

<https://doi.org/10.69639/arandu.v12i1.674>

Impacto climático en humedales y sistemas productivos de Ñeembucú, Paraguay

Climate impact on wetlands and productive systems of Ñeembucú, Paraguay

José Fernando Arce Espinoza

fernandoarce911@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-2986-6100>

Facultad de Ciencias Aplicadas
Universidad Nacional de Pilar

Andrea Celeste Sosa León

ansosaleon1@gmail.com

Facultad de Ciencias Aplicadas
Universidad Nacional de Pilar

Liliana Isabel Ríos Cazal

lilianarioscazal@gmail.com

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural
Universidad Nacional de Pilar

Miguel Angel Delpino Aguayo

mdelpino167@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5211-2720>

Facultad de Ciencias Aplicadas
Universidad Nacional de Pilar

Artículo recibido: 10 enero 2025

- Aceptado para publicación: 20 febrero 2025

Conflictos de intereses: Ninguno que declarar

RESUMEN

El estudio titulado "Impacto Climático en Humedales y Sistemas Productivos de Ñeembucú, Paraguay" explora la relación entre el clima y la producción agrícola en una región vulnerable a cambios climáticos. La investigación comienza con una revisión del contexto climático y ambiental de Ñeembucú, destacando la importancia de las precipitaciones y las temperaturas en la salud de los ecosistemas y la producción agrícola. La metodología utilizada incluye el análisis de datos climáticos históricos de diversas fuentes a los que se aplica un proceso previo de normalización y procesamiento de datos de temperatura y pluviosidad. Los resultados, del procesamiento de datos para el lapso 1990-2023, evidencian una tendencia a la disminución de las precipitaciones y una mayor variabilidad temporal y espacial, lo que afecta negativamente tanto a los ecosistemas locales como a la producción agropecuaria; evidenciándose similares comportamientos para la variable temperatura superficial. Esta variabilidad climática plantea desafíos significativos para la planificación agrícola y la gestión de recursos hídricos en la región. Las conclusiones subrayan la necesidad de desarrollar estrategias de manejo y conservación

adaptativas y específicas para las distintas regiones del Ñeembucú, reconociendo que enfoques uniformes no son efectivos en un contexto tan diverso.

Palabras clave: cambio climático, precipitación, temperatura, sistemas productivos, Ñeembucú

ABSTRACT

The study titled "Climate Impact on Wetlands and Productive Systems of Ñeembucú, Paraguay" explores the relationship between climate and agricultural production in a region vulnerable to climate changes. The research begins with a review of the climatic and environmental context of Ñeembucú, highlighting the importance of precipitation and temperatures in the health of ecosystems and agricultural production. The methodology used includes the analysis of historical climate data from various sources to which a prior process of normalization and processing of temperature and rainfall data is applied. The results of data processing for the period 1990-2023 show a trend towards decreased rainfall and greater temporal and spatial variability, which negatively affects both local ecosystems and agricultural production; similar behaviors are evident for the surface temperature variable. This climate variability poses significant challenges for agricultural planning and water resources management in the region. The conclusions highlight the need to develop adaptive and specific management and conservation strategies for the different regions of the Ñeembucú, recognizing that uniform approaches are not effective in such a diverse context.

Keywords: climate change, precipitation, temperature, productive systems, Ñeembucú

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International. 

INTRODUCCIÓN

El cambio climático ha emergido como una de las principales amenazas para los ecosistemas naturales y las actividades humanas a nivel global. Entre los ecosistemas más vulnerables se encuentran los humedales, los cuales desempeñan funciones ecológicas esenciales como la regulación del ciclo del agua, el control de inundaciones, la recarga de acuíferos y la provisión de hábitats para una biodiversidad considerable (Mitsch y Gosselink, 2015). En el contexto sudamericano, Paraguay alberga importantes sistemas de humedales, particularmente en el XII Departamento de Ñeembucú, una región caracterizada por su extensa red de humedales que sostiene tanto la biodiversidad como los sistemas productivos primarios de sustento y renta, principalmente la agricultura y la ganadería.

El XII Departamento de Ñeembucú es una región de Paraguay que depende en gran medida de los humedales para mantener su productividad agrícola y ganadera. Sin embargo, en las últimas décadas, esta región ha sido testigo de cambios significativos en las variables climáticas, especialmente en las precipitaciones y temperaturas, que están afectando la dinámica de los humedales y, en consecuencia, las actividades productivas que dependen de ellos. La variabilidad en las precipitaciones y las fluctuaciones de temperatura pueden alterar la hidrología de los humedales, afectando la disponibilidad de agua, la calidad del suelo, y la salud de los cultivos, lo que representa un desafío para la sostenibilidad de las actividades económicas en la región (Kovats *et al.*, 2014).

El impacto de las variables climáticas sobre los humedales de Ñeembucú y su influencia en los sistemas productivos primarios es un tema de gran relevancia que no ha sido suficientemente estudiado. Los cambios en las precipitaciones, tanto en cantidad como en distribución temporal, junto con el incremento de las temperaturas, están generando una serie de desafíos para la gestión de los recursos hídricos y la planificación agrícola en la región (Rosso *et al.*, 2022). Estos cambios no solo afectan la cantidad de agua disponible para la agricultura, sino también la calidad del suelo, la salud de los cultivos, y la biodiversidad de los humedales.

