



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DEL NORDESTE



FACULTAD DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES
Y AGRIMENSURA

Licenciatura en Ciencias Biológicas

Trabajo Final de Graduación

Análisis temporal de la heterogeneidad del paisaje en el Macrosistema Iberá

Joel Matías Yanotka

Directora: Sylvina Lorena Casco

Codirectora: Alicia Roxana Blanco

Laboratorio de Limnología

FaCENA

2022

DENOMINACIÓN

“Análisis temporal de la heterogeneidad del paisaje en el Macrosistema Iberá”

RESUMEN

Los cambios en la estructura de la vegetación, debido a perturbaciones o disturbios, pueden ocasionar variaciones en el funcionamiento del Sistema Iberá. En esta contribución se utilizaron imágenes NDVI del sensor MODIS en verano e invierno durante 21 años para estimar, indirectamente, la complejidad con los valores medios de NDVI y la heterogeneidad, mediante la desviación estándar de los valores de NDVI, en cada subregión del Iberá (Noroeste, Noreste y Sur). Posteriormente, se analizaron las tendencias de la complejidad y la heterogeneidad de las subregiones. Asimismo, los datos de estas series se analizaron en función del SPEI de 6 meses para explorar la relación entre la complejidad y heterogeneidad del paisaje con el balance hídrico. Finalmente, se analizó la dinámica de la morfometría de algunas de las principales lagunas del Sistema Iberá a partir de una serie de mediciones tomadas de imágenes Landsat 7 durante 21 años. Los resultados de los análisis de las tendencias muestran que en verano el NDVI medio ha tendido al aumento en el noreste y el noroeste del sistema Iberá, pero no hubo cambio significativo en la región sur. El desvío estándar del NDVI en verano presentó una tendencia al aumento únicamente en la región noreste. En invierno, el NDVI medio no presenta tendencias significativas, mientras que si se obtuvieron tendencias positivas significativas en el desvío estándar del NDVI en las regiones noreste y noroeste. Se obtuvo una relación positiva significativa entre el SPEI de 6 meses y NDVI medio tanto en verano como en invierno en cada subregión del Iberá. Mientras que el SPEI de 6 meses y el desvío estándar del NDVI se relacionaron significativamente sólo en el caso de la región sur en verano. Respecto a la morfometría de las lagunas, se observaron tendencias de aumento significativas en la superficie de las lagunas Luna, Disparo e Iberá, que se corresponden con la tendencia al aumento de las precipitaciones anuales, mientras que la superficie de la laguna Galarza no presentó tendencia significativa en el periodo estudiado. Conocer la variabilidad temporal de este humedal es clave para apoyar futuras evaluaciones de la respuesta del ecosistema al cambio global. En este sentido, los resultados de este trabajo aportan conocimientos sobre la dinámica de dos factores importantes para el monitoreo del paisaje, como son la complejidad y la heterogeneidad, y su relación con el balance hídrico, en el sistema del Iberá.

AGRADECIMIENTOS

A Sylvina Casco, por su acompañamiento, sus aportes y su ayuda constante en el desarrollo de trabajo y por ayudarme a crecer profesionalmente.

A Alicia Blanco, por introducirme en el campo de la teledetección y resolver el mar de dudas que tenía especialmente al comenzar este trabajo.

A Juan Manuel Coronel, quien acompañó y contribuyó en el trabajo precursor a esta tesina.

A la Ing. Agr. María Susana Escalante, por los datos meteorológicos proporcionados.

A los evaluadores de este Trabajo Final de Graduación, por los aportes realizados para mejorar el manuscrito.

A mis amigos, quienes son lo mejor que me dio la universidad y quienes hicieron que este viaje sea hermoso.

A mi padres y abuelos, por soportar ausencias y presencias a medias, por darme la libertad de seguir mis sueños, y ayudarme a concretarlos.

A aquellos docentes que con su empatía y excelente calidad humana han hecho la cursada más amena y han sido una inspiración para mi desarrollo personal y profesional.

ÍNDICE

1. Introducción	5
1.1 Objetivo general	7
1.2 Objetivos particulares.....	7
1.3 Hipótesis de trabajo y predicciones.....	7
2. Materiales y Métodos	7
2.1 Área de estudio	7
2.2 Datos meteorológicos.....	8
2.3 Estudio de la vegetación	9
2.4 Morfometría de lagunas.....	11
2.5 Análisis de la información.....	12
3. Resultados	12
3.1 Características y tendencias climáticas del Iberá	12
3.2 Análisis del NDVI en las subregiones del Iberá	14
3.3 Relación entre el NDVI y la variación climática.....	17
3.4 Variación temporal de la morfometría de las principales lagunas	17
4. Discusión	18
4.1 Características y tendencias climáticas del Iberá	18
4.2 Análisis del NDVI en las subregiones del Iberá	19
4.3 Relación entre el NDVI y la variación climática.....	20
4.4 Variación temporal de la morfometría de las principales lagunas	21
5. Conclusiones	22
Bibliografía	23
Anexo	27

1. INTRODUCCIÓN

Los humedales son sistemas definidos por la *presencia espacial y temporal de una lámina de agua variable, con flujos biogeoquímicos característicos, suelos hídricos y una biota cuya estructura y dinámica está adaptada a la amplia variabilidad del agua* (Neiff et al., 1994). En ellos, la vegetación desempeña un papel crucial en las funciones ecológicas (Silva et al., 2008; Adam et al., 2010); proporcionando hábitats para la vida silvestre y el ganado (Owino y Ryan, 2007; Mutanga et al., 2012), amortiguando el transporte y la deposición de sedimentos, filtrando los contaminantes del agua (Silva et al., 2008; Huang et al., 2010) e interviniendo en el ciclo hidrológico y biogeoquímico local. Es decir, que la vegetación de los humedales sirve como índice de salud del ecosistema (Pan et al., 2018).

La complejidad del hábitat está definida por el desarrollo del estrato vertical de la vegetación combinado con la densidad de individuos (plantas) por unidad de área (Root, 1973) y la heterogeneidad del hábitat es la estructura de la vegetación en el plano horizontal, es decir, las relaciones horizontales (Metzger, 2001). Evaluar la distribución de la heterogeneidad ecológica sobre el espacio es fundamental para estimar la biodiversidad (Triantis et al., 2003; Boyd y Foody, 2011; Rocchini et al., 2015).

Para evaluar la diversidad como expresión de la complejidad de un sistema, se debe incluir el análisis de las variables que condicionan la presencia de las plantas, empleando distintas escalas espaciales y temporales (Willis y Whittaker, 2002), lo que permite demostrar las situaciones ambientales que atraviesan particularmente los humedales por la expansión y contracción de las masas de agua durante los períodos lluviosos y secos (Neiff et al., 1994; Neiff, 2001).

Una visión simple de la heterogeneidad espacial de la vegetación se logra al analizar las unidades o tipos de vegetación, es decir, la manera en que se agrupan las plantas herbáceas, arbustivas o arbóreas, o una combinación de ellas, para dar una fisonomía determinada al paisaje. Este análisis se realiza generalmente a nivel fisonómico, en distintas escalas (Neiff y Casco, 2017).

Debido a las características de la respuesta espectral de la vegetación, es posible utilizar técnicas de geoprocésamiento para su identificación y evaluación. Una de estas técnicas consiste en el uso de índices de vegetación, los cuales son medidas empíricas robustas del estado de la vegetación en la superficie terrestre. Están diseñados para mejorar la señal reflejada por la vegetación a partir de las respuestas espectrales medidas mediante la combinación de dos (o más) bandas (Didan et al., 2015).

Entre los índices de vegetación, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) permite el estudio de parámetros biofísicos, tales como cobertura de la vegetación, biomasa, fracción de la radiación fotosintéticamente activa (Huete et al., 2002) y variaciones fenológicas (Prabakaran et al., 2013), por lo que, desde que se propuso por primera vez en la década de 1970 (Rouse et al., 1974; Deering et al., 1975; Deering, 1978), el NDVI ha sido utilizado ampliamente para evaluar las respuestas ecológicas al cambio ambiental y los impactos del cambio climático y las actividades antropogénicas en la vegetación y el ecosistema (Paruelo y Lauenroth, 1998; Pettorelli et al., 2005; Navarro Rau et al., 2012; Forkel et al., 2013; Liu et al., 2015; Pan et al., 2018; Li et al., 2020).

Los humedales constituyen uno de los pocos ecosistemas tan dependientes del agua y tan sensibles a los cambios en la evapotranspiración (Brinson 2006), de tal manera que las variaciones en las precipitaciones permiten analizar la conectividad entre los elementos y procesos del sistema espacial y temporalmente (Neiff y Poi de Neiff, 2006). Asimismo, junto con las variaciones en las lluvias, los cambios en las temperaturas actúan como factores forzantes de las variables de estado del sistema, debido a que

la calidad del agua, las fluctuaciones poblacionales en el medio acuático, la flora y la fauna de humedales y de las tierras altas, están regidos por ambos factores (Neiff, 2001).

De acuerdo a Jones y Moberg (2003), durante los últimos 150 años la temperatura ha aumentado entre 0,5 – 2°C. Las temperaturas durante el final del siglo XX fueron más altas que en cualquier otro momento durante el último milenio (Bradley, 2000a, 2000b; Luterbacher et al., 2004) y los modelos de cambio climático predicen un marcado aumento durante el siglo XXI (Castellanos et al., 2022).

La intensidad y la distribución espacial de las precipitaciones también cambiaron como resultado del aumento del vapor de agua atmosférico debido al calentamiento global (O’Gorman y Schneider, 2009; Trenberth, 2011), pero los cambios en el régimen de precipitaciones no son espacial ni temporalmente uniformes (Frich et al. 2002; Walther et al. 2002). Algunos estudios han demostrado que las regiones húmedas se han vuelto más húmedas y las regiones secas se han vuelto más secas (Wentz et al., 2007).

Estudios empíricos han demostrado que el aumento de la temperatura afecta notablemente la severidad de las sequías. La evaporación y la transpiración pueden consumir hasta el 80% de la lluvia (Abramopoulos et al., 1988). La evapotranspiración determina la variabilidad de la humedad del suelo y, en consecuencia, el contenido de agua de la vegetación. La pérdida de agua del suelo debido a la evapotranspiración también afecta la escorrentía, y estos déficits afectan la descarga de los ríos y el almacenamiento de agua subterránea. Además, la evapotranspiración potencial también puede causar grandes pérdidas en los cuerpos de agua, como los embalses (Wafa y Labib, 1973; Snoussi et al., 2002). Por lo tanto, se espera que los procesos de calentamiento global predichos por los modelos de cambio climático (Castellanos et al., 2022) tengan consecuencias importantes para las condiciones de sequía, con el aumento en la demanda de agua como resultado de la evapotranspiración, siendo el aumento de la severidad proporcional a la magnitud del cambio de temperatura (Beniston et al., 2007; Sheffield y Wood, 2008; Scherger et al., 2022).

En un orden de ideas, la variabilidad climática global descrita anteriormente, probablemente establezca nuevos escenarios hidrológicos (Tranvik et al., 2009), por lo tanto, la diversidad y composición en los humedales deberá ajustarse a esos nuevos patrones de fluctuación del agua.

La elasticidad de los humedales, definida por Neiff et al. (1994) como el cociente entre el área ocupada durante la mayor inundación o anegamiento y el área ocupada durante la sequía constituye una herramienta útil para evaluar la retracción de los cuerpos de agua como consecuencia de los cambios producidos en el clima.

La diversa vegetación en Iberá (Arbo y Tressens, 2002; Carnevali, 1994, 2003; Carnevali y Carnevali, 2008; Fontana, 2010), interviene en distintos procesos que caracterizan al sistema, como por ejemplo interferir en el escurrimiento del agua superficial debido al aumento de la rugosidad del terreno, producir un aumento del almacenamiento de materia orgánica, de nutrientes, colmatar progresivamente los cuerpos de agua con sedimentos orgánicos y modificaciones en el microclima local y en la economía del agua (Neiff, 2004).

Los cambios en la estructura de la vegetación, debido a perturbaciones o disturbios, pueden ocasionar variaciones en el funcionamiento del Sistema Iberá (Canziani et al., 2003; Cózar Cabañas et al., 2009), por lo tanto, en este trabajo se analizaron temporalmente las variaciones del paisaje en una serie temporal con distintas condiciones ambientales de temperatura y precipitaciones.

1.1 Objetivo general

Analizar temporalmente la heterogeneidad del paisaje en las subregiones Noroeste, Noreste y Sur del Macrosistema Iberá.

1.2 Objetivos particulares

- Analizar las tendencias climáticas en la región del Iberá, particularmente de la temperatura y las precipitaciones.
- Analizar los cambios interanuales en la complejidad y heterogeneidad de las distintas subregiones del Iberá a través de la media y el desvío estándar del NDVI de imágenes estacionales (invierno/verano), para el periodo julio 2000 – enero 2021.
- Valorar la influencia de la temperatura y las precipitaciones en el NDVI de las subregiones del Iberá.
- Determinar la variación temporal de la morfometría de las principales lagunas del sistema.

1.3 Hipótesis de trabajo y predicciones

La complejidad y dinámica del paisaje en Iberá están condicionadas por distintos factores forzantes, principalmente el régimen de lluvias y la temperatura. Por lo tanto, se espera encontrar que la complejidad ambiental se relacione directamente con estos valores.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El área de estudio comprende las subregiones del Macrosistema Iberá: Noreste, Noroeste y Sur (Fig. 1), propuestas por Cózar et al. (2005), basadas en características geomorfológicas.

