazakhstan. *Remote Sensing of Environment*. 89(4): 497-509.  
UMSEF, "Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos", Actualización 2006, Dirección de Bosques, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Buenos Aires.

## Agradecimientos

Este trabajo se desarrolló en el marco del proyecto "La Plata Basin floods and droughts: Contribution of microwave remote sensing in monitoring and prediction" (Dir: H. Karszenbaum, 2011-2013). Se agradece la colaboración de la unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal (UMSEF) de la Dirección de Bosques (Subsecretaría de Recursos Naturales).