

**APLICACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN ESPACIAL
PARA EL ANÁLISIS DE LOS HUMEDALES DE LOS ESTEROS DEL IBERÁ.**

Tamara Sánchez Actis¹, Mariano A. Pérez Safontas^{}, Silvina E. Fernández -. FaHCE-
UNLP.**

gtsa.2010@gmail.com, ^{**} maps.argentina@gmail.com, ^{***}

silvinaedithfe@gmail.com

RESUMEN

Las nuevas herramientas y servicios de tecnologías de información basados en procesos de inteligencia artificial (Larning Machine) articulados a (mega) bases de datos espaciales de alcance global (Big Data) abren nuevos horizontes en las posibilidades de análisis del territorio y ponen al alcance del usuario no experto el uso de productos basados en la teledetección.

Los actuales servicios de acceso a información satelital y productos derivados permiten análisis desde escalas globales hasta locales, en un período que supera los 30 años y ofrecen desde productos elaborados a la programación parcial por parte del usuario.

El presente trabajo se propone analizar los principales servicios disponibles para estudios ambientales, en particular, los humedales de los Esteros del Iberá, indagando en los nuevos análisis que puedan surgir a partir de la aplicación de estas nuevas tecnologías, así como los alcances y limitaciones de las mismas.

Palabras Claves: Cartografía – SIG-TIC- Teledetección - Humedales – Ambiente

1.1. Introducción

Los avances en las capacidades de procesamiento y análisis de imágenes satelitales han dado en los últimos años un salto cuantitativo de gran importancia con el

lanzamiento de plataformas colaborativas online basadas en el procesamiento y almacenamiento masivo de productos de teledetección en la nube. Las dos principales, Earth Observing System (EOS) Platform y Google Earth Engine, comenzaron ofreciendo la visualización de catálogos de imágenes. Posteriormente sumaron la opción de interactuar con ellos e incluso bajar imágenes con niveles crecientes de procesamiento.

Landviewer de EOS, lleva años permitiendo, al igual que muchos visualizadores, buscar escenas de diferentes misiones, en este caso Sentinel, Landsat, Cbers y Naip, según criterios variados, pero suma la opción de visualizar y descargar las escenas con la combinación de bandas deseada: como falso color real (B4-3-2); Infrarojo para análisis de vegetación (B5-4-3) o índices como NDVI $(B5-B4)/(B5+B4)$.

El ámbito de big-data y analítica avanzada, es el de mayor crecimiento de las tecnologías de la información y comunicación en los últimos años. En ese marco, la integración online de productos de teledetección y plataformas de intercambio de información espacial han ido a la vanguardia. El nivel y complejidad de los procesamientos ha crecido en forma paralela a la difusión de plataformas colaborativas, el auge de las aplicaciones en la nube y el creciente volumen de información disponible, tanto por los nuevos datos que se incorporan a diario con cada misión, como con datos históricos abiertos en carácter de archivo.

La integración de productos de ambas plataformas permite el acceso a miles de terabytes de información espacial, combinando esta oferta a la captación de códigos de procesamiento mediante la cooperación de los usuarios. Éstos últimos, aplicados a sistemas de procesamiento basados en aprendizaje de máquinas se ofrecen como una revolución en la oferta de información para el análisis espacial. Una gran disponibilidad de información de teledetección, de diferentes misiones de las últimas 4 décadas, son accesibles ahora de modo gratuito y prácticamente instantáneo vinculando una cuenta de correo electrónico.

Las plataformas tienen sus limitaciones, ofreciendo niveles de acceso y procesamiento Premium con el pago de una membresía, no obstante, incluso en las versiones libres, ofrecen aparte de las descargas, el procesamiento de algoritmos predefinidos, consolas de escritura de código para elaborar procesamientos propios incluyendo análisis temporales, control de cambios y otras funcionalidades que implican un cambio de gran impacto para quienes utilizan información espacial en su trabajo y

una oportunidad para la captación de nuevos usuarios. Esto se debe no sólo a la simplificación y agilización de los pasos, sino a un aumento exponencial en la capacidad de procesamiento. Un análisis temporal, por ejemplo, puede reducir su tiempo de ejecución a cuestión de segundos con una pc básica requiriendo solo una buena conectividad, algo impensado hasta hace poco tiempo, en el que el trabajo con imágenes satelitales iba asociado a grandes erogaciones de recursos intensivos en tiempo, equipamiento informático y conocimiento específico.

Mediante estos servicios online, un investigador puede hoy realizar procesos variados de modelos digitales de elevación, analizar flujos hídricos teóricos, evaluar cambios en la cobertura de suelos o analizar índices, contando sólo con conocimientos básicos de manejo en la materia. El análisis con código requerirá conocimientos más acabados en SIG, Teledetección, y programación siendo aún una limitante considerable para el usuario no experto. Estas plataformas con bases de datos espaciales de alcance global (Big Data) abren nuevos horizontes en las posibilidades de análisis del territorio y ponen al alcance de nuevos usuarios el trabajo con productos basados en la teledetección, otrora reservado a círculos relativamente reducidos.

En este trabajo nos proponemos analizar los principales servicios disponibles y la factibilidad de ser aplicados a estudios ambientales, en particular, a los humedales de los Esteros del Iberá, indagando en nuevas oportunidades que puedan surgir a partir de la aplicación de estas nuevas tecnologías, así también como los alcances y limitaciones de las mismas.

1.2. Nuevas herramientas y tecnologías

Las nuevas herramientas “Machine Learning” y “Big Data” constituyen parte de una disciplina científica del ámbito de la Inteligencia Artificial que crea sistemas que pueden aprender de manera automática. El concepto de aprender, en este contexto, refiere a identificar patrones complejos en grandes volúmenes de información. **Un algoritmo** revisa los datos y es capaz de predecir comportamientos futuros. Y, también en este contexto, los sistemas se mejoran de forma autónoma con el tiempo, sin intervención humana.