Los Esteros del Iberá, constituyen un extenso humedal de 12300 Km² alimentado por lluvias, localizado geográficamente entre los 29° – 27°30' de latitud Sur y los 58°30' – 56°30' de longitud Oeste. Consiste en un vasto mosaico de esteros, pantanos y lagos poco profundos interconectados, la mayoría de los cuales (60%) permanecen permanentemente inundados. De manera frecuente, islas de vegetación flotante llamadas "embalsados" componen las orillas y el entorno circundante de los lagos (Neiff, 2004; Cózar et al., 2005). El agua de este sistema escurre por el río Corriente en el sur, que desemboca en el Paraná (Neiff y Neiff, 2013). Con el objetivo de proteger este humedal y su diversidad, gran parte de su superficie se encuentra dentro de la Reserva Natural del Iberá, creada en 1983, que a su vez contiene al Parque Nacional Iberá, creado en 2018.

El clima de esta región es subtropical húmedo, con temperaturas medias entre 14-15 °C en invierno y 20-22 °C en verano (Carnevali, 1994). Los valores de lluvias en Iberá varían entre 1200 y 1700 mm anuales, y la estación seca se registra en invierno (Ferrati et al., 2003). Durante años muy lluviosos o con sequías prolongadas, las precipitaciones tienen desvíos importantes respecto de estos valores promedio que son calculados a escala regional sobre largos períodos de tiempo (Poi, 2017).

El patrón de organización de la vegetación en el Iberá puede ser dividido en cuatro sistemas: lagunas, esteros, bañados del río Corriente y canales, y lomadas e isletas arenosas; y 13 unidades de vegetación que se caracterizan según su cobertura, la bioforma dominante y las especies más frecuentes.

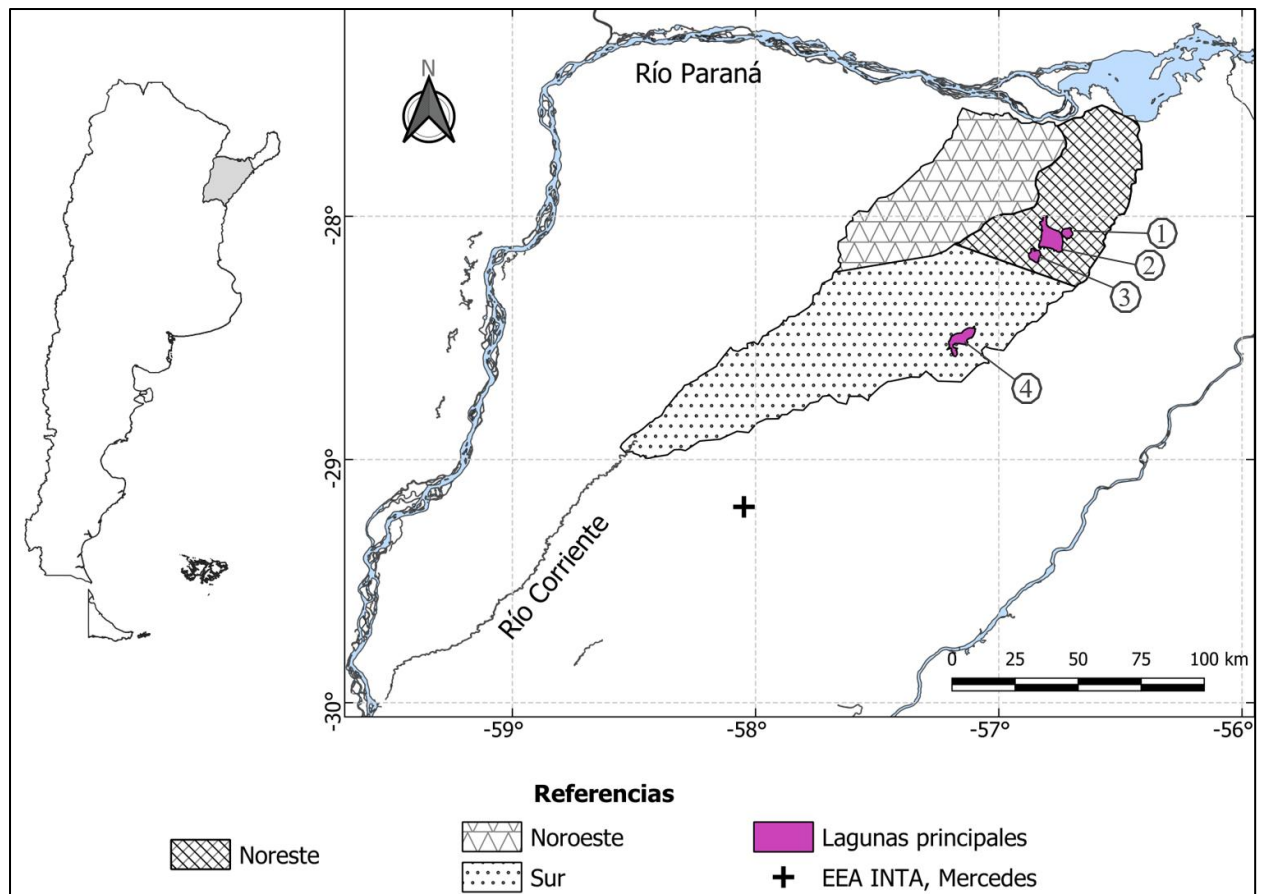


Figura 1. Macrosistema Iberá y sus subregiones. 1: Galarza; 2: Luna; 3: Disparo; 4: Iberá. Fuente: elaboración propia basada en Cózar et al. (2005) y Neiff et al. (2011).

Dentro del sistema de lagunas se incluyen praderas de vegetación sumergida, praderas arraigadas de tallos flotantes, praderas arraigadas de hojas flotantes (ninfeales-irupezales), camalotales y juncuales. En el sistema de esteros, se encuentran los esteros propiamente dichos (a su vez se distinguen pirizales, totorales y achirales o pehuajozales), embalsados (islas flotantes) y bosques de turberas. El sistema de bañados del río Corriente y canales incluye cursos de agua y bañados de pastos bajos y tiernos. Por último, el sistema de lomadas e isletas arenosas está formado por pajonales de paja colorada, pajonales de *Aristida jubata* (Arechav.) Herter con *Butia paraguayensis* (Barb. Rodr.) L.H. Bailey y bosques higrófilos pluriespecíficos (Neiff y Casco, 2017).

Fuera de la Reserva Natural Iberá, las plantaciones de árboles, la ganadería y los cultivos agrícolas son fines importantes del uso de la tierra. Los cultivos (ej. arroz) también afectan fuertemente la estructura del ecosistema, directamente a través del cambio de vegetación, pero también a través de la sistematización hidráulica del terreno para favorecer las inundaciones, el movimiento periódico del suelo y la extracción de agua de las lagunas para el cultivo (Neiff y Poi de Neiff, 2006).

2.2 Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos de temperatura media mensual (Anexo, tabla 1) y precipitación mensual (Anexo, tabla 2), fueron obtenidos a partir de los registros en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del INTA, de la localidad de Mercedes, Corrientes (Fig. 1). Los registros están disponibles desde el año 1962 para las temperaturas y desde 1951 para las precipitaciones (con excepción del año 1991, que no posee registros). Sin embargo, a pesar de contar con un registro extenso y casi continuo, la estación no

se encuentra dentro de la región del Iberá (aproximadamente 35 km del punto más cercano) y está ubicada cerca de un área urbana, por lo que los registros de temperaturas podrían ser influenciados por la isla urbana de calor (Oke, 1973; Camilloni y Barrucand, 2012).

Las medias mensuales de temperatura y las precipitaciones mensuales se utilizaron para caracterizar las condiciones en la región del Iberá y su variación a lo largo del año. Las series de media anual de temperatura mensual y de precipitación anual fueron utilizadas para analizar la tendencia climática en la región.

Cálculo del Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI)

Los índices de sequía son las técnicas más utilizadas para el análisis y seguimiento de sequías. En particular, el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI, por sus siglas en inglés) puede dar cuenta de los posibles efectos de la variabilidad de la temperatura y las temperaturas extremas en el balance hídrico de un sistema. El carácter multiescalar del SPEI permite que sea utilizado por diferentes disciplinas científicas para detectar, monitorear y analizar sequías. El SPEI puede medir la severidad de la sequía según su intensidad y duración, y puede identificar el inicio y el final de los episodios de sequía. Además, el índice permite comparar la severidad de la sequía a través del tiempo y el espacio, ya que se puede calcular en una amplia gama de climas (Vicente-Serrano et al., 2010).

El SPEI utiliza la diferencia mensual entre la precipitación y la evapotranspiración potencial, comparando el agua disponible con la demanda evaporativa atmosférica. Esto representa un balance hídrico simple (Thornthwaite, 1948) que se calcula en diferentes escalas de tiempo para obtener el SPEI, las escalas comúnmente utilizadas varían entre 1 y 24 meses (Vicente-Serrano et al., 2010). Este índice calcula un valor de intensidad para cada mes, positivo o negativo, que identifican eventos húmedos y secos, respectivamente (Svoboda y Fuchs, 2016).

La evapotranspiración depende de numerosos parámetros, que incluyen la temperatura superficial, la humedad del aire, la radiación entrante en el suelo, la presión del vapor de agua y los flujos de calor sensible y latente entre el suelo y la atmósfera (Allen et al., 1998). Sin embargo, existen métodos simples para calcular la evapotranspiración potencial que proporcionan resultados similares a otros métodos más complejos cuando se calcula un índice de sequía (Mavromatis, 2007). Por lo tanto, se siguió el enfoque más simple para calcular la evapotranspiración potencial (Thornthwaite, 1948), que tiene la ventaja de que sólo requiere datos sobre la temperatura media mensual, el mes del año y la latitud a la que se registraron los datos meteorológicos (Vicente-Serrano et al., 2010).

Para el cálculo del SPEI se utilizaron los datos de temperatura media mensual y precipitación mensual brindados por la estación meteorológica mencionada anteriormente. Con el fin de encontrar la escala temporal del SPEI que mejor explica la variabilidad de la vegetación en las subregiones de Iberá, se calculó el SPEI de 1, 3, 6 y 12 meses para evaluarlos a través de análisis correlación con la vegetación y encontrar la escala del SPEI que mejor explica la variabilidad de los datos NDVI.

2.3 Estudio de la vegetación

La base teórica para los índices de vegetación deriva del examen de las firmas típicas de reflectancia espectral de las hojas. La energía reflejada por las hojas en el espectro visible es muy baja como resultado de la alta absorción de los pigmentos fotosintéticamente activos, con valores máximos de absorción en las longitudes de onda azul (470 nm) y roja (670 nm). Casi toda la radiación del infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés) se dispersa (refleja y transmite) con muy poca absorción, de una manera que depende

de las propiedades estructurales del dosel (índice de área foliar, distribución del ángulo de las hojas, morfología de las hojas). Como resultado, el contraste entre las respuestas al rojo (R) y al infrarrojo cercano (llamado desplazamiento al rojo) es una medida sensible de la cantidad de vegetación, con diferencias máximas de R-NIR que ocurren sobre un dosel completo y un contraste mínimo sobre objetivos con poca o ninguna vegetación (Didan et al., 2015).

El NDVI es una transformación normalizada de la relación de reflectancia del NIR y el R, diseñada para estandarizar los valores del índice entre -1 y 1. Los valores negativos representan los cuerpos de agua, los positivos cercanos a cero representan suelo sin vegetación, y los valores superiores a cero representan la vegetación (Liu, 2006). Se expresa comúnmente como:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

Como proporción, el NDVI tiene la ventaja de minimizar ciertos tipos de ruido correlacionado a las bandas (correlación positiva) e influencias atribuidas a variaciones en la irradiancia directa/difusa, nubes y sombras de nubes, sol y ángulos de visión, topografía y atenuación atmosférica. La relación también puede reducir, hasta cierto punto, los errores relacionados con la calibración y los instrumentos. La medida en que la relación puede reducir el ruido depende de la correlación del ruido entre las respuestas de R y NIR y el grado en que la superficie muestra un comportamiento lambertiano -independiente del ángulo- (Didan et al., 2015).

La principal desventaja de los índices basados en relaciones tiende a ser su no linealidad, mostrando comportamientos asintóticos, lo que conduce a insensibilidades a las variaciones de la vegetación en ciertas condiciones de cobertura del suelo (Didan et al., 2015).

Para analizar la evolución de la vegetación en las 3 subregiones del Iberá, se utilizó el método propuesto por Miranda et al. (2018), que consiste en estimar indirectamente (1) la complejidad del paisaje, utilizando los valores medios de NDVI, y (2) la heterogeneidad, a partir de la desviación estándar de los valores de NDVI. Este método se basa en que los valores medios de NDVI indican la complejidad estructural (vertical) y la cantidad de fitomasa aérea del hábitat y el desvío estándar del NDVI indica la variación de la complejidad vertical y de la fitomasa aérea del hábitat en el plano horizontal (Corrêa et al., 2011).