El problema central que aborda esta investigación es la falta de información detallada sobre cómo las variaciones climáticas están afectando a los humedales de Ñeembucú y cómo estos cambios están influyendo en la productividad agrícola y ganadera. Sin un conocimiento de estas interacciones, es difícil desarrollar estrategias efectivas para mitigar los impactos del cambio climático y garantizar la sostenibilidad de los sistemas productivos en la región. Este estudio busca incursionar en esta línea mediante un análisis de las tendencias climáticas y su impacto en los humedales y en las actividades productivas de Ñeembucú.

El desarrollo de este estudio cobra relevancia dada la importancia estratégica de estos humedales para la sostenibilidad ambiental y económica de la región. Este tipo de paisaje no solo son críticos para la regulación del ciclo hidrológico, sino que también proporcionan servicios

ecosistémicos clave que son fundamentales para la agricultura y la ganadería. En un contexto de cambio climático, donde se anticipan mayores variaciones en las precipitaciones y temperaturas, comprender cómo estos cambios afectan a los humedales es crucial para desarrollar políticas de adaptación efectivas compatible con el modelo de producción agropecuaria sostenible que depende en gran medida de la salud de los humedales y de la disponibilidad de recursos hídricos de calidad (Rodríguez & López, 2018). Los cambios climáticos que los afectan pueden tener consecuencias directas en la seguridad alimentaria, el bienestar económico de las comunidades locales y la conservación de la biodiversidad. Por lo tanto, este estudio contribuye con la mejora en la comprensión científica de los impactos climáticos en los humedales, como así mismo, a informar para la toma de decisiones en la gestión de recursos naturales y en la planificación agropecuaria.

La propuesta tiene como objetivo, analizar el impacto de las variables climáticas de precipitaciones y temperaturas en los humedales del Ñeembucú y su influencia en los sistemas productivos primarios de la región, identificando las tendencias de largo plazo en las precipitaciones y temperaturas en el XII Departamento de Ñeembucú durante las últimas décadas, evaluando los posibles impactos de las variaciones climáticas en la hidrología de los humedales y en la calidad del suelo, debido a su relación directa con el rendimiento agropecuario. Al esbozar estos tópicos, se estará en mejores condiciones de proponer recomendaciones para la gestión adaptativa de los recursos hídricos y la planificación productiva en respuesta a los cambios climáticos observados.

La relación entre el cambio climático y los humedales ha sido ampliamente estudiada en diferentes contextos geográficos. Sin embargo, la mayor parte de la literatura se ha centrado en regiones templadas y boreales, mientras que los humedales tropicales y subtropicales, como los de Ñeembucú, han recibido menos atención. Los estudios existentes han demostrado que los humedales son particularmente sensibles a las variaciones en las precipitaciones y temperaturas, debido a su dependencia del ciclo hidrológico para mantener su funcionalidad ecológica (Junk *et al.*, 2013).

En el contexto de América del Sur, investigaciones previas han destacado que los cambios en las precipitaciones y temperaturas están provocando una alteración en la estacionalidad y en la cantidad de agua disponible en los humedales, lo que afecta tanto a la biodiversidad como a las actividades productivas que dependen de estos ecosistemas (Magrin *et al.*, 2014). Sin embargo, hay una escasez de estudios específicos que aborden estos problemas en Paraguay, lo que resalta la necesidad de investigaciones enfocadas en regiones como Ñeembucú, donde los humedales desempeñan un papel crítico en la economía local.

El estudio parte de los principios de la ecología del paisaje y el cambio climático. La ecología del paisaje permite analizar cómo los patrones espaciales y temporales de los humedales son influenciados por las variables climáticas, considerando tanto factores naturales como

antropogénicos (Turner *et al.*, 2000). Este enfoque es particularmente útil para entender las dinámicas de los humedales en respuesta a cambios en las precipitaciones y temperaturas, y para evaluar cómo estos cambios pueden alterar la conectividad ecológica y la funcionalidad de los humedales.

Desde la perspectiva del cambio climático, el estudio se basa en el análisis de los impactos observados y proyectados de las alteraciones climáticas en los ecosistemas acuáticos, con un enfoque particular en los humedales. Los modelos climáticos sugieren que el aumento de la temperatura global y las alteraciones en los patrones de precipitación están generando cambios significativos en la distribución y la dinámica de los humedales a nivel mundial (IPCC, 2014). Estos cambios pueden tener implicaciones profundas para la biodiversidad, la actividad agropecuaria y la gestión de recursos hídricos, especialmente en regiones vulnerables como Ñeembucú, de ahí que a priori se plantea que las alteraciones en las precipitaciones y temperaturas en el Ñeembucú están teniendo un impacto significativo en los humedales, lo que a su vez está afectando negativamente la productividad agropecuaria y la sostenibilidad de los sistemas productivos primarios de la región. Se espera que las tendencias climáticas actuales estén provocando una mayor variabilidad en los rendimientos productivos primarios y una disminución en la calidad del suelo, lo que podría comprometer la seguridad alimentaria y la estabilidad económica de las comunidades locales.