Por su parte, los Sistemas de Información Geográfica -SIG-, son sistemas informáticos complejos diseñados para la gestión de la información espacial expresada en el territorio. Es por ello que toda información recogida, producida y almacenada en

un SIG, en la medida que no sea fiable y actualizada, no brindará buenos resultados y no constituirá un soporte informático poderoso ya sea para dar respuestas rápidas en los procesos de tomas de decisiones, o para realizar tareas de planificación del territorio.

La utilización de SIG y productos de teledetección tienen numerosas aplicaciones en el estudio de problemáticas ambientales, permitiendo análisis multivariados complejos, generación de modelos, seguimientos temporales de variables, e incluso el estudio prospectivo del territorio. La teledetección en particular, ofrece la posibilidad de relevar grandes volúmenes de información de la superficie terrestre y los procesos que en ella ocurren. Dependiendo los sensores utilizados, su aplicación se orienta a variadas temáticas como identificación y clasificación de coberturas vegetales, monitoreo de costas, seguimiento de incendios, análisis de procesos erosivos, cambios morfológicos por movimientos telúricos, análisis prospectivos geológicos, o estudio de la atmósfera; por citar sólo algunas aplicaciones de interés al ambiente.

La incorporación de learning machine y big data abre nuevos horizontes en las posibilidades de análisis del territorio. No obstante, deben ponerse en contexto estos sistemas y su utilización, evitando su idealización. Los procesos de base incluidos en las plataformas, son de amplia utilización en el ámbito de la teledetección; el mayor potencial entonces puede darse no tanto en la posibilidad de nuevos análisis sino en lo referido al volumen de datos a procesar y la velocidad de la obtención de resultados

2.1. Problematización del área de estudio

Los Esteros del Iberá² representan uno de los territorios de humedales más importante de Argentina. Se extienden en el centro norte de la provincia de Corrientes. En 1983 la Ley Provincial 3771 creó la Reserva Natural del Iberá³, protegiendo una superficie de 1.300.000 ha. que coinciden con la alta cuenca del río Corriente, de los cuales 4.200 Km² están dominados gran mosaico de humedales compuesto por lagunas, embalsados y esteros, y la superficie remanente 8.800km² complementa el mosaico con distintas aptitudes, entre ellas la arrocera.

El área de estudio se encuentra comprendida en su mayoría en lo que el Inventario Nacional de Humedales denominó Región de Humedales del corredor fluvial chaco-

² Poseen protección con rango constitucional al ser declarado en el art. 66° de la Constitución del 2007 como patrimonio estratégico, natural y cultural de la Provincia.

³ En el año 2009 mediante la sanción del Decreto 1440 se reglamentó la Ley 3771, estableciendo los límites del Parque Provincial Iberá, como núcleo de conservación estricta de la reserva y coincidiendo con las tierras de dominio público involucrando unas 482.000 hectáreas.

mesopotámico: Subregión Ríos, esteros, bañados y lagunas del Río Paraná. De origen fluvial, con modelados fluviales y de antiguas ingresiones marinas, *“es la subregión con mayor superficie de humedales, principalmente de origen fluvial, emplazados o estrechamente vinculados a la planicie de inundación actual del río Paraná. También incluye humedales originados a expensas de dicho río pero que actualmente se hallan desconectados de él y son alimentados por lluvias, como los esteros y bañados del Iberá y los humedales del extremo noroeste de la provincia de Corrientes. Además, incorpora humedales de antiguo origen cos-tero marino de la Baja Cuenca del Paran”* (Bó y Quintana, en Benzaquén et-al 2018). Poseedora de una gran heterogeneidad, Minotti et-al (en Benzaquén et al 2013) han identificado al menos 5 sistemas de paisajes que afectan a nuestra área de estudio dentro de la subregión, los cuales son: Humedales del río Paraná entre Yacyretá y Confluencia, al norte; los Humedales de las cuencas fluviales del sudeste cha-queño-paranaense, al noreste, Humedales de la planicie aluvial del río Paraná entre Confluencia y Reconquista, en el centro norte, y los Humedales del noroeste de Corrientes, y Humedales de los grandes esteros de la provincia de Corrientes, en el centro y sur.

En las últimas décadas los Esteros del Iberá han sido modificados por acciones asociadas a obras tales como la construcción de terraplenes, endicamientos y otras obras de manejo del agua para su reconversión a tierras agropecuarias o forestales y para el desarrollo turístico. Esto ha generado diversas alteraciones en el ambiente tales como pérdida de biodiversidad, fragmentación de hábitats, contaminación y deterioro de recursos, dinámica hídrica.

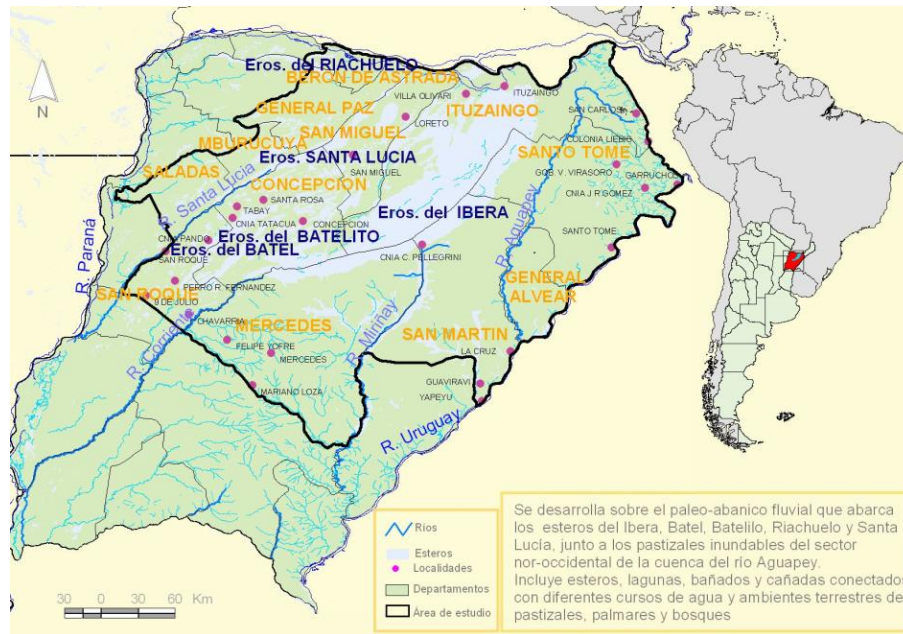


Imagen N° 1 Área de estudio, Fuente: Elaboración propia en el marco del Proyecto de investigación “Los Esteros del Iberá y humedales adyacentes: un abordaje desde los conflictos ambientales y los actores sociales involucrados”.