Pre-procesamiento

Para la obtención de índices de vegetación a partir de los datos obtenidos por el sensor MODIS, los algoritmos funcionan por píxel y requieren múltiples observaciones (días, o pre-composiciones de 8 días, como es el caso de la colección 6.0) para generar un valor del índice compuesto que representará el período completo. Debido a la superposición de órbitas, pueden existir múltiples observaciones del mismo día y sobre el mismo píxel. Sin embargo, debido a la presencia de nubes y a la cobertura espacial del sensor, el número de observaciones útiles es bastante reducido. Al utilizarse datos pre-compuestos en la colección 6.0, una vez que se recopilan los 8 días, el algoritmo de reflectancia de la superficie aplica un conjunto de filtros según la calidad, nubosidad y la geometría de visualización. Los píxeles contaminados por la nubosidad y las vistas extremas del sensor fuera del nadir se consideran de menor calidad. Un píxel de vista nadir sin nubes y sin contaminación atmosférica residual representa el píxel de mejor calidad. Solo los datos de mayor calidad y libres de nubosidad se conservan para una mayor composición. El algoritmo de reflectancia superficial emplea un enfoque de banda azul mínima para minimizar los aerosoles y otros contaminantes. Los datos de reflectancia de la superficie compuestos de 8 días resultantes luego son

utilizados como entrada por el algoritmo del índice de vegetación. El objetivo de la metodología de composición es extraer un único valor por píxel de todos los datos filtrados retenidos, que representará el píxel para el período particular de 16 días (Didan et al., 2015).

Adquisición y procesamiento de datos

Los datos fueron tomados del producto “Vegetation Indices” versión 6.0 del sensor MODIS a bordo satélite TERRA (producto MOD13Q1), cuadrantes h12v11 y h13v11, ya georreferenciados, en el sitio “EarthData” de la NASA (<https://search.earthdata.nasa.gov>). El producto MOD13Q1 se obtiene en formato HDF y consiste en un conjunto de capas con diferentes índices de vegetación y resolución espacial, de las cuales interesa la primera capa: NDVI en composición de 16 días y con una resolución espacial de 250 metros. Debido al formato en el que los datos son almacenados en el servidor, estos necesitan ser escalados por 0,0001 para obtener los valores de NDVI.

Un grupo de las imágenes NDVI obtenidas corresponden a escenas que fueron tomadas durante el verano (del 1 al 16 de enero) de los años 2001 al 2021 (21 escenas), y otro grupo, durante el invierno (del 11 al 26 o del 12 al 27 de julio) en cada año del periodo 2000-2020 (21 escenas). Estas imágenes fueron posteriormente recortadas para separar cada subregión (noreste, noroeste y sur) y extraer de cada una los valores de media y desvío estándar del NDVI utilizando el software QGIS 3.16.12 (QGIS.org, 2022).

2.4 Morfometría de lagunas

A partir de la caracterización morfométrica de un cuerpo de agua se puede obtener una idea general sobre el funcionamiento del sistema, teniendo en cuenta las áreas de interfase agua-aire y agua-sedimento (Montoya-Moreno, 2005; Fornerón et al., 2010). La forma y las dimensiones de las lagunas influyen sobre variables relacionadas con la erosión, sedimentación, carga de nutrientes y características físico-químicas, entre otras (Contreras et al., 2017). Junto con el clima y el tipo de suelo de su cuenca de drenaje, la forma y dimensión son de los principales determinantes de su productividad biológica (Quirós, 2004).

Para el estudio de la morfometría de las principales lagunas del macrosistema Iberá, se obtuvieron imágenes Landsat 7 del Servicio Geológico de los Estados Unidos, a través del portal Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), cuadrantes 225/79 y 225/80. Se utilizó una imagen por año en el periodo 2000-2020 (21 imágenes), preferentemente del mes de enero y sin cobertura nubosa que interfiera con el análisis. En los casos en que esta condición no se cumplió, se optó por seleccionar las imágenes temporalmente más próximas que si la cumplieran (febrero o marzo).

Utilizando el software QGIS 3.16.12 se realizó el agrupamiento de las bandas en una única escena para poder distinguir de manera más detallada los límites de las lagunas. Posteriormente se delimitó manualmente el borde del espejo de agua libre de las lagunas Luna (56°47'5"S, 28°5'27"O), Galarza (56°43'13"S, 28°4'7"O), Disparo (56°51'11"S, 28°9'43"O) e Iberá (57°9'25"S, 28°30'19"O) (Fig. 1) para cada año y se midió el perímetro y la superficie de cada una.

A partir de los datos de superficie de cada laguna se calculó la elasticidad de estos humedales. Este parámetro resulta del cociente entre la superficie ocupada durante la fase de máximo anegamiento y la de menor expansión durante una sequía extrema. La elasticidad influye en gran medida sobre la distribución y abundancia de las poblaciones, el almacenamiento y flujo de nutrientes, las condiciones de óxido-reducción y la prevalencia de procesos de acumulación o de degradación de la materia orgánica (Neiff, 1999).

2.5 Análisis de la información

Las series temporales de precipitación anual, media anual de temperatura mensual, SPEI de 12 meses (diciembre de cada año), media y desvío estándar del NDVI de cada subregión y estación (verano o invierno) y área y diámetro de las principales lagunas fueron analizados en función del tiempo a través de regresión lineal y correlación para detectar tendencias. Además, para cuantificar la relación entre las variables ambientales y la complejidad y heterogeneidad del paisaje, las series de media y desvío estándar del NDVI de cada subregión y estación también se analizaron en función del SPEI, a través del análisis de regresión y correlación. La significancia de las relaciones en cada análisis se cuantificó mediante un T-test para regresión lineal, siendo el nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Todos los análisis y test estadísticos se realizaron con el software Python 3.8.5 (Python Software Foundation, 2022) y paquetes específicos: NumPy 1.19.2, pandas 1.1.3, SciPy 1.5.2, statsmodels 0.12.0 y scikit-learn 0.23.2.

3. RESULTADOS

3.1 Características y tendencias climáticas del Iberá

Los valores más altos de temperatura mensual promedio y precipitación mensual promedio fueron 26,5 °C y 169 mm, ocurridos en enero y marzo, respectivamente, mientras que los valores más bajos de temperatura media mensual y precipitación mensual fueron 13,8 °C y 53 mm, respectivamente, registrados en julio (Fig. 2).

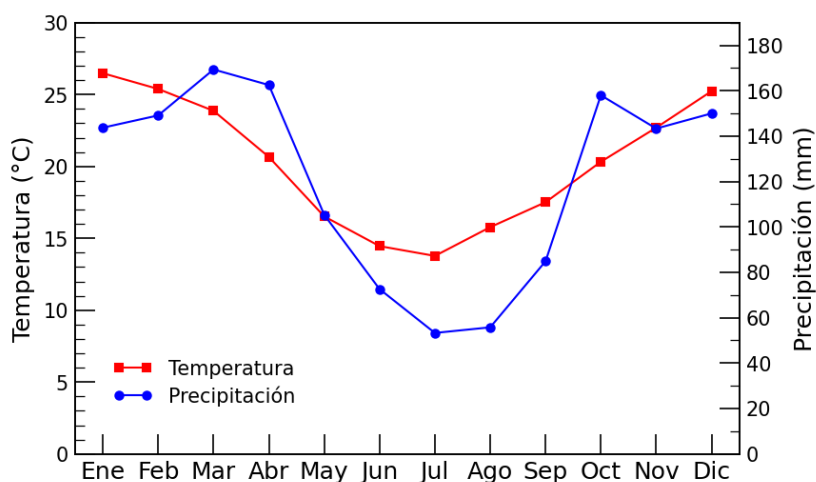


Figura 2. Promedios mensuales históricos de temperatura (1962-2020) y precipitación (1951-2020). Fuente: Elaboración propia con datos meteorológicos provistos por la EEA del INTA, Mercedes.

La serie de media anual de temperatura mensual en la estación meteorológica de Mercedes y su tendencia obtenida en el periodo 1962-2020, como así también la tendencia de los últimos 21 años se muestran en la Figura 3. La pendiente resultante a partir de los 59 años de registros revela que la temperatura en Iberá exhibió una tendencia positiva significativa ($p < 0,01$), con una tasa de aumento de 0,18 °C / década (o 1,08 °C / 6 décadas). Mientras tanto, la pendiente calculada con los últimos 21 años de registros también tiene una tendencia positiva significativa ($p < 0,05$), pero la tasa de aumento es mucho mayor (0,51 °C / década).

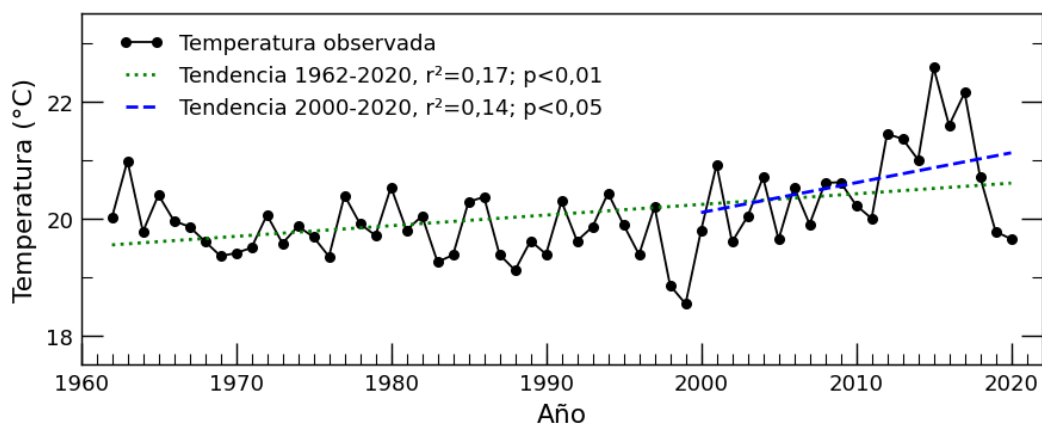


Figura 3. Temperatura anual promedio en el periodo 1962-2020 y tendencias. Fuente: Elaboración propia con datos meteorológicos provistos por la EEA del INTA, Mercedes.

La serie de precipitaciones anuales en la EEA del INTA durante 1951-2020, exceptuando el año 1991, revela una tendencia significativa ($p < 0,01$) de aumento, con una tasa de 69,3 mm / década (o 485,1 mm / 7 décadas). En tanto que la tendencia de los últimos 21 años, también significativa ($p < 0,05$), ocurre con una tasa mayor: 241,2 mm / década (Fig. 4).

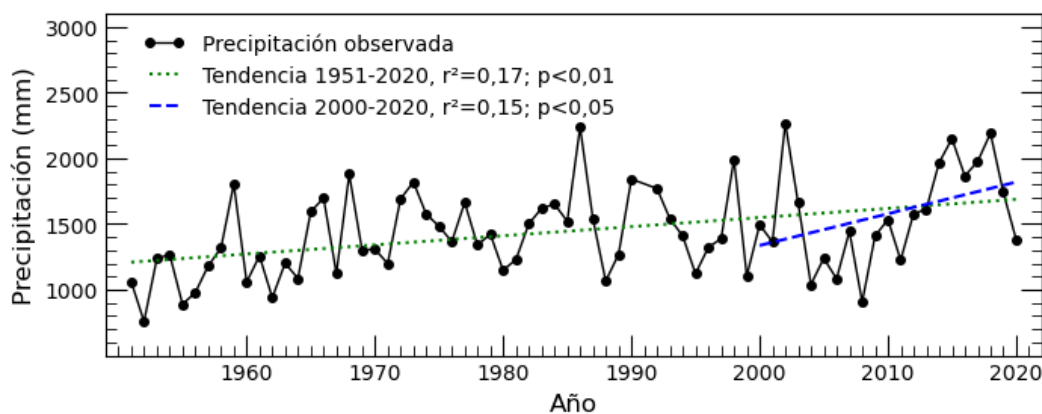


Figura 4. Registros de precipitación anual en el periodo 1951-2020 y tendencias. Fuente: elaboración propia con datos meteorológicos provistos por la EEA del INTA, Mercedes.

La Figura 5 presenta los resultados del cálculo del SPEI de 1, 3, 6 y 12 meses, para el periodo 1962-2020, exceptuando el año 1991. Es posible identificar breves periodos húmedos dentro de eventos de sequía prolongada, como así también breves periodos secos dentro de periodos húmedos de larga duración. Particularmente, en las escalas de mayor duración (6 y 12 meses), se distingue un evento de sequía extenso que comenzó en 2003 y finalizó en 2009 y, posteriormente, un evento húmedo a partir del 2012 que culminó en 2019. Los resultados del análisis de regresión de la serie SPEI-12 anual (diciembre) no marcaron una tendencia significativa ($p > 0,05$), y los datos no se ajustan a un modelo lineal ($R^2 = 0,03$) que represente la tendencia de los mismos en el periodo para el cual existen registros.