Por otro lado, también, ha sufrido grandes modificaciones bajo las reglas de la racionalidad capitalista. La intervención de nuevos actores sociales está transformando el paisaje (forestación sobre pastizales, cultivo intensivo del arroz y actividades ecoturísticas en el Iberá).

Ante las crecientes presiones económicas por expandir la frontera arrocera y forestal, urge gestionar acciones para profundizar el conocimiento sobre de la matriz biofísica del territorio y contribuir a la conservación del complejo de humedales del que forman parte los Esteros del Iberá, donde las medidas de protección del sistema provincial, nacional e internacional deberán buscar alternativas que valoricen y conserven los humedales sobre la base de los beneficios tangibles e intangibles que la sociedad obtiene de ellos. En este sentido, cobran valor las herramientas “Larning Machine” con el fin de identificar y delimitar los humedales así como poder monitorearlos y detectar las alteraciones producidas por actividades antrópicas posibles de generar impactos negativos.

En este contexto general de las tendencias de globalización, en la región ibereña se beneficia la rentabilidad del capital privado de modo favorable a las inversiones en actividades como la arrocera, forestal y turismo asociado a las áreas de conservación. Se conforman territorios cada vez más especializados, destinados a un determinado tipo de

actividad. Un claro ejemplo son las recientes puesta en funcionamiento del Parque foresto industrial en Santa Rosa, Departamento de Concepción, emplazado de modo estratégico en una de las áreas caracterizadas por el desarrollo forestal en la provincia de Corrientes, y el Parque en Mercedes, principal área arroceras provincial.

Las unidades productivas de arroz fueron hasta la década del 80, explotaciones de un promedio cercano a las 200 ha, con rendimientos relativamente bajos y orientados casi exclusivamente al mercado interno (De los Reyes, 2013: 5).

A partir de la política crediticia del Gobierno provincial de facto durante la última dictadura se genera el crecimiento de las grandes arroceras por sobre los pequeños y medianos productores. Las cooperativas perdieron rápidamente terreno. A partir de la década del 90, con la puesta en marcha del MERCOSUR, comienza a aumentar la exportación a Brasil y esto permite que el sector sea más competitivo.

A su vez, con la implementación del modelo de desregulación económica comenzó la disminución de gran cantidad de pequeños y medianos productores. Mientras la mayor parte de los productores debían arrendar o vender sus campos, el sector más dinámico y concentrado obtuvo cosechas récord; se capitalizó y gestó así las condiciones de posibilidad para el aterrizaje definitivo de compañías transnacionales en toda la cadena productiva arroceras.

Esta concentración y extranjerización termina de efectivizarse con la devaluación en 2002 y los cambios en las condiciones relativas de intercambio comercial en la economía global que benefician a los países productores de *commodities*.

Se realiza una lectura de la evolución de las áreas ocupadas con cultivo de arroz entre los años 2001 y 2015.

A partir de dicha lectura podemos afirmar que hubo una expansión, a nivel general, del cultivo de arroz, coincidiendo con los datos estadísticos oficiales publicados. (ver imagen 2)

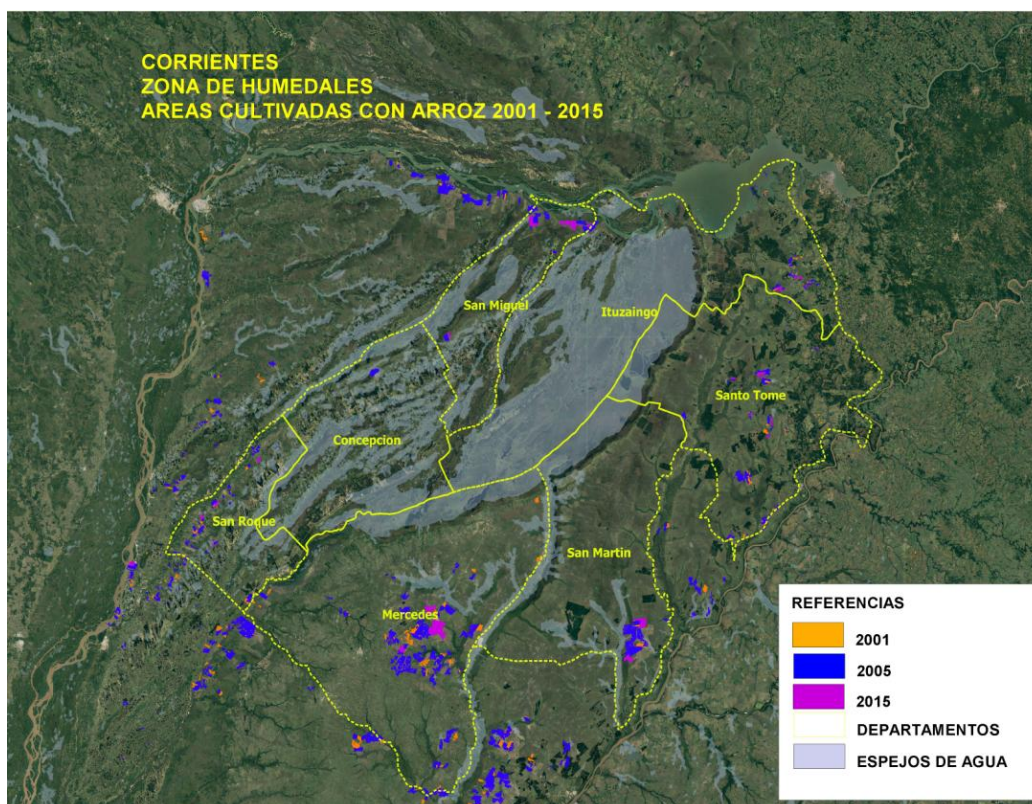


Imagen N° 2 Áreas cultivadas con arroz 2001 – 2015, Fuente: Elaboración propia.

En Corrientes, y especialmente en zonas de humedales por la alta disponibilidad de agua, se asiste a un crecimiento del área arrocera y con forestación exótica que conlleva a que entre las principales transformaciones derivadas de los cambios en la producción arrocera. Se identifica el desplazamiento de pequeños y medianos productores tradicionales, el uso intensivo de los recursos hídricos (grandes embalses, perforaciones y toma directa del río para obtener importantes volúmenes de agua necesarios para el riego del cultivo, generando, particularmente, en períodos de sequía, conflictos aguas abajo a los pequeños y medianos productores. Asimismo los grandes rendimientos que se obtienen se deben al intenso uso de fertilizantes y agroquímicos, los cuales son vertidos en los sistemas y cuencas hídricas alterando la composición biológica del agua en los arroyos, esteros y ríos.

Es el Estado, por intermedio del Instituto Correntino del Agua y del Ambiente (ICAA), quien debe regular el uso del agua; y su utilización racional como recurso vital, por expreso mandato constitucional. Con el reciente dictado del Decreto Provincial que delimita el Parque Provincial Iberá (Ley Provincial N° 4736), las aguas de grandes lagunas del Iberá no pueden ser objeto de utilización por parte de las arroceras; ni se deberían permitir construcciones que afecten estos espejos de agua. Ante esta situación

se requiere de un ordenamiento territorial donde desde el Estado provincial ejerza su poder controlando los establecimientos que ilegalmente estén extrayendo agua de un sitio vulnerable para la conservación como son los Esteros del Iberá y contar con el apoyo concreto a la búsqueda de prácticas productivas sustentables.

3.1. Análisis de información disponible.

En el presente trabajo se ha propuesto analizar los principales productos de ambas plataformas que puedan ser utilizados en el inventario y análisis de humedales. Particularmente, se han revisado los datos estándar aportados por ambas plataformas, excluyendo los productos creados por usuarios. Estos últimos han sido descartados de la evaluación por dos razones: En primer lugar el volumen de herramientas y algoritmos a analizar varía constantemente por tratarse de una plataforma colaborativa dificultando el seguimiento. Por otro lado, la mayoría de los casos encontrados están procesados para el área de estudio de interés del desarrollador; analizarlos para los Esteros del Iberá implica modificar códigos o aplicar algoritmos a nuestra área de estudio. De todo lo expresado se concluye que el análisis de los productos del intercambio colaborativo ameritan un trabajo aparte.

Por lo antedicho, para el presente han sido considerado solo los productos de base ofrecidos por ambas plataformas, en busca de aquellos que permitan identificar patrones de humedales desde un enfoque ecohidrogeomórfico. Esto es, aspectos geomorfológicos que den cuenta de geoformas favorables a la formación de humedales por acumulación de agua; aspectos hidrológicos, centrándonos en la presencia y variabilidad de la disponibilidad agua y la presencia y variabilidad de vegetación.

Los procesos, básicamente son los mismos aplicados tanto para el Inventario Nacional de Humedales, como en el Inventario de la Provincia de Buenos Aires y las pruebas piloto elaboradas por equipos de investigadores de diferentes universidades públicas nacionales. Modelos digitales de elevación, modelizaciones de flujos teóricos de escurrimiento derivados de MDE (flow accumulation) o clasificaciones en las que domine el componente agua en la definición de clases, son los principales productos encontrados y coinciden con parte de los procesos de los inventarios mencionados.

Comenzando por la plataforma de Google, en la misma se han encontrado:

- un Modelo Digital de Elevación de SRTM con resolución de 30m, el cual se ha seteado con un intervalo de representación de 0 a 250m a los fines de ajustar el contraste

y realzar las variaciones del terreno, considerando la escasa pendiente del territorio de los Esteros. En el mismo se destacan la planicie de inundación del Paraná, y la gran franja de los esteror, pudiendo observarse resgos geomorfológicos de los sistemas de paisajes definidos por Kandus y Minotti (2018), ofreciendo un dato de suma importancia en el análisis geomorfológico del territorio.

Los datos de elevación digital de la misión de topografía por radar de Shuttle Radar Topography Mission (SRTM, ver Farr et al. 2007) son un esfuerzo de investigación internacional que obtuvo modelos digitales de elevación en una escala casi global. Este producto (SRTM V3) es proporcionado por NASA JPL a una resolución de 1 arco-segundo (aproximadamente 30 m).