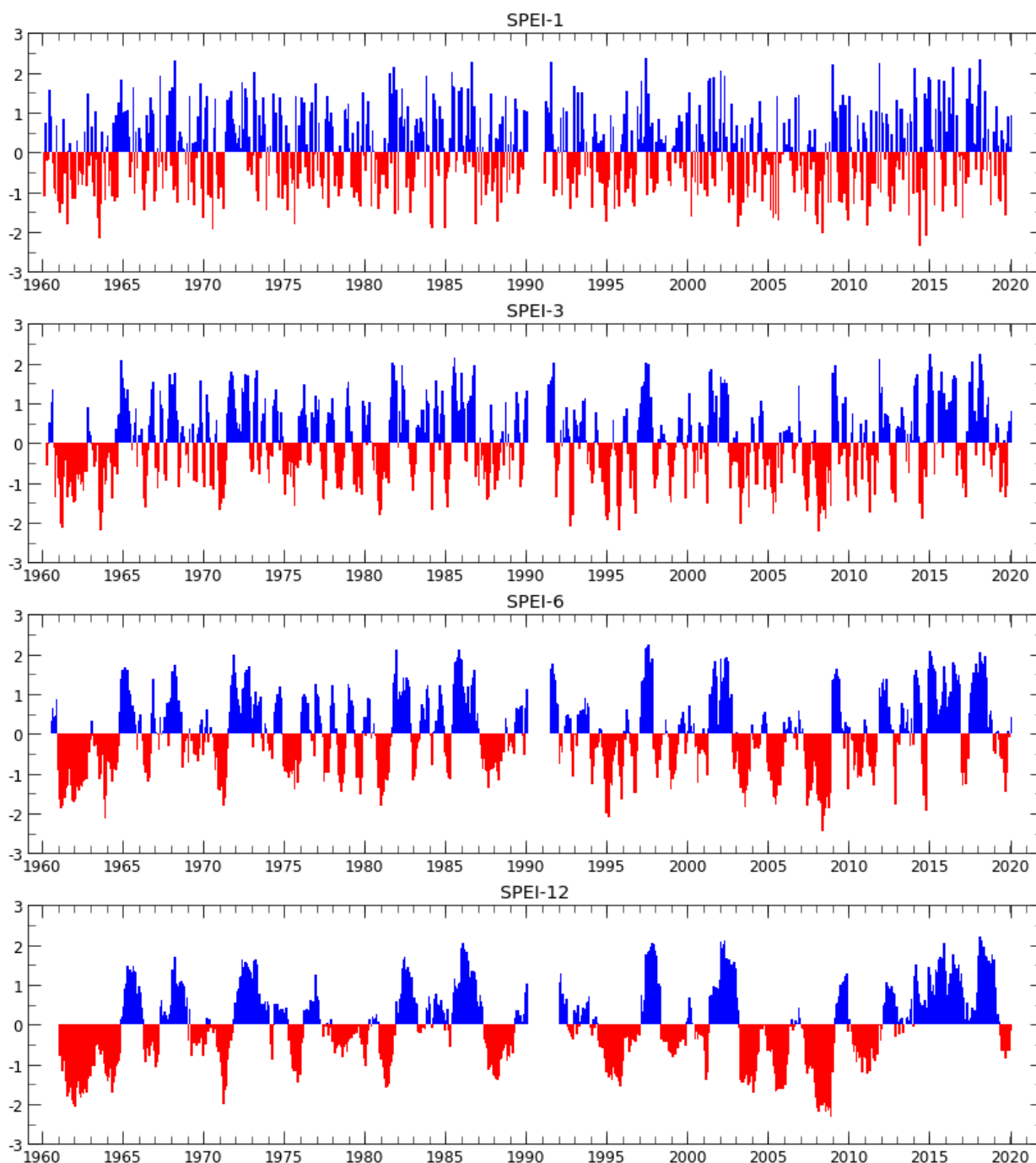


Figura 5. SPEI en escalas de 1, 3, 6 y 12 meses (SPEI-1; SPEI-3; SPEI-6 y SPEI-12) para el periodo 1962-2020, excluyendo el año 1991 (sin datos). En azul: periodo húmedo; en rojo: periodo seco. Fuente: Datos meteorológicos de la EEA del INTA, Mercedes.

3.2 Análisis del NDVI en las subregiones del Iberá

Las imágenes NDVI del área de estudio en verano e invierno, luego de años lluviosos y secos, presentan algunas diferencias (Fig. 6).

Para las escenas de invierno, los valores medios del NDVI mostraron una variación de 0,418 a 0,638. La subregión noroeste presentó los valores más altos de NDVI medio en casi la totalidad del periodo estudiado, con excepción del 2006, cuando el NDVI medio más alto ocurrió en la subregión sur. En el sur, los valores de NDVI medio fueron intermedios el 95% de los años y la subregión noreste fue la que

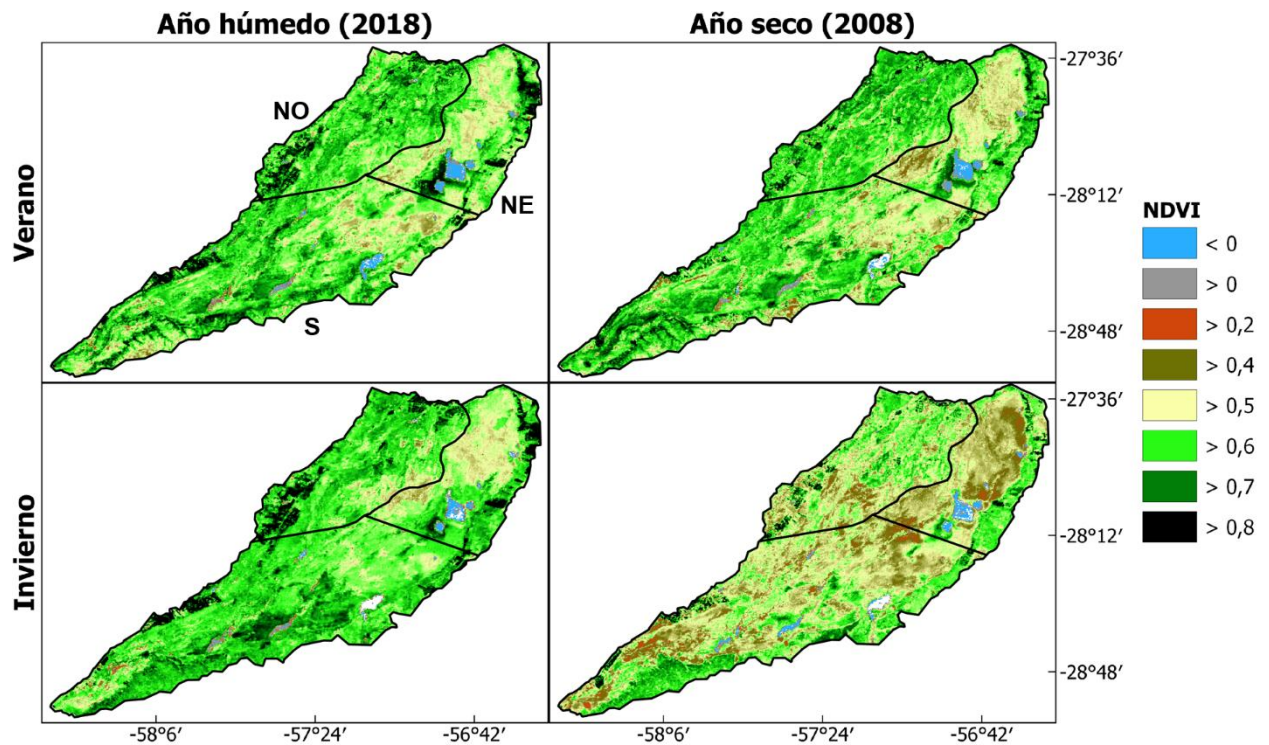


Figura 6. Imágenes NDVI del Sistema Iberá tomadas en verano e invierno, luego de un periodo de un año lluvioso y uno seco. NE: Noreste; NO: Noroeste; S: Sur.

presentó el menor NDVI medio en todos los años estudiados. Los valores de la media del NDVI variaron entre 0,418 y 0,588 en el noreste, 0,467 y 0,638 en el noroeste y 0,449 y 0,609 en el sur (Fig. 7).

En verano, se observó que para el conjunto de las subregiones del Iberá los valores medios del NDVI mostraron una variación de 0,489 a 0,679. En la subregión del noroeste se registraron los valores más altos de complejidad en todos los años del periodo estudiado, exceptuando el 2021, año en el que el NDVI medio más alto se dio en la subregión sur. Esta última presentó valores de NDVI promedio intermedios el 95% de los años y la subregión noreste fue la que presentó el menor valor de NDVI promedio en todos los años estudiados. Los valores promedio del NDVI variaron entre 0,489 y 0,603 en el noreste, 0,546 y 0,679 en el noroeste y 0,511 y 0,646 en el sur (Fig. 7).

Los análisis de regresión sobre la media del NDVI permitieron encontrar tendencias positivas significativas ($p < 0,05$) en las subregiones noreste y noroeste en verano, sin embargo, en invierno no se encontraron tendencias significativas ($p > 0,05$) en la media del NDVI en ninguna de las subregiones.

En las escenas del mes de enero, el desvío estándar del NDVI (heterogeneidad) varió entre 0,062 y 0,194. Verificamos el mayor desvío estándar del NDVI para la mayoría de los años estudiados (95%) en la subregión noreste, con valores entre 0,114 y 0,164. La desviación estándar varía entre 0,092 y 0,187 en el sur, y entre 0,055 y 0,1 en el noroeste, la región con menor heterogeneidad en el 100% del periodo de estudio (Fig. 8).

Para las escenas de invierno, el desvío estándar del NDVI varió entre 0,068 y 0,148. Se encontró el mayor desvío estándar del NDVI (heterogeneidad) para todos los años estudiados en la subregión noreste, variando entre 0,119 y 0,148. El desvío estándar varía entre 0,091 y 0,129 en el sur, y entre 0,068 y 0,096 en el noroeste, la región con menor desvío estándar en el todo del periodo de estudio (Fig. 8).

Se encontraron tendencias positivas significativas ($p < 0,05$) en el desvío estándar del NDVI en el noreste y el noroeste en verano, mientras que la subregión del noreste también mostró una tendencia significativa de aumento en invierno.

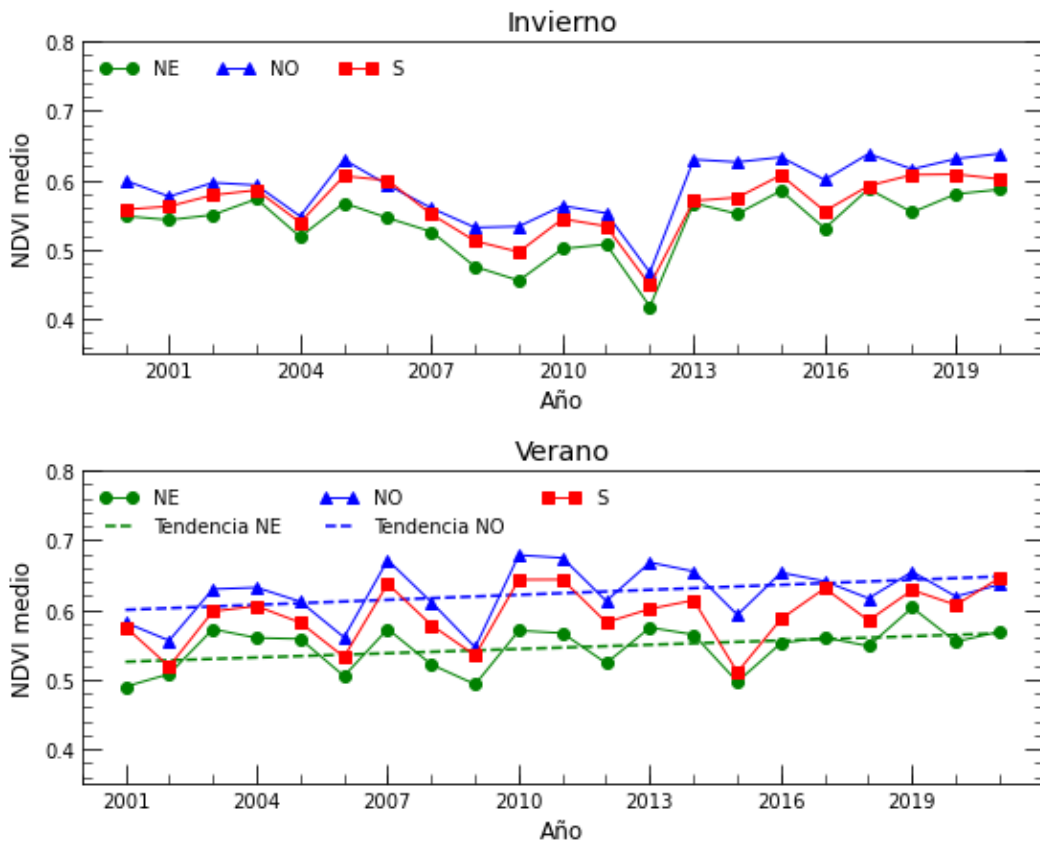


Figura 7. Series de las medias del NDVI para cada subregión, mostrando las tendencias significativas ($p < 0,05$) en verano. Las series de invierno no presentaron tendencias significativas. NE: noreste; NO: noroeste; S: sur.

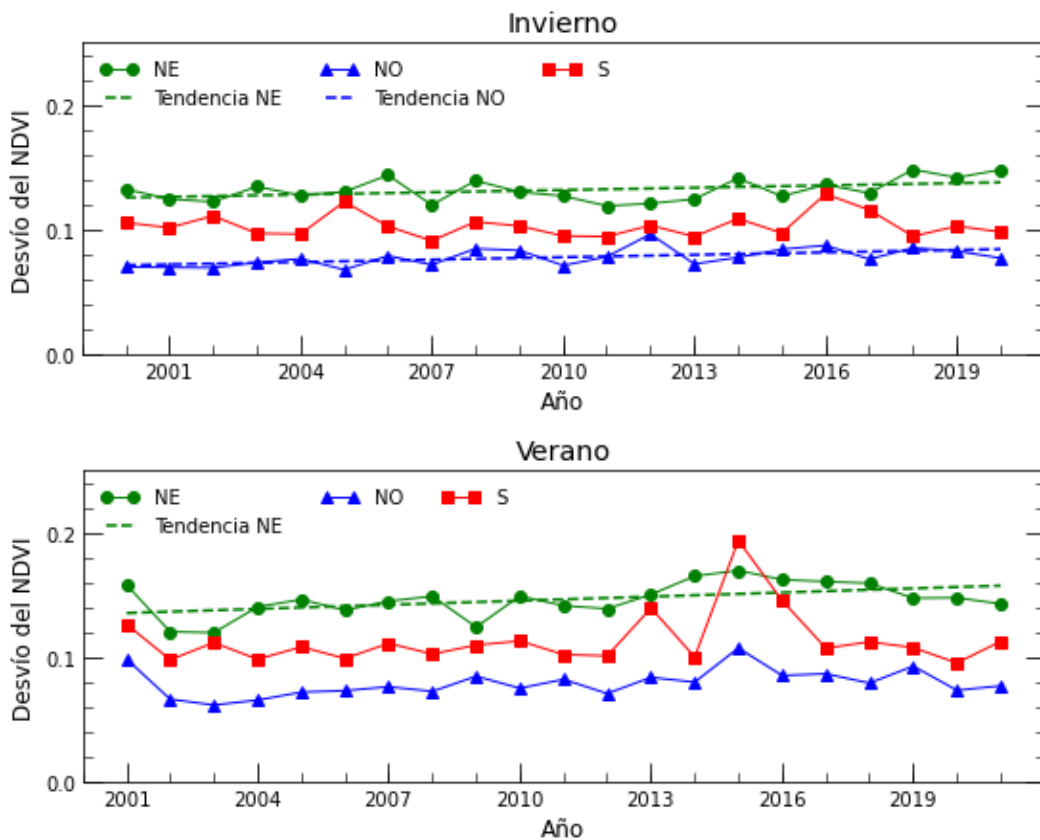


Figura 8. Series del desvío estándar del NDVI para cada subregión, mostrando las tendencias significativas ($p < 0,05$) en invierno y verano. NE: noreste; NO: noroeste; S: sur.