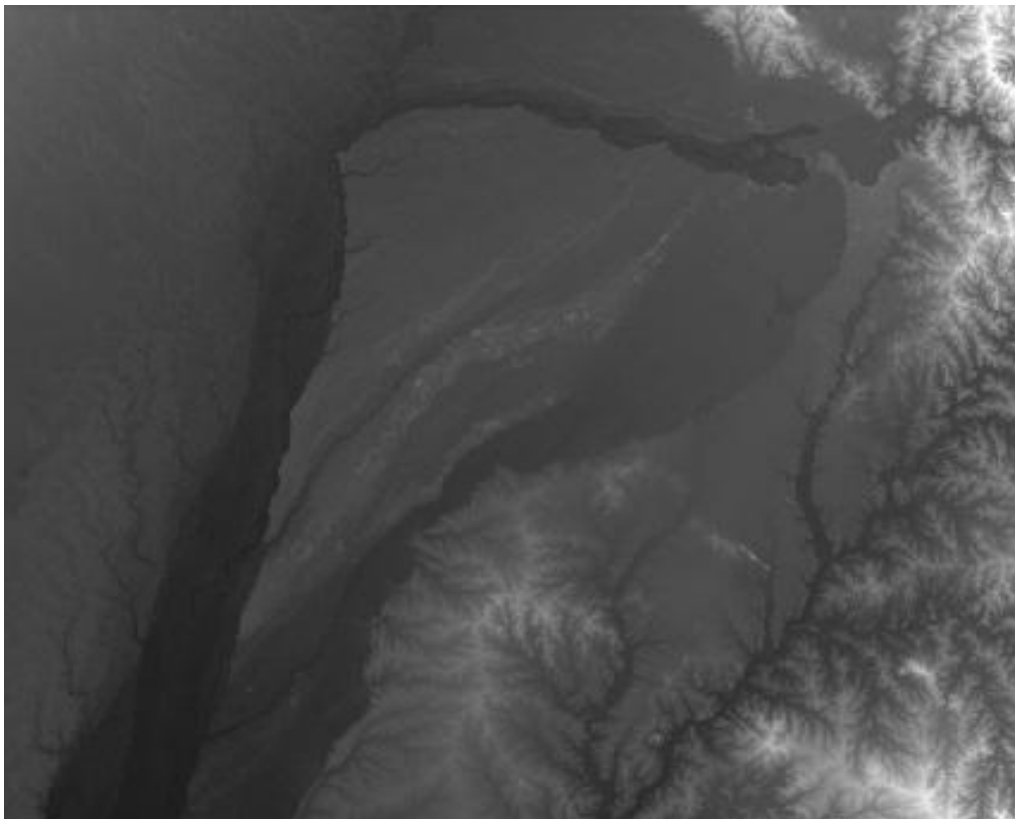


Imagen N°3 El MDE SRTM. Permite observar claramente en tonos oscuros los sectores más bajos y cursos de agua. Los grises intermedios muestran con claridad las geoformas dominantes que dan origen a los esteros del Iberá.

- El índice de acumulación de flujos, basado en el MDE permite visualizar el escurrimiento teórico del territorio, posibilitando comprender las dinámicas de escurrimiento ante las fluctuaciones en la disponibilidad de agua. El índice por si solo ya aporta una comprensión del escurrimiento del lugar, no obstante, su análisis

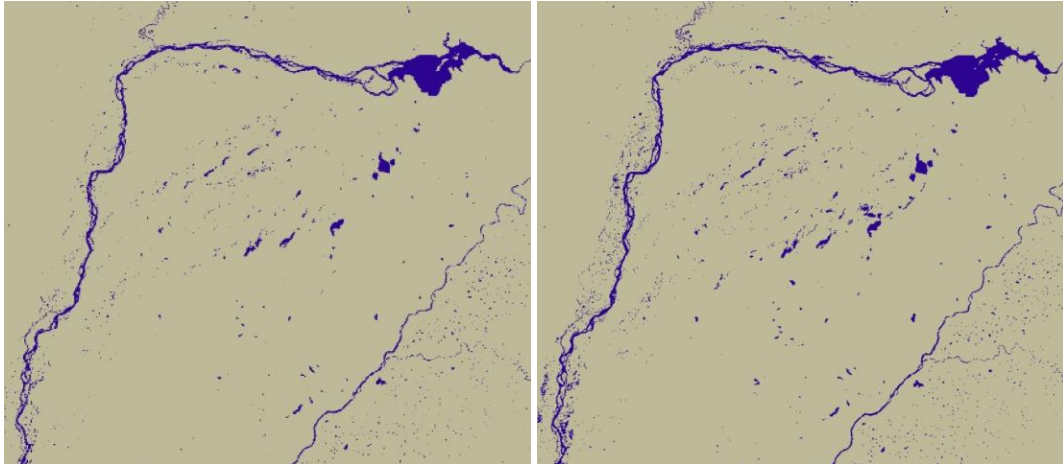
combinado a otras variables como los eventos de exceso hídrico, puede resultar esclarecedor de algunas dinámicas del territorio.

Google Earth Engine pone a disposición la acumulación de flujo del paquete de datos de HydroSHEDS; un producto de mapeo que proporciona información hidrográfica para aplicaciones a escala regional y global. HydroSHEDS fue desarrollado por el Programa de Ciencias de la Conservación del Fondo Mundial para la Vida Silvestre (WWF) en colaboración con el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), el Centro Internacional de Agricultura Tropical, The Nature Conservancy y el Centro de Investigación de Sistemas Ambientales de la Universidad de Kassel, Alemania.



Imagen N°4 En este caso el índice de acumulación de flujos, acotado a los valores más altos, se ha superpuesto a un MDE. Puede observarse en el sector izquierdo de la imagen, correspondiente a los humedales del Paraná, como las líneas de escorrentía pierden la regularidad y continuidad, rompiendo con el típico avenamiento de un curso de agua.

- La máscara tierra/agua, elaborada por la NASA en base a datos corregidos de Modis y SRTM anual global 250m, permite obtener en esta resolución, una cobertura de agua por año. En nuestro caso, el gran dinamismo de la región se manifiesta claramente en la variabilidad del producto año a año, permitiendo el análisis de dinámicas a gran escala. Sin embargo, la resolución espacial y temporal del mismo, no resulta útil por debajo del nivel de sistemas de paisajes.



Imágenes N°5 y 6 Comparativa de máscaras land-water para los años 2008 (izq) y 2010 (der). En la misma puede apreciarse un aumento en la cantidad de sectores con agua en los esteros y en las proximidades del Paraná.

- Otro modelo digital de elevación disponible es el conjunto de Datos de Elevación del Terreno 2010 de Resolución Global (GMTED2010), el cual contiene información de elevación recolectada de varias fuentes. Elaborado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) es de uso libre y posee múltiples resoluciones de origen, ofreciéndose en 7.5 arcosegundos.

Este modelo, por los tratamientos que posee y la combinación de diferentes fuentes posee una mayor capacidad de discriminación de variaciones en las geoformas. A diferencia del SRTM incluye datos batimétricos con lo que mejora la capacidad de análisis del relieve pudiendo contar con mayores detalles acerca de la geomorfología de los humedales.