3.3 Relación entre el NDVI y la variación climática

Los resultados de los análisis de regresión y correlación para las series NDVI de las subregiones de Iberá en función del SPEI de 6 meses se muestran en la Figura 9 para las series de media del NDVI y en la Figura 10 para las del desvío estándar del NDVI. Tanto para la serie NDVI de verano como para las de invierno, el SPEI de 6 meses fue el que mejor explicó la variabilidad de la media del NDVI (el R^2 más alto) en todas las subregiones. Sin embargo, para el caso del desvío estándar del NDVI, no hay una sola escala del SPEI con el que se obtenga un R^2 alto en todas las subregiones.

Debido a la presencia de un registro anormal en el NDVI en enero de 2015 en la región sur, se realizó el análisis de correlación entre el SPEI-6 y las series de media y desvío estándar del NDVI con y sin dicho dato, y se observó una diferencia considerable en el R^2 cuando se incluía el registro ($R^2=0,14$) en la serie del desvío estándar y cuando se lo excluía ($R^2=0,24$), por lo tanto, se decidió aceptar como válido el análisis de correlación en la región sur sin los datos de enero de 2015.

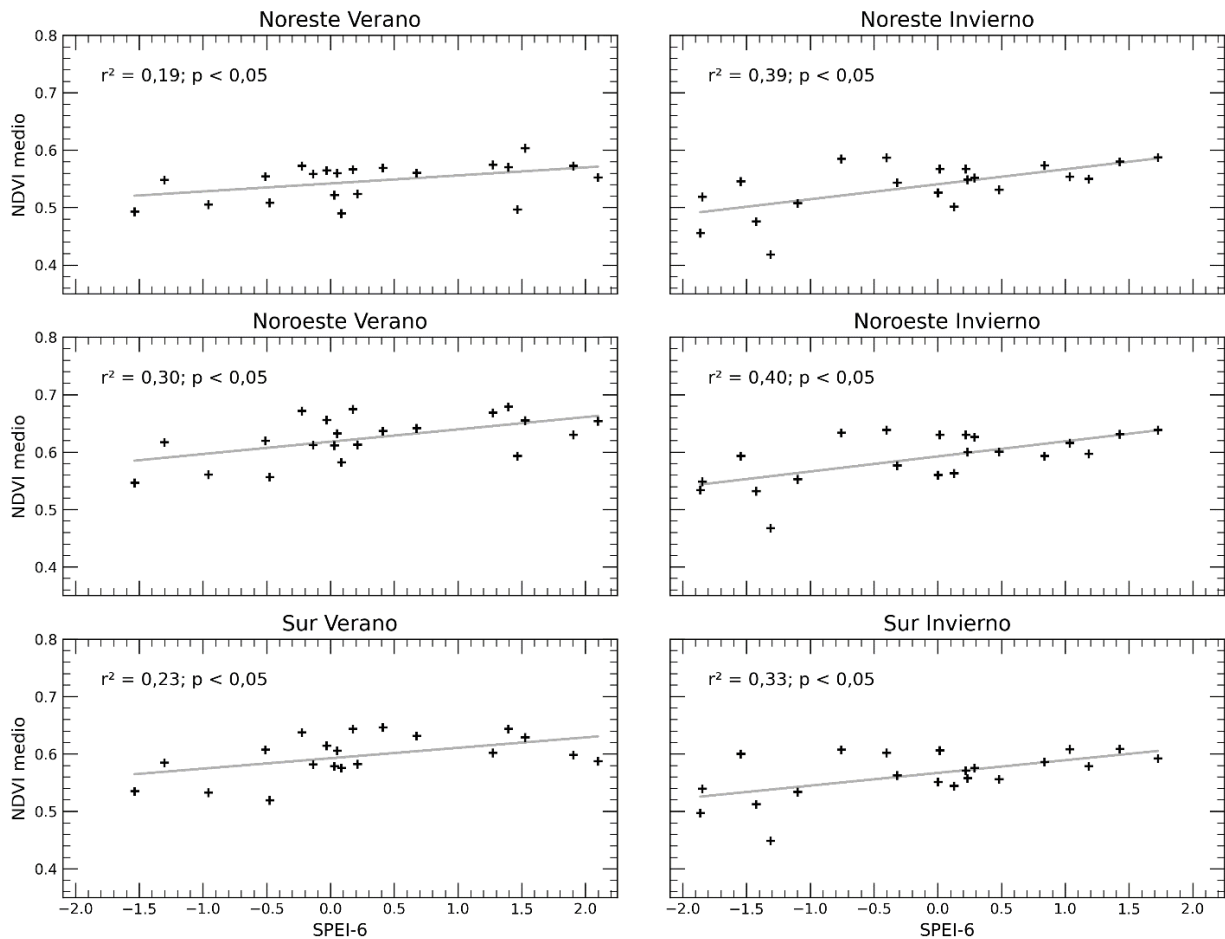


Figura 9. Relación entre el NDVI medio y el SPEI-6 para cada subregión, en verano e invierno.

3.4 Variación temporal de la morfometría de las principales lagunas

La superficie de las lagunas Luna, Disparo e Iberá, aumentó significativamente ($p < 0,05$). Sin embargo, no se encontró una tendencia significativa ($p > 0,05$) en la superficie de la laguna Galarza. Se

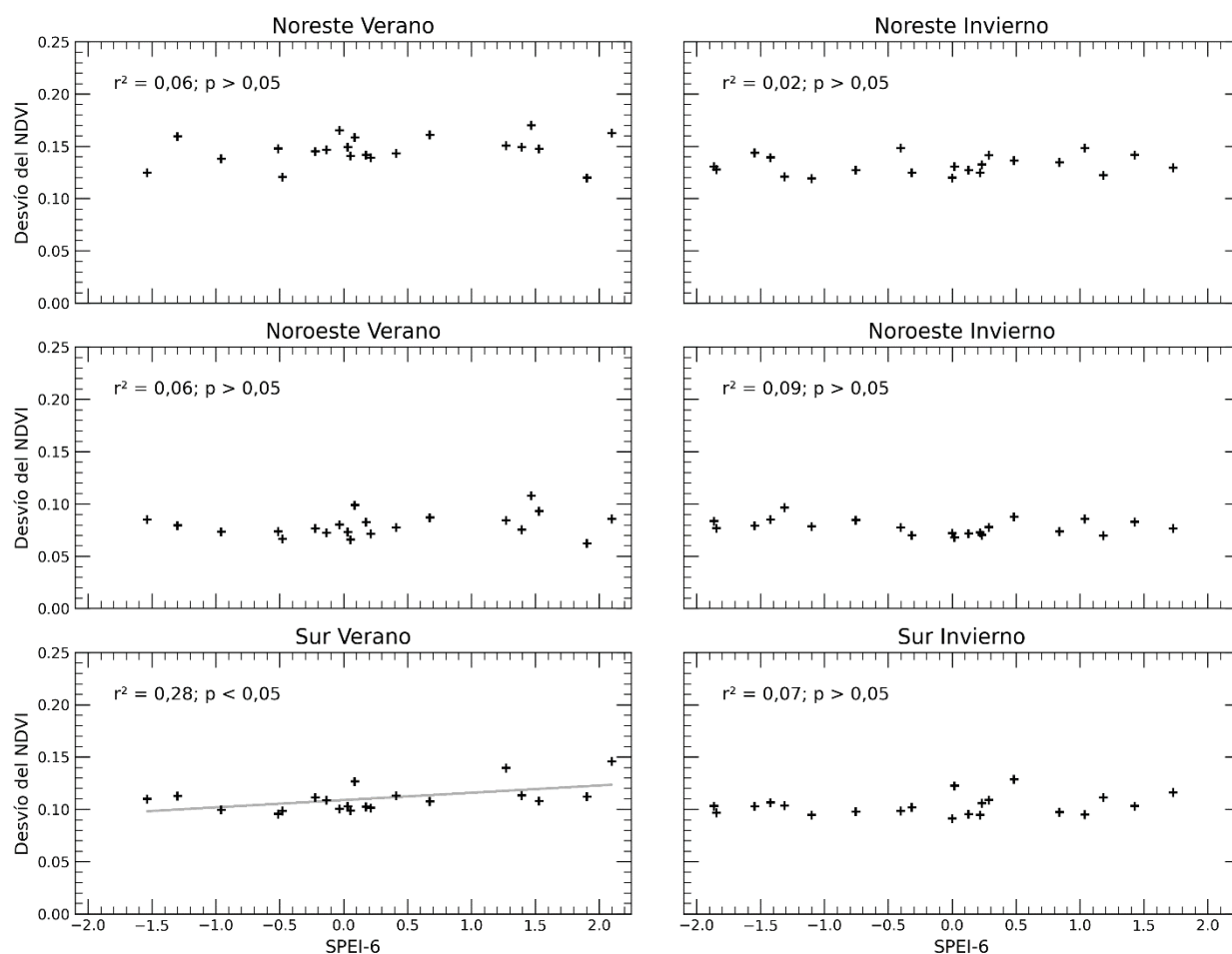


Figura 10. Relación entre el desvío estándar del NDVI y el SPEI-6 para cada subregión, en verano e invierno.

observó una tendencia significativa de disminución del perímetro en la laguna Luna y de aumento en la laguna Iberá, pero no hubo tendencias significativas en el perímetro de las lagunas Disparo y Galarza (Tabla 1).

Los resultados del cálculo del coeficiente de elasticidad de las lagunas estudiadas se presentan en la tabla 2. Las lagunas Luna, Disparo y Galarza presentaron coeficientes de elasticidad muy similares ($\cong 1,05$), siendo la que posee el mayor valor la laguna Galarza, en tanto que la laguna con la elasticidad más baja para el periodo estudiado fue Iberá ($\cong 1,03$).

4. DISCUSIÓN

4.1 Características y tendencias climáticas del Iberá

Los datos meteorológicos históricos de la EEA del INTA de Mercedes brindan una aproximación de las características climáticas del Iberá, a pesar de estar ubicada en cercanías de la ciudad. Durante los últimos años, la temperatura media mensual y la precipitación mensual exhibieron el mismo patrón, que fue alto en verano y bajo en invierno.

Combinando el cambio de la temperatura media anual y la precipitación anual registrados en la EEA del INTA Mercedes, podemos ver que el clima exhibió tendencias de calentamiento y aumento de las

Tabla 1. Tendencia (m²/año) de las variables morfométricas de las principales lagunas de Iberá. Sup.: superficie; Per.: perímetro.

	<i>Luna</i>		<i>Disparo</i>		<i>Galarza</i>		<i>Iberá</i>	
	Sup	Per	Sup	Per	Sup	Per	Sup	Per
Tendencia	86298	-193	48712	-6	-997	-1	72024	62
R²	0,21	0,22	0,83	0,04	0,00	0,00	0,72	0,25
p	0,018	0,016	2,5E-09	0,206	0,44	0,476	3,2E-07	3,2E-07

Tabla 2. Superficies máximas y mínimas (en km²) y coeficiente de elasticidad de las principales lagunas del Iberá.

	<i>Luna</i>	<i>Disparo</i>	<i>Galarza</i>	<i>Iberá</i>
Superficie máxima	90,03	20,67	16,81	58,95
Superficie mínima	85,49	19,67	15,9	57,12
Elasticidad	1,053	1,051	1,058	1,032

lluvias, las cuales se volvieron aún más marcadas durante el periodo analizado. La tendencia de la temperatura coincide con los modelos de cambio climático (Castellanos et al., 2022), que predicen un marcado aumento durante el siglo XXI. La tendencia de las precipitaciones es consistente con la predicción de los modelos analizados para el sistema Iberá, donde se espera que las precipitaciones continúen en aumento (Neiff y Neiff, 2013; Castellanos et al., 2022). Sin embargo, de acuerdo a datos del Servicio Meteorológico Nacional en 2020 y 2021, los valores de precipitaciones fueron muy inferiores a los registrados con anterioridad, alcanzando 250 mm menos que lo normal para el otoño (Skansi y de Elía, 2021).

Si bien los aumentos de temperatura tienen implicaciones importantes para los procesos de evapotranspiración, aumentando la severidad de las sequías (Beniston et al., 2007; Sheffield y Wood, 2008; Scherger et al., 2022), no se observó una tendencia en el SPEI-12 en el periodo estudiado, probablemente debido a que el efecto negativo del aumento en la evapotranspiración sobre el balance hídrico se contrarresta con el efecto positivo del aumento de las lluvias, manteniendo el balance hídrico aparentemente estable en la EEA del INTA Mercedes durante el periodo estudiado.