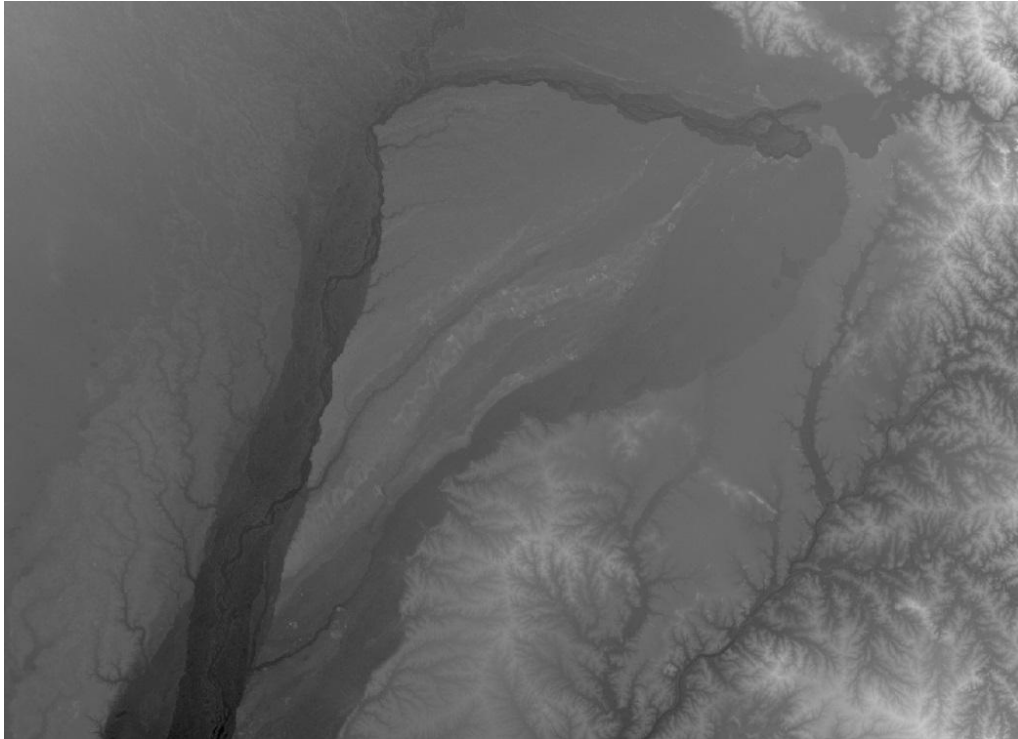
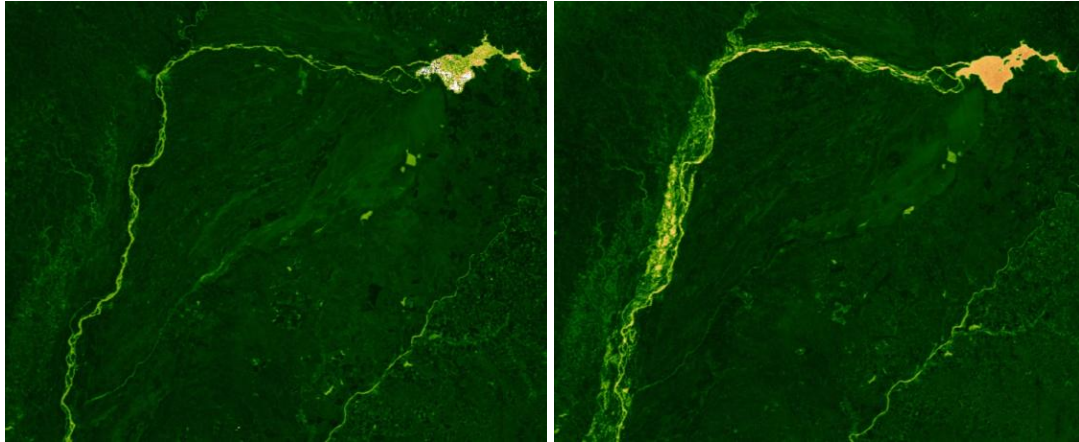


Imagen N°7 El GMTED2010 permite evaluar con mucho más detalle que otros modelos de elevación las variaciones al interior de los sistemas de paisajes de humedales. A diferencia del precedente SRTM en esta imagen puede discriminarse el curso principal, de las planicies de inundación y otras geoformas.

- Otro producto muy utilizado para el estudio de humedales y que se encuentra disponible en ambas plataformas es NDVI- El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada. El mismo se genera a partir de las bandas de IR Cercano y Rojo de cada escena como $(NIR - Rojo) / (NIR + Rojo)$, y su valor varía de -1.0 a 1.0. Este producto, en la plataforma de Google se encuentra elaborado en base a imágenes Modis, con una cobertura temporal que va de comienzos de los '80 hasta nuestros días.

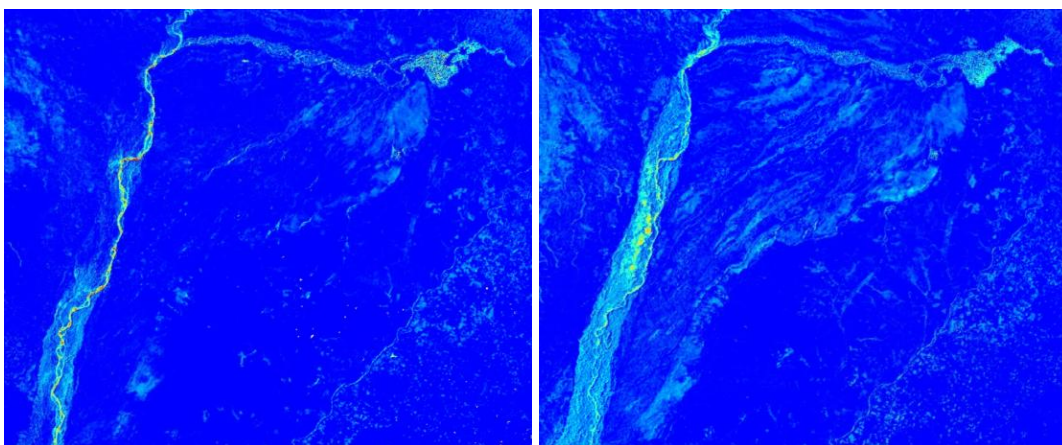
Los humedales húmedos, dominantes en los esteros del iberá, se caracterizan por una alta productividad primaria, dando valores altos en este índice en los sitios que encontramos humedales. No obstante, este no debe considerarse sinónimo de humedal, sino la sola expresión de gran cantidad de masa vegetal (bien podría tratarse por ejemplo de una masa boscosa que no esté asociada a un humedal). Nuevamente, su análisis debe ser combinado a otros factores, siempre desde el análisis integral del enfoque ecohidrogeomórfico.