4.2 Análisis del NDVI en las subregiones del Iberá

Las diferencias en los valores medios del NDVI entre subregiones ponen en evidencia diferencias en la extensión de distintas unidades del paisaje (con distintos valores de NDVI). En la subregión noreste es posible observar una proporción importante de cuerpos de agua (NDVI negativo) y pastizales (NDVI bajo), mezclados con una importante cobertura de forestales (NDVI alto). Esto es consistente con el hecho de que el noreste posee el NDVI medio más bajo entre las subregiones, a la vez que el desvío estándar del NDVI más alto, reflejando una baja complejidad y alta heterogeneidad a nivel regional. En cambio, en la región noroeste, se observan pocos cuerpos de agua importantes y gran cobertura de paisajes de plantas leñosas, contribuyendo a que sea esta la región con valores de NDVI medio más altos y el desvío estándar del NDVI más bajos.

Li et al. (2020) utilizaron imágenes satelitales tomadas entre los años 2000 y 2018 en la región del Iberá y alrededores para cuantificar la tasa de cambio del NDVI anual medio y relacionar esas tendencias con el estado de la cobertura del suelo y múltiples factores antropogénicos y climáticos. Los autores encontraron que Iberá ha experimentado una tendencia general al aumento del NDVI, con alrededor del 31 % de los píxeles mostrando tendencias significativas, de los cuales un 62 % revelan un aumento del NDVI y un 38 %, una disminución del índice. Además, aproximadamente el 15% de su área de estudio (\cong 6855 km²) experimentó transiciones de cobertura terrestre en los años estudiados, con una pérdida significativa de sabanas que transitaron a pastizales, humedales y bosques.

Los resultados de los análisis de las tendencias muestran que el NDVI medio en verano ha tendido al aumento en el noreste y el noroeste del sistema Iberá, indicando un aumento en la complejidad del hábitat a nivel regional en el periodo estudiado, pero no hubo cambio significativo en la región sur. Estos resultados son consistentes con los hallados por Li et al. (2020), y reflejan además la diferencia en la evolución de la vegetación entre las subregiones de Iberá.

El trabajo de Baruzzo et al. (2020), realizado en parte sobre las regiones noroeste y sur del sistema Iberá, evidencia el incremento significativo de la superficie forestada en la provincia de Corrientes entre los años 1987 y 2018, siendo especialmente marcado en los departamentos de Ituzaingó (noreste) y Concepción (sur), donde el incremento de la superficie forestada fue del 1,8 al 7,6 % y del 6,2 al 15,1 %, respectivamente.

El desvío estándar del NDVI en verano presentó una tendencia al aumento en la región noreste, la cual refleja una creciente heterogeneidad del paisaje que la compone. En cambio, en la misma estación no se encontraron tendencias significativas en las regiones noroeste y sur, es decir que la heterogeneidad se mantuvo relativamente estable en el periodo estudiado.

Los análisis de los datos NDVI permiten ver similitudes en los patrones respecto al verano: la región noroeste posee los valores más altos de NDVI medio en ambas estaciones, seguida por la región sur, mientras que la región noreste muestra los mayores valores en el desvío estándar del NDVI en ambas estaciones, seguida por la región sur. Sin embargo, las diferencias entre las estaciones se pueden encontrar analizando las tendencias de estas medidas. En invierno, época de menor desarrollo de la vegetación, la complejidad del ambiente (NDVI medio) no presentó tendencias significativas, mientras que si se obtuvieron tendencias positivas significativas en la heterogeneidad (desvío estándar del NDVI) en las regiones noreste y noroeste.

Otra característica que se desprende del análisis de los datos es la dinámica muy similar entre las subregiones, tanto en complejidad como en heterogeneidad, ya que en distintos escenarios (lluviosos y secos), las tres subregiones presentan un patrón de cambio interanual similar.

4.3 Relación entre el NDVI y la variación climática

Los resultados de los análisis de regresión y correlación muestran una relación positiva significativa entre el SPEI de 6 meses y la media del NDVI en verano e invierno en cada subregión del Iberá. Por lo tanto, una parte importante de la variabilidad observada en la media del NDVI puede ser explicada por el efecto de las condiciones ambientales (balance hídrico) durante los 6 meses previos.

En verano, no se encontró relación significativa entre el SPEI de 6 meses y el desvío estándar del NDVI en el noreste y el noreste. Tampoco se encontró relación significativa entre el SPEI de 6 meses y el desvío estándar del NDVI en invierno en ninguna subregión. Sin embargo, si se relaciona positiva y

significativamente con el desvío estándar del NDVI de la subregión sur en verano, indicando que la heterogeneidad fue mayor cuando el SPEI-6 resultaba en valores altos. Este fenómeno podría deberse a la lámina de agua que escurre por la región sur, principalmente hacia la planicie fluvial del río Corriente, y que, en épocas lluviosas, recibe aportes de las subregiones noreste y noroeste (Neiff y Neiff, 2013), y se observaría las escenas NDVI como grandes extensiones con valores negativos o cercanos a cero, aumentando el desvío estándar.

El valor relativamente alto en el desvío estándar del NDVI en las 3 subregiones en enero del 2015 se debe principalmente a las abundantes precipitaciones durante los tres meses previos a la captura de la imagen NDVI. En la EEA del INTA fueron registrados 1149,9 mm en el periodo octubre - diciembre del 2014, mientras que la media histórica para ese mismo trimestre es de 451,3 mm, lo que representa aproximadamente 2,5 veces más precipitaciones para tal periodo en el año 2014. El exceso de agua superficial en la escena provocó el viraje de una importante proporción de píxeles desde valores positivos de NDVI a valores negativos, disminuyendo la media y aumentando el desvío estándar. La gran diferencia que se observa respecto a este aumento en el desvío estándar del NDVI en la región sur con respecto a las otras subregiones se debe, por un lado, a que es la región más cercana a la estación meteorológica y, por lo tanto, la que mejor reflejaría las condiciones meteorológicas allí registradas y, por otro lado, como se mencionó anteriormente, a que es la subregión por donde escurre el agua de las demás subregiones del Iberá.

En el periodo estudiado, la heterogeneidad del paisaje en el macrosistema Iberá no se relacionó significativamente con el balance hídrico, por lo tanto, su variabilidad podría haber sido influenciada por otros factores que no han sido contemplados en este trabajo, como los incendios, las actividades productivas o la dinámica natural de las unidades del paisaje (Chapin et al., 2011).

4.4 Variación temporal de la morfometría de las principales lagunas

La tendencia significativa de aumento en la superficie de las lagunas Luna, Disparo e Iberá se corresponde con la tendencia al aumento de las precipitaciones anuales, mientras que la superficie de la laguna Galarza no presentó tendencia significativa en el periodo estudiado.

La laguna Luna mostró una tendencia significativa a la disminución de su perímetro en el periodo estudiado. Durante la medición de esta variable se pudo observar la complejidad y la gran variación interanual de los límites entre el espejo de agua libre y las islas de vegetación flotante que conforman los bordes. De acuerdo a Neiff y Neiff (2013), cuando las lagunas alcanzan el nivel de saturación, los embalsados que bordean las lagunas se despegan y comienzan a flotar. En general, se observó que los años en que la superficie de agua libre era mayor, los límites entre el agua y la vegetación eran más simples (menor perímetro) que los años donde la superficie era menor y los embalsados delimitaban bordes muy irregulares (mayor perímetro), especialmente en el límite sur de la laguna. Este fenómeno se observó en menor medida en la laguna Iberá, y estuvo restringido a las zonas conectadas a canales, en tanto que las lagunas Disparo y Galarza prácticamente no mostraron cambios en la forma de sus bordes.

La variabilidad en la morfometría de las principales lagunas del Iberá depende en gran medida del nivel del agua, como así también de la vegetación de sus bordes, particularmente aquella que forma parte de embalsados.

La elasticidad de las lagunas estudiadas fue baja (entre 1,03 y 1,05), mucho menor incluso que lo calculado por Neiff (2004) para el sector occidental del Iberá (1,54). Los valores de este cociente indican

que en las lagunas estudiadas existe una baja variabilidad entre eventos de anegamiento y sequía, posiblemente debido a la capacidad de estos humedales y los esteros que los rodean de almacenar agua durante periodos húmedos y liberarla lentamente en periodos secos (Neiff, 2004).

5. CONCLUSIONES

Los registros de temperatura y precipitaciones en la EEA del INTA de Mercedes, cercano a la región del Iberá, mostraron tendencias históricas de calentamiento y aumento de lluvias. Sin embargo, debido a que estos parámetros pueden verse influenciados por el fenómeno de la isla urbana de calor, sería necesario una futura validación de los resultados, cuando se disponga de información de temperaturas y de lluvias en estaciones que, por encontrarse dentro de los Esteros, reflejen mayor representatividad respecto del microclima local.

A pesar de esto, los modelos de cambio climático son consistentes con estas tendencias, por lo tanto, el resulta importante el monitoreo del clima en el sistema Iberá, como así también de sus unidades de paisaje y cuerpos de agua.

El NDVI resulta un buen indicador de los atributos de la vegetación, por lo tanto, comprender su relación con las variables ambientales permitiría predecir cambios en el sistema Iberá bajo diferentes escenarios climáticos. En este trabajo se hallaron tendencias de aumento en la media del NDVI en el noreste y noroeste en verano y el desvío estándar del NDVI en el noreste y noroeste en invierno y en el noreste el verano. Para complementar la información que aporta el índice, se sugiere que la investigación futura considere mediciones de campo sobre la composición, estructura y cobertura de la vegetación en las distintas unidades de paisaje.

Las distintas escalas del SPEI calculadas arrojan información diferencial, por lo cual resulta importante tener en cuenta la relevancia de cada escala según el objeto de estudio. En el caso de este trabajo, la escala de 6 meses fue la que mejor explicó la variabilidad de la media del NDVI, indicando entonces que el SPEI de 6 meses es una herramienta importante para monitorear la complejidad ambiental. Por el contrario, ninguna escala del SPEI mostró una clara relación con la heterogeneidad del paisaje a través del desvío estándar del NDVI. Un futuro estudio debería evaluar la influencia de otros fenómenos que influyen en la dinámica de la heterogeneidad ambiental.

La morfometría de las lagunas y su variabilidad arrojan luz sobre los procesos que ocurren en estos humedales. Los cambios en el tiempo que se observaron en las lagunas estudiadas dependen no solo de las precipitaciones, sino también del desarrollo y distribución de los embalsados y del flujo del agua entre las lagunas y los esteros a sus alrededores.

Conocer la variabilidad temporal de este humedal es clave para apoyar futuras evaluaciones de la respuesta del ecosistema al cambio global. En este sentido, los resultados de este trabajo aportan conocimientos sobre la dinámica de dos factores importantes para el monitoreo del paisaje, como son la complejidad y la heterogeneidad, y su relación con el balance hídrico, en el sistema del Iberá.

BIBLIOGRAFÍA

- Abramopoulos, F., C. Rosenzweig y B. Choudhury. 1988. Improved ground hydrology calculations for global climate models (GCMs): Soil water movement and evapotranspiration. *Journal of Climate*: 1, 921–941.
- Adam, E., O. Mutanga y D. Rugege. 2010. Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: A review. *Wetlands Ecology and Management*: 18, 281–296.
- Arbo, M.M. y S.G. Tressens (eds.). 2002. Flora del Iberá. EUDENE, Corrientes, p. 613.
- Beniston, M., D.B. Stephenson, O.B. Christensen, C.A.T. Ferro, C. Frei, S. Goyette, K. Halsnaes, T. Holt, K. Jylhä, B. Koffi, J. Palutikof, R. Schöll, T. Semmler y K. Woth. 2007. Future extreme events in European climate: An exploration of regional climate model projections. *Climatic Change*: 81(1), 71–95.
- Camilloni, I. y M. Barrucand. 2012. Temporal variability of the Buenos Aires, Argentina, urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology*: 107, 47–58.
- Carnevali, R. 1994. Fitogeografía de la Provincia de Corrientes. INTA, Corrientes, p. 324.
- Carnevali, R. 2003. El Iberá y su Entorno Fitogeográfico. EUDENE, Corrientes.
- Carnevali, R. y R.P. Carnevali. 2008. Diversidad vegetal del macrosistema Iberá. p. 163-175. En Casco, S.L. (comp.) I. Basterra y J.J. Neiff (dir.). Manual de biodiversidad de Chaco, Corrientes y Formosa. EUDENE, Corrientes.
- Chapin, F.S., P.A. Matson y P.M. Vitousek. 2011. Landscape Heterogeneity and Ecosystem Dynamics. p. 369–397. En: Chapin, F.S., P.A. Matson y P.M. Vitousek. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer, New York.
- Baruzzo, M., M. Smichowski, S. Martínez y F.I. Contreras. 2020. Plantaciones Forestales: crecimiento y expansión de la actividad forestal en las Lomas Arenosas en Corrientes, Argentina. *Investigaciones y ensayos geográficos*: 17, 71-82.
- Bradley, R.S. 2000a. Past global changes and their significance for the future. *Quaternary Science Reviews*: 19, 391–402.
- Bradley, R.S. 2000b. 1000 years of climate change. *Science*: 288, 1353-1355.
- Boyd, D.S. y G.M. Foody. 2011. An overview of recent remote sensing and GIS based research in ecological informatics. *Ecological Informatics*: 6, 25-36.
- Canziani, G., C. Rossi, S. Loiselle, y R. Ferrati. 2003. Los Esteros del Iberá. Informe del Proyecto El Manejo sustentable de Humedales del Mercosur. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, p. 258.
- Castellanos, E., M.F. Lemos, L. Astigarraga, N. Chacón, N. Cuvi, C. Huggel, L. Miranda, M. Moncassim Vale, J.P. Ometto, P.L. Peri, J.C. Postigo, L. Ramajo, L. Roco, y M. Rusticucci. 2022. Central and South America. p. 1689–1816. En: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge y New York.
- Contreras, F.I., J.C. Meza, N. Scipioni, D.R. Hernández y F.J. Ruiz Díaz. 2017. Cambios morfológicos de lagunas aluviales del río Paraná y su incidencia en la diversidad íctica. *Revista veterinaria*: 28(1), 51-55.