Imágenes N° 8 y 9 El NDVI comparado para los esteros del Iberá en dos años diferentes muestra la capacidad del índice para reflejar la variabilidad de los humedales. La presencia de vegetación asociada a los pulsos hídricos son notables entre la época de déficit en 2007 (izq) y el exceso en 2010 (der).

- El Índice de agua de diferencia normalizada (NDWI, por sus siglas en inglés) es por su parte, sensible a los cambios en el contenido de agua en la vegetación. Elaborado por Google en base a datos Modis, se deriva de la banda de IR cercano y una segunda banda de IR, $\approx 1.24\mu\text{m}$ cuando está disponible y, de lo contrario, la banda de IR más cercana disponible. Su valor varía de -1.0 a 1.0. Ver Gao (1996) para más detalles.

La principal ventaja de su utilización en el caso de humedales es que su sensibilidad al agua da una respuesta mayor de la vegetación en humedales permitiendo resultados más detallados en este tipo de ambientes.



Imágenes N°10 y 11 El NDWI aplicado a las mismas escenas del NDVI posibilita una detección mayor de la variación en los humedales que no están asociados directamente al curso del Paraná. La variabilidad de los esteros, mas sutil a la vista

superficial debido a la cobertura vegetal, es detectada con mayor precisión por este índice.

- Los dos últimos índices presentados, junto a otras variaciones como el ARVI, similar al NDVI corregido para eliminar distorsiones atmosféricas, pueden ser aplicados en la plataforma de EOS para imágenes de mayor resolución como Landsat o Sentinel. El inconveniente es que en este caso, el trabajo deberá ser escena a escena, imposibilitando el análisis de la región completa y el procesamiento masivo. No obstante, la mayor resolución permitirá el trabajo a escala de paisaje, lo cual no siempre es factible en la plataforma Google.

- Ambas plataformas permiten la visualización de animaciones de secuencias temporales las que denominan lapso de tiempo (TimeLapse). La diferencia entre ambas es que Google ofrece un mosaico navegable anual en falso color real basado en Landsat, mientras que EOS ofrece la posibilidad de elegir el sector y las escenas con las cuales construir la animación.

- EOS también ha agregado recientemente una herramienta de análisis para la detección de cambios. La nueva función permite elegir dos escenas e identificar cambios en la cobertura terrestre en base a índices como los mencionados. La misma ha sido probada por este equipo para otros territorios de similares características a los esteros, dando buenos resultados el control de cambios con ARVI para la identificación de áreas deforestadas y detección de obras en el monitoreo ambiental del Delta del Paraná.

Existen más funcionalidades e índices posibles de ser utilizados para el estudio de humedales, incluyendo clasificaciones de coberturas que contemplan el concepto de humedal. El listado precedente se constituye como una síntesis operativa a los fines de mostrar los principales productos de utilidad para el reconocimiento de patrones ecohidrogeomorfológicos que faciliten el abordaje de los humedales.

CONCLUSIONES

A modo de conclusión, podemos afirmar que las plataformas analizadas ofrecen grandes oportunidades, no tanto por la innovación en los procesamientos que ofrezcan, sino por brindar el acceso a volúmenes inéditos de información, disponibles para

períodos de tiempo que permiten considerar patrones que requieren observación prolongada, como ser los derivados de la variación climática.

No obstante, ambas plataformas ofrecen una serie de herramientas gratuitas muy valorables a la hora del relevamiento y procesamiento de productos de teledetección. La mencionada disponibilidad de información para más de 30 años permite análisis temporales múltiples en corto tiempo, de gran utilidad en nuestro caso para comprender los pulsos de inundación y sequía, pudiendo trabajar en la diferenciación de pulsos intra e interanuales. A su vez, la gran capacidad de procesamiento, posibilita trabajar en análisis de control de cambios en múltiples períodos de tiempo. Ello permite reducir notablemente los tiempos de ejecución y potenciar la detección y comprensión de dinámicas.

Estos análisis pueden en el caso de humedales aplicarse tanto a la vegetación como a la presencia de agua y el tiempo que ésta permanece en el lugar. Este último aspecto resulta útil, no obstante debe manejarse con cuidado, puesto que en algunos casos se presentan clasificaciones en las que la presencia de agua en períodos largos de tiempo es considerada como un sinónimo directo de la presencia de humedales. Aunque puede ser tomado como un indicador interesante, será necesario el análisis integral del paisaje para poder constatar que se trata de humedales. Este análisis integral incorporará seguramente otros humedales que no hubieran sido detectados con la presencia de agua superficial, de manera comparable a los casos presentados de NDVI y NDWI en torno a la vegetación. Esto se debe a que los humedales secos, deben su génesis a la saturación del suelo, proveniente generalmente de aportes subterráneos, un rasgo más difícil de identificar y que requiere otro tipo de análisis con teledetección. Al respecto, cabe destacar también que la profundidad del agua es un factor decisivo en la existencia de humedales, así como la temporalidad, puesto que ambas determinarán la factibilidad de formación de suelos hidromórficos o la colonización del espacio por parte de vegetación adaptada.

Por otra parte, es importante aclarar que las clasificaciones que se encuentran disponibles, en las que se hace alusión a los humedales, no responden a los criterios adoptados por este grupo, ni los tomados por las diferentes experiencias de inventario vigentes en la actualidad, razón por la cual no han sido incluídas en el listado de análisis. Las mismas responden meramente a la existencia de agua en períodos prolongados de tiempo (Ej: 80% de tiempo inundado), lo cual resulta insuficiente por lo

anteriormente expuesto, al tiempo que da información acerca de una sola componente del humedal. Dicho dato, debe ser considerado como un indicio de potencialidad de existencia de humedales, es decir la factibilidad de que ese sitio sea un humedal. Ello orienta la búsqueda, no obstante no la agota, puesto que pueden existir tanto sitios que no sean humedales, como otros que si lo sean, pero no aparezcan en la clasificación, debiendo siempre ser complementado con otra información.

A modo de reflexión final, consideramos importante destacar que si bien las plataformas ofrecen una gran cantidad de información, y como se ha manifestado, aumentan las capacidades de análisis acortando drásticamente los tiempos y recursos necesarios, la misma lejos de traer la solución al inventario y análisis de humedales, ponen de relieve la complejidad del estudio de humedales y reafirman la imposibilidad de automatizar plenamente su identificación y delimitación; siendo siempre necesaria la intervención de profesionales especializados en la determinación de los indicadores más acertados y en la comprensión de la matriz del paisaje que permita caracterizarlos.

BIBLIOGRAFIA

Benzaquen, L.; Blanco, D.; Bó, R.; Firpo Lacoste, F.; Kandus, P.; Lingua, G.; Minotti, P. Y Quintana, R. (2009). Avances sobre la propuesta metodológica para un sistema nacional de clasificación e inventario de los humedales de Argentina. Primer borrador. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/238712664_Avances_sobre_la_propuesta_metodologica_para_un_sistema_nacional_de_clasificacion_e_inventario_de_los_humedales_de_la_Argentina

Benzaquén L., Blanco D.E., Bó R.F., Kandus P., Lingua G.F., Minotti P., Quintana R.D., Sverlij S., Vidal L. (eds) (2013). Inventario de los humedales de Argentina: sistemas de paisajes de humedales del corredor fluvial Paraná Paraguay -1a ed. - Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Proyecto GEF 4206 PNUD ARG 10/003. Buenos Aires: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

Benzaquen, L.; Blanco, D.; Bo, R.; Kandus, P.; Lingua, G.; Minotti, P. Y Quintana, R. (eds). (2016). Regiones de Humedales de Argentina. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Fundación Humedales/Wetlands International, Universidad Nacional de San Martín, Universidad de Buenos Aires.

Botana M.I. y Pohl Schnake V. (2011). Conflictos ambientales en los Esteros del Iberá. El caso de la pérdida de humedales generada por la producción arroceras. En: Revista Geográfica de América Central. Número Especial II Semestre 2011 EGAL, Costa Rica.

Cabrera Carlos (2014) Conae Seminario Google Earth Engine: An analysis and control tool. Descargable de http://aulavirtual.ig.conae.gov.ar/moodle/pluginfile.php/513/mod_page/content/111/Cabrera_seminario.pdf

Carroll, M.L., DiMiceli, C.M., Wooten, M.R., Hubbard, A.B., Sohlberg, R.A., Townshend, J.R.G (2017). *MOD44W MODIS/Terra Land Water Mask Derived from MODIS and SRTM L3 Global 250m SIN Grid V006* [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi: 10.5067/MODIS/MOD44W.006

Comisión Nacional de Actividades Espaciales (2013) Índices de vegetación (NDVI y EVI) y de Agua (NDWI) generados a partir de datos del sensor Modis. Descargable de https://catalogos.conae.gov.ar/modis_imapp/docs/Descripcion_Producto_NDVI_EVI_NDWI_2013Abril.pdf

Farr, T.G., Rosen, P.A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., and Alsdorf, D.E., (2007), The shuttle radar topography mission: *Reviews of Geophysics*, v. 45, no. 2, RG2004, at <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>.

Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 courtesy of the U.S. Geological Survey

Huete, A.; Justice, C.; Van Leeuwen, W. (1999). Modis Vegetation Index (MOD 13). Algorithm Theoretical Basis Document. Version 3.

Jarvis, A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara. (2008). Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database: <http://srtm.csi.cgiar.org>.

Kandus, P., Quintana, R.D., Minotti, P.G., Oddi, J Del P., Baigún, C., Gonzalez Trilla, G. Y Ceballos. (2011). Ecosistemas de humedal y una perspectiva hidrogeomórfica como marco para la valoración ecológica de sus bienes y servicios.

Capítulo 11. En: *Laterra, P., Jobbágy, E.G. y Paruelo, J.M. (eds). 2011. Valoración de Servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. INTA, Buenos Aires. 740 pp.*

Lehner, B., Verdin, K., Jarvis, A. (2008): New global hydrography derived from spaceborne elevation data. *Eos, Transactions, AGU, 89(10): 93-94.*

Minotti, P. Y Kandus, P. (2017). Proyecto Piloto De Inventario De Humedales de los partidos de Luján, Pilar y Escobar. Informe Final. Universidad Nacional de San Martín. Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental.

Organismo Provincial Para El Desarrollo Sostenible. (2019). Inventario de Humedales de la Provincia de Buenos Aires. Nivel 2: Sistemas de Paisajes de Humedales – Primer Informe. Susana Mulvany, Marcos Canciani, Mariano Pérez Safontas, Mariana Tangorra, Elena Sahade y Tamara Sanchez Actis – 1ª Ed. – Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. La Plata. Disponible en http://sata.opds.gba.gov.ar/bajar_archivo.php?archivo=manual/SPHPBA_1erInforme.pdf.

Vallejos V.H. et al. (2016). Una mirada al corazón de Corrientes: Tensiones territoriales en torno a los bienes comunes en el Iberá. En: Libro de la Junta de la Provincia de Corrientes. N° 3 – 2016

Vega-Pozuelo, R, Torres-Marquez, M Y J. Naranjo-Ramirez. (2017). Recursos cartográficos y geo-históricos para el inventario de humedales temporales y desecados mediterráneos. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información geográfica. GeoFocus (Artículos) N°19*, pp. 151-179. España.

Vilardy, S. P, Jaramillo Ú, Flórez, C., Cortés-Duque, J, Estupiñan, L, Rodriguez, J, Acevedo, O, Samacá, W., Santos, A, C, Peláez, S. Y C. Aponte. (2014). Principios y criterios para la delimitación de humedales continentales: una herramienta para fortalecer la resiliencia y la adaptación al cambio climático en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C., Colombia. 100 p.

Yamazaki D., Ikeshima D., Tawatari R., Yamaguchi T., O'loughlin F., Neal J.C., Sampson C.C., Kanae S. Y Bates P.D. (2017). A high accuracy map of global terrain elevations. *Geophysical Research Letters, vol.44*, pp.5844-5853.