- Corrêa, C.C., M. Pimenta, S.L. Dutra y P. Marco-Júnior. 2011. Utilização do NDVI na avaliação da resposta de besouros herbívoros à complexidade e heterogeneidade ambiental em diferentes escalas no Bioma cerrado. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 30 abril - 05 mayo, Curitiba. INPE, 3103-3110.
- Cózar A., C.M. García, J.A. Gálvez, S.A. Loiselle, L. Bracchini y A. Cagnetta. 2005. Remote sensing imagery analysis of the lacustrine system of Ibera wetland (Argentina). *Ecological Modelling*: 186, 29–41.
- Cózar Cabañas, A. et al. 2009. Impacto de las variaciones del nivel de agua sobre la biodiversidad de los humedales del Iberá (Argentina)". Informe Proyecto Iberaqua. FBBVA. 227 p.
- Deering, D.W., J.W. Rouse, R.H. Haas y J.A. Schell. 1975. Measuring forage production of grazing units from Landsat MSS data. *Proceedings of the 10th International Symposium on Remote Sensing of Environment*; Universidad de Michigan: Ann Arbor, USA; 1169–1178.
- Deering, D.W. 1978. Rangeland Reflectance Characteristics Measured by Aircraft and Spacecraft Sensors. Ph.D. Universidad Texas A&M, College Station, USA.
- Didan, K., A. Barreto Munoz, R. Solano y A. Huete. 2015. MODIS Vegetation Index User's Guide (MOD13 Series). University of Arizona. 32 p.
- Ferrati, R., G. Canziani y D. Ruiz Moreno. 2003. Caracterización hidrometeorológica e hidrológica del Sistema Iberá. p. 83-101. En: Canziani, G., C. Rossi y S. Loiselley Ferrati (eds.). *El Manejo sustentable de Humedales del Mercosur*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires.
- Fontana, J.L. 2010. Plantas del Iberá. Una guía para su reconocimiento. Ed. del autor, Corrientes, p. 98.
- Forkel, M., N. Carvalhais, J. Verbesselt, M.D. Mahecha, C.S.R. Neigh y M. Reichstein. 2013. Trend change detection in NDVI time series: Effects of inter-annual; variability and methodology. *Remote Sensing*: 5, 2113–2144.
- Fornerón, C.F., M.C. Piccolo y M.E. Carbone. 2010. Análisis morfométrico de la laguna Sauce Grande (Argentina). *Huellas*: 14(23), 11-30.
- Frich, P., L.V. Alexander, D. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock, A.M.G. Klein Tank y T. Peterson. 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*: 2002, 19, 193–212.
- Huang, J., S. Wang, L. Yan, Q. Zhong. 2010. Plant photosynthesis and its influence on removal efficiencies in constructed wetlands. *Ecological Engineering*: 36, 1037–1043.
- Huete, A., K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguez, X. Gao y L.G. Ferreira. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*: 83, 195-213.
- Jones, P.D. y A. Moberg. 2003. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *J. Climate*: 16, 206–223.
- Li W., R. Buitenwerf, R. Nicora Chequín, J.E. Florentín, R.M. Salas, J.C. Mata, L. Wang, Z. Niu y J.C. Svenning, 2020. Complex causes and consequences of rangeland greening in South America – multiple interacting natural and anthropogenic drivers and simultaneous ecosystem degradation and recovery trends. *Geography and Sustainability*: 1, 304-316.
- Liu, W.T.H. 2006. Aplicações de Sensoriamento Remoto. UNIDERP, Campo Grande, p. 908.
- Liu, Y., Y. Li, S. Li y S. Motesharrei. 2015. Spatial and temporal patterns of global NDVI trends: Correlations with climate and human factors. *Remote Sensing*: 7, 13233–13250.

- Luterbacher, J.; D. Dietrich, A.E. Xoplaki, M. Grosjean y H. Wanner. 2004. European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. *Science*: 303, 1499–1503.
- Mavromatis, T. 2007. Drought index evaluation for assessing future wheat production in Greece. *International Journal of Climatology*: 27, 911–924.
- Metzger, J.P. 2001. O que é ecologia de paisagens? *Biota Neotropica*: 1, 1-9.
- Miranda, C.S., R.M. Gamarra, C.L. Mito, N.M. Silva, A.P. Conceição Filho y A. Pott. 2018. Analysis of the landscape complexity and heterogeneity of the Pantanal wetland. *Brazilian Journal of Biology*: 78, 318-327.
- Montoya-Moreno, Y. 2005. Caracterización morfométrica básica de tres lagos someros en el municipio de El Carmen de Viboral (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas*: 27, 79-86.
- Mutanga, O., E. Adam, M.A. Cho. 2012. High density biomass estimation for wetland vegetation using WorldView-2 imagery and random forest regression algorithm. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*: 18, 399–406.
- Navarro Rau, M.F., D. Kurtz, E. Diaz Falu y M. Giese. 2012. Evaluating Spatio-temporal Relationships between Climate Variables and NDVI in Humid Grasslands of Northeastern Argentina. *Tropentag*, 19 – 21 de septiembre, Göttingen - Kassel/Witzenhausen.
- Neiff, J.J., M.H. Iriondo y R. Carignan. 1994. Large tropical South American wetlands: an overview. p. 156-165. En: Link, G.L. y R.J. Naiman (comps.). *Proceedings of the international workshop on the ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones*. Seattle: Unesco, MAB, IHP, Center for Streamside Studies-University of Washington.
- Neiff, J.J. 1999. El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica. p. 97-146. En: Malvárez, A.I. y P. Kandaus (eds.). *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica*. Universidad de Buenos Aires/UNESCO, Montevideo.
- Neiff, J.J. 2001. Diversity in some tropical wetland systems of South America. p. 157-186. En: Gopal, D., W. Junk, y J. Davis (eds.). *Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation*. Backhuys Publishers.
- Neiff, J.J. 2004. El Iberá... en peligro? *Fundación Vida Silvestre Argentina*, Buenos Aires, p. 136.
- Neiff, J. y A. Poi de Neiff. 2006. Situación ambiental en la ecorregión Iberá. p. 177–184. En: Brown, A., U. Martínez Ortiz, M. Acerbi y J. Corcuera. *La situación ambiental Argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, p. 582.
- Neiff, J.J. y M. Neiff. 2013. Evaluación de los impactos del cambio climático sobre el ecosistema natural y la biodiversidad. *Esteros del Iberá (Argentina)*. CEPAL, Santiago de Chile, p. 59.
- Neiff, J.J. y S.L. Casco. 2017. Lluvias y sequías: los cambios históricos de la vegetación. p. 41-72. En: Poi, A.S.G. (comp.). *Biodiversidad en las aguas del Iberá*. EUDENE, Corrientes, p. 132.
- O’Gorman, P.A. y A. Schneider. 2009. The physical basis for increases in precipitation extremes in simulations of 21st-century climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*: 106, 14773–14777.
- Oke, T.R. 1973. City Size and the Urban Heat Island. *Atmospheric Environment*: 7, 769-779
- Orfeo, O. y J.J. Neiff. 2008. Esteros del Iberá. Un enorme laboratorio a cielo abierto. p. 415-425 En: CSIGA (ed.). *Sitios de Interés Geológico de la República Argentina*. Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires, p. 446.

- Owino, A.O. y P.G. Ryan. 2007. Recent papyrus swamp habitat loss and conservation implications in western Kenya. *Wetlands Ecology and Management*: 15, 1–12.
- Pan, F., J. Xie, J. Lin, T. Zhao, Y. Ji, Q. Hu, X. Pan, C. Wang y X. Xi. 2018. Evaluation of climate change impacts on wetland vegetation in the Dunhuang Yangguan National Nature Reserve in northwest China using landsat derived NDVI. *Remote Sensing*: 10, 1-18.
- Paruelo, J.M. y W.K. Lauenroth. 1998. Interannual variability of NDVI and its relationship to climate for North American shrublands and grasslands. *Journal of Biogeography*: 25, 721–733.
- Pettorelli, N., J.O. Vik, A. Mysterud, J. Gaillard, C.J. Tucker y N.C. Stenseth. 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution*: 20, 503–510.
- Poi, A.S.G. (comp.). 2017. Biodiversidad en las aguas del Iberá. EUDENE, Corrientes, p. 132.
- Prabakaran, C., C.P. Singh, S. Panigrahy y J.S. Parihar. 2013. Retrieval of forest phenological parameters from remote sensing-based NDVI time-series data. *Current Science*, 105: 795-802.
- Python Software Foundation. 2022. Python Language Reference, version 3.8.5. <https://www.python.org>
- QGIS.org. 2022. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <https://www.qgis.org>
- Quirós, R. 2004. Sobre la Morfología de las Lagunas Pampeanas. Serie de Documentos de Trabajo del Área de Sistemas de Producción Acuática. Departamento de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Documento Nº 3, p. 16.
- Rocchini, D., J.L. Hernández-Stefanoni y K.S. He. 2015. Advancing species diversity estimate by remotely sensed proxies: a conceptual review. *Ecological Informatics*, 25: 22-28.
- Root, R.B. 1973. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecological Monographs*, 43: 95-124.
- Scherger, L.E., J. Valdes-Abellan, V. Zanello y C. Lexow. 2022. Projecting Climate Change Effect on Soil Water Fluxes and Urea Fertilizer Fate in the Semiarid Pampas of Argentina. *Earth Systems and Environment*.
- Skansi, M. de M. y R. de Elía. 2021. Reporte Preliminar Estado del Clima en Argentina 2021. Servicio Meteorológico Nacional. p. 37.
- Sheffield, J. y E.F. Wood. 2008. Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations. *Climate Dynamics*: 31, 79–105.
- Silva, T.S., M.P. Costa; J.M. Melack y E.M. Novo. 2008. Remote sensing of aquatic vegetation: Theory and applications. *Environmental Monitoring and Assessment*: 140, 131–145.
- Snoussi, M., S. Haïda y S. Imassi. 2002. Effects of the construction of dams on the water and sediment fluxes of the Moulouya and the Sebou Rivers, Morocco. *Regional Environmental Change*: 3, 5–12.
- Svoboda, M.D. y B.A. Fuchs. 2016. Handbook of drought indicators and indices. World Meteorological Organization, Geneva, p 45.
- Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*: 38, 55–94.
- Trenberth, K.E. 2011. Attribution of climate variations and trends to human influences and natural variability. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*: 2, 925–930.
- Triantis, K.A., M. Mylonas, K. Lika y K. Vardinoyannis. 2003. “A model for species-area-habitat relationship”. *Journal of Biogeography*: 30, 19-27.

- Vicente-Serrano, S.M., S. Beguería y J.I. López-Moreno. 2010. A multiscale drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*: 23(7), 1696–1718.
- Wafa, T.A. y A.H. Labib. 1973. Seepage Losses from Lake Nasser. p. 287-291. En: *Man-Made Lakes: Their Problems and Environmental Effects*. Vol. 17. American Geophysical Union, p. 847.
- Walther, G.R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T.J. Beebee, J.M. Fromentin, O. Hoegh-Guldberg y F. Bairlein. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*: 416, 389–395.
- Wentz, F.J., L. Ricciardulli, K. Hilburn y C. Mears. 2007. How much more rain will global warming bring? *Science*: 317, 233–235.
- Willis, K.J. y R.J. Whittaker. 2002. "Species diversity-scale matters". *Science*: 295, 1245-1248.

ANEXO

Tabla 1. Datos de temperatura media mensual de la EEA del INTA Mercedes.

I.N.T.A. - E.E.A. MERCEDES - CORRIENTES - ARGENTINA INFORME AGROMETEOROLÓGICO - TEMPERATURA MEDIA MENSUAL												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
1962	26.8	25.6	24.6	19.4	15.2	14.4	10.3	14.6	18.1	18.9	24.9	27.4
1963	27.3	26.1	25.2	21.3	18.2	15.4	16.7	16.4	18.6	20.4	21.9	24.3
1964	26.4	26.1	22.8	20	19.2	12.2	12.6	15.1	17.9	19.1	22	23.9
1965	26.9	27.4	22.8	20.2	16.9	18.5	13.6	16	16	20	22.6	23.9
1966	25.5	23.5	22.8	22	19	16	14.7	13.8	15.5	19.4	23.9	23.4
1967	24.3	24.9	21.6	19.4	20.3	10.9	14.4	15.9	17.5	20.9	21.6	26.6
1968	26.1	24.8	23.9	16.1	14.2	14.3	15.7	15.4	15.8	20	24.2	24.8
1969	24.1	24.5	22.4	19.3	17.2	13.5	15	12.6	17.3	18.7	22.2	25.5
1970	25.2	25.4	23.8	22	17.1	12.2	12	13.5	17.4	18.8	20.5	25
1971	25.5	23.9	22.8	18.1	15.1	9.9	15.2	14.7	18.9	19.5	23.6	26.8
1972	26	26	23.5	19.2	19.4	18.1	13.1	14.4	18.1	17.9	20.8	24.2
1973	26.4	25.2	24.1	20.8	16.5	15.2	13.3	13.5	15.7	19.5	21	23.7
1974	26.4	24.3	23.6	20.8	18.7	13	16.8	15	16.2	19.2	21.3	23.1
1975	25.1	25	23.2	20.2	17.6	16.1	12.4	14.9	16.7	19	21.1	24.9
1976	26.5	24.8	21.7	18.8	15.9	13.1	14	14.6	16.3	19.8	22.4	24.3
1977	25.9	25.9	24.8	19.9	16	15	16.4	14.8	18.7	20.7	21.8	24.8
1978	25.8	24.2	24.3	18.9	16.3	14.5	15.7	13.9	18.2	20.4	21.8	24.9
1979	27.5	25.9	21.9	18.6	14.9	13.3	15	17.5	15.6	20.5	21.1	24.7
1980	26.7	26.1	26.5	23.2	19.7	14.1	13.1	15.5	15.2	19.6	21.7	25
1981	25.4	25.3	22.2	19.8	20.1	12.3	13.8	17	15.8	18.9	22.6	24.4
1982	25.4	23.7	23.6	20.8	17.1	14.4	15.1	16.5	18.9	19.2	21.1	24.7
1983	26.7	24.9	22.1	19.3	16.2	10.7	11.3	14.5	15.3	20.6	22	27.5
1984	27	25.8	23.3	18.2	18.1	11.8	13.5	12.4	15.8	21.5	21.8	23.3
1985	27.1	24.8	22.8	19.3	17.7	14.7	13.4	14.3	16.5	20.5	25.1	27.2
1986	28	25.2	22.1	20.5	16.7	17.3	14.6	15.9	17.4	19.6	22.5	24.6
1987	25.9	24.8	24.1	19.8	12.9	13.1	16.4	14	15	19.9	22.7	24
1988	25.7	24.3	26.6	18.5	12.4	11.4	11.8	15.3	15.9	18.6	22.7	26.2
1989	27.3	26.9	22.9	19.6	15.7	13.5	11.7	15.8	14.9	19.3	22	25.8
1990	26.1	24.6	22.9	20.3	15.1	11.2	10.9	16.3	15	21.3	23.4	25.6
1991	25.4	25	25.9	20.5	18.9	13.2	10.7	14.8	20.1	20.8	22.6	25.6
1992	25.9	25.2	23	19.2	16.7	16.5	9.9	15.5	17.4	19.6	21.5	25
1993	25.1	25.3	23.5	20.5	15.4	15.2	12.2	15	16.7	20.5	23.6	25.3
1994	24.6	22.9	22.2	19.8	19.1	16.9	16	14.8	19.1	20.5	22.3	27
1995	25.8	23.8	23.2	19	15.9	14.4	15.2	15.1	17.7	18.9	23.7	26
1996	27.5	24.1	22.8	20.7	17.1	11.5	11.1	16.8	16.5	19.4	21.6	23.5
1997	26	23.5	21.6	19.7	17.3	14.4	16.9	17.4	18.6	20.4	22.4	24.2
1998	24.5	23.5	21.6	18.4	16.1	13.6	14.8	14.3	15.2	19.3	21.4	23.6

1999	23.4	21.1	22.2	17.5	13.6	9.8	14.1	12.9	18.6	21.3	22.4	25.6
2000	26.4	25.6	22.3	21.3	16.6	14.8	10.2	15.6	17	21.3	21.6	24.8
2001	25.6	27.2	25.8	21.3	15.7	15.8	14.8	19.8	17.3	19.6	23.0	25.1
2002	25.7	24.7	24.8	19.7	17.9	12.3	12.6	15.9	16.4	20.9	21.5	22.8
2003	25.8	25.5	22.7	20.0	16.9	17.6	13.7	13.7	18.0	21.7	22.4	22.4
2004	26.9	25.1	25.2	22.6	14.4	16.3	15.0	15.0	20.1	20.2	21.7	25.9
2005	26.9	24.6	23.3	18.2	16.9	17.2	13.4	15.8	14.5	18.4	22.5	24.0
2006	27.5	25.5	25.1	20.5	15.2	15.8	17.2	14.9	15.9	21.8	21.9	25.1
2007	26.7	25.4	23.6	22.5	14.6	13.9	12.1	12.7	19.0	20.1	22.6	25.6
2008	26.9	25.2	24.2	21.0	16.7	12.2	18.0	15.7	15.8	19.4	25.0	27.2
2009	26.9	26.9	25.3	23.6	18.4	11.7	11.9	16.4	15.8	20.4	24.4	25.7
2010	26.4	26.1	25.4	21.5	15.9	14.4	12.5	13.7	17.6	19.1	24.1	26.0
2011	27.4	25.8	25.1	21.2	16.5	12.8	13.7	15.7	18.8	17.9	21.7	23.4
2012	28.6	28.0	25.6	21.6	18.8	15.8	12.3	17.9	19.8	20.5	23.5	25.2
2013	24.5	26.0	24.0	22.5	18.5	16.5	16.3	15.1	19.6	22.4	23.4	27.8
2014	29.5	27.0	21.8	20.1	17.6	14.6	14.5	17.3	18.4	23.1	23.1	25.3
2015	27.2	27.9	26.7	23.3	20.1	18.7	16.2	21.2	20.6	21.0	22.0	26.3
2016	28.6	28.4	24.2	23.7	15.7	13.5	16.1	18.6	18.0	21.2	23.5	27.9
2017	29.2	28.4	24.6	20.6	18.4	15.9	18.1	17.7	19.9	21.3	23.5	28.5
2018	28.1	26.2	24.0	24.9	18.5	12.4	12.7	14.1	19.6	20.4	22.9	25.1
2019	25.7	25.6	22.4	20.1	16.6	16.3	12.3	15.1	16.2	20.2	23.1	24.0
2020	25.3	23.4	24.8	18.9	15.6	15.6	12.3	16.5	16.6	21.3	22.1	23.4

Tabla 2. Datos de precipitación mensual de la EEA del INTA Mercedes.

I.N.T.A. - E.E.A. MERCEDES - CORRIENTES - ARGENTINA INFORME AGROMETEOROLÓGICO - PRECIPITACIÓN MENSUAL												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
1951	54	125.3	27.7	23.3	59.3	163.3	0	84.4	108.8	155.3	152.2	107
1952	10.9	11	162.5	16.5	78.6	29.3	108.3	61	107.2	62.7	47.8	62
1953	191.6	33.8	97.4	123	95	145.6	0	11.7	205.4	160.4	98.1	74.9
1954	157	111.3	112.5	136.4	45.2	180	51.6	18	9.1	225.5	32.2	189.5
1955	126	112.1	174.1	137.4	86.2	62.9	11.9	9	8.4	80.3	25.5	55.6
1956	188.1	136.8	138.5	116.8	12.7	17.3	62.8	83.4	40	84.2	26	72
1957	60.7	60.6	36.1	69.4	141.9	140	6.3	37.2	99.5	201.7	64.7	262.9
1958	56.7	276.1	97.7	176.5	34.1	131	26.3	31.6	47.2	70.8	179.1	190
1959	179.5	205.2	241	195.1	120.7	48	38.3	43.5	41.8	272.3	111.1	308.2
1960	80.2	23	59.5	101.6	31.6	106.8	101.8	68.5	150.2	254.5	42.1	38.5
1961	52.5	212.3	151.1	120	252.7	99	17.9	17.9	38.1	192	60.5	43.4
1962	53	56	270	107	67	9	66	70	56	65	87	34
1963	157	89	109	94	62	21	60	23	176	109	119	183
1964	77	81	272	127	9	26	3	77	55	58	144	157
1965	58	91	56	246	42	112	15	96	120	370	159	228
1966	219	180	268	177	81	25	143	21	104	118	187	175
1967	130	69	39	47	149	35	77	112	127	232	55	51
1968	117.3	105.8	442.8	113.8	41.1	47.1	37	73.8	116.6	306.1	101	376.1
1969	48.3	474.4	86.6	59.5	109	63.8	50.6	46.5	79.1	109.1	135.8	37.4
1970	292.2	73.1	173.5	23.6	93.9	23.6	94.4	54.8	210.1	72.2	24	173.1
1971	247.4	299.7	65.3	136.8	49.8	26.6	66.8	102.9	56.6	46.5	50.2	50.2
1972	113.6	38.5	165.2	205.3	219.4	109.3	115.3	108.3	110.9	201.6	167.6	135.9
1973	161.5	193	169.9	439.4	147.4	160.9	138.1	35.6	88.2	105.9	77.8	101.8
1974	433.6	277.2	71.2	46.4	173	57.8	54.1	107.5	109.5	35.7	133.8	76
1975	143.6	138	335.9	219.7	169.7	26.9	10	106.4	121.4	58.8	96.5	56
1976	188.6	44	194	104.6	37.2	33.3	8.2	109.2	47.6	207.1	83.6	308.1
1977	202.3	259.5	131.7	153.6	41.9	23.8	105	96.4	47	138.4	378.5	85.3
1978	212.5	101	69.5	36	37	89.9	128.2	19.7	106.4	241.4	184.3	113.9
1979	68.4	126.6	138	81.9	121.5	21	20.9	96.4	126.7	214.2	273.8	133.5
1980	53.9	184.8	49.8	112.4	61.2	78.7	6.1	17.3	74.6	304.7	123.4	81
1981	190.7	261.7	176.2	41.9	131.7	54.5	27	56	30.2	63.1	76.4	121
1982	89	167.7	67.7	59.3	97.6	209.5	22.2	110.3	241.1	43.2	345.5	47.3

1983	223.3	229.8	382.2	198.6	168.2	9.4	99.1	13.9	5.4	176.5	51.5	61.6
1984	201.9	215.6	135.6	185.9	165.5	93.8	64.4	16.5	217.4	160.1	170.1	25.1
1985	18.3	298.9	313.8	245.2	59.5	52.5	107.1	87.4	122.2	146.8	0.3	69
1986	86.5	108.4	202.1	518	263.5	166.9	45.1	38	164	146.6	367.6	131.7
1987	98.8	93.4	234.8	379.5	44.3	51	208.1	40.9	134.7	13.2	145.2	96
1988	227.2	61.7	165.9	88.3	23	21.3	14.2	73.2	156.3	67.5	67.7	99.6
1989	158.9	13.3	186.6	225.7	10.3	83.7	16.8	118.6	19.9	167.3	85.3	182.8
1990	78.9	154.6	357.7	285.6	49	18.5	31.6	37.3	77.6	250.5	249.2	251.5
1992	64.5	272	289	257	104.1	314.5	43.5	17	80	71.2	135.5	121.5
1993	206.1	62.9	295.9	149	168	35	15	1.7	43.5	88.8	378.3	97
1994	30.5	286	96.5	167	272	97.5	39.7	60.5	72	145	95.5	46.5
1995	158.9	219.4	210.5	90	95	27.2	65.8	25.5	100.7	42	18.5	68.5
1996	88.7	217.5	150.5	218.5	18.6	17	0	16.5	50.2	153.3	168.5	222.5
1997	51.1	295.1	60.2	82.5	67	77.9	26.1	21	60.8	260.2	160.1	227
1998	362.5	146.5	181	671.5	25.5	148	78	24.2	101	65.5	51	138
1999	42.5	185	160.5	155.5	77	38.5	64.5	23	54.5	100	64.5	139.5
2000	144	123.5	214	177.5	166.5	40.5	60.5	47	47	82.5	237.5	154
2001	315	46	125.5	157	36.3	97.1	17	136.5	42.8	175.2	161	54.7
2002	68	56.7	435.5	463.8	89.5	18.2	159.5	28.7	95.5	156.3	213.9	482
2003	86.5	209.5	449.5	182.5	72.5	37.1	15	93.2	36.8	174.5	130.2	174.5
2004	9	45	44	202.9	6.6	97.5	26.8	12.5	61.6	206.1	221.1	106.7
2005	60	97.5	150.5	178.2	217.7	107.8	4	50.2	34	136.1	112.6	90.2
2006	39	100.7	38.5	139.7	1	153	17	41.5	67.7	150.5	202.8	132
2007	149	156.8	255	145.3	79.7	29	3	95.8	68.3	299.5	104	59.2
2008	128	76.5	40.5	66	100	66	60.5	61.5	54.5	186.9	40.5	26
2009	59.5	115	112.9	28.2	67.5	47	28	17.2	78	58.8	562.2	234.5
2010	241	230	132.5	56.5	195.8	14.3	116.1	8	149	37	25.5	328
2011	152	115.1	66	96.6	55	94	57	39	38	192.3	175.5	145
2012	27.7	131	65.2	289.5	58.8	35.7	10.5	112	56	488.1	63	240
2013	183	135.1	273.5	245.5	42.3	23	80	23.2	39.9	132.5	301	134
2014	129.2	264.1	272.5	82.5	118.5	50.5	80.9	11.5	136.6	237.5	58.5	525.5
2015	302	92.5	189	9	123.9	69.2	30.6	163.3	19.8	291	426	432.9
2016	180.5	182	53.5	315.8	81.5	194.7	108.5	72.2	21.3	377	74.8	204.5
2017	206.5	318.8	178.6	264.5	442	36	33.5	107.1	90	116.5	133.2	48
2018	133	91.7	338.3	134.2	425.5	45.5	99	54.5	102.3	111.2	269	386.5
2019	546	84	107.7	178	257.7	48.5	60.3	46	15.2	142	186.3	69.5
2020	246	140	71	35	120	75	18	6	82	236	140	216