METODOLOGÍA

El presente trabajo se centró en el análisis del impacto de variables climáticas en los humedales del XII Departamento de Ñeembucú, Paraguay, con un enfoque particular en las precipitaciones y temperaturas, y su influencia en los sistemas productivos primarios. Para ello, se empleó un diseño metodológico en dos etapas: pre-procesamiento de datos y procesamiento digital de información. Este enfoque permitió no solo una comprensión de los patrones climáticos en la región, sino también la generación de productos útiles para la toma de decisiones en escenarios de riesgo.

El área seleccionada para el estudio comprende el XII Departamento de Ñeembucú, ubicado en la República del Paraguay. Esta región es caracterizada por la presencia de humedales, que juegan un papel crucial en los sistemas ecológicos y productivos locales. La elección de esta área se justifica debido a la vulnerabilidad de los humedales a las variaciones climáticas y su importancia para la agricultura y otras actividades productivas en la región.

La primera etapa, consistió en la adquisición y normalización de los datos climáticos. Se emplearon fuentes de datos como los registros de la Dirección de Meteorología e Hidrología (DINAC-DMH) y el sistema GIOVANNI de la NASA, que proporcionan datos de precipitaciones y temperaturas superficiales. Estos datos fueron obtenidos en formatos tabulares y raster, los cuales fueron posteriormente procesados y normalizados utilizando software especializado. La

normalización de los datos se realizó para asegurar su compatibilidad con los sistemas de información geográfica (SIG) utilizados en el estudio. Este proceso incluyó la conversión de formatos de archivos y la sistematización de la información para su posterior análisis.

Tabla 1

Registro de precipitaciones de la Estación Meteorológicas de la ciudad de Pilar, República del Paraguay, periodo 1990-2023 (https://www.meteorologia.gov.py)

Indicador		Precipitación total estación Pilar																																			
Unidad de medida		Milímetros (mm)																																			
Desagregaciones	Total anual	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Promedio	
		Menual		1862	1115	483	3974	2847	3848	2838	163	2893	2838	2911	2827	1935	878	0	520	1164	2840	2420	810	1832	1823	1888	2253	1853	1853	1833	1823	1813	1833	1823	1813	1833	1823
Enero		280	95.1	88.5	124	2138	2860	2018	4845	2250	1872	1880	780	1725	1480	760	190	584	670	1190	2885	880	2038	1125	1218	1270	1748	1445	1507	420	805	935	600	380	120	1205	
Febrero		1835	92.1	186.3	188.7	1175	2235	1848	1343	1175	1810	630	2087	2088	1210	320	583	4185	1210	280	235	1930	425	1810	1535	4283	1419	1900	508	1135	1410	484	2528	1770	1870	1505	
Abril		495.0	295.0	141.5	81.0	2047	226	2842	81.0	2840	3014	320.1	1968	2950	1000	1000	2850	1950	1880	1310	250	830	1830	2200	1970	2807	2160	3284	1812	240	2800	340	1522	2860	815	1808	
Mayo		428	190.9	78.9	47.7	151.7	48.5	61.0	63.5	85.3	1800	48.5	26.0	42.1	0.0	6.0	1127	36.0	83.0	100	80.0	1883	280	670	714	1070	1886	188	3185	4384	1928	324	285	663	1225	1047	
Junio		1817	884	747	247	1313	88	57	843	286	286	598	265	262	480	280	761	748	83	242	210	426	1883	822	1888	1883	1870	810	13	58	878	830	787	240	143		
Julio		68.6	63.4	16.5	274	36.3	11.2	805	762	442	212	78	78	102	1132	1.1	688	140	145	260	283	185	1790	880	270	768	880	410	230	34	90	1320	245	0.0	310	616	456
Agosto		847	82	190.3	420	823	83	55	270	187	838	63	388	380	500	520	150	145	810	112	280	383	280	78	883	485	83	188	820	730	313	93	70	65	220	425	368
Septiembre		1048	87.0	116.7	180	31.4	462	333	454	811	82	324	1038	1010	860	1283	223	808	838	830	820	1078	784	280	810	1863	125	830	778	286	82	280	1885	320	243.8	797	
Octubre		183	158.9	252.3	1848	1158	885	3841	1745	1880	280	2041	1465	1865	1865	2880	745	4290	1868	2820	1261	1304	2247	1378	2282	770	1171	4828	1863	2800	1110	1070	685	1250	2125	1826	
Noviembre		188.0	97.7	128.1	1076	2884	1843	1300	2233	1270	818	1133	810	900	2334	2880	182	1460	380	730	3187	378	2222	360	2841	1883	1247	1838	1880	2820	1880	2840	2885	380	2487	1850	
Diciembre		118.3	253.7	264	288	628	458	2764	874	1718	818	2880	1880	870	2128	2820	1880	1880	280	270	1841	2882	818	2848	458	2848	2728	2888	85	1877	880	838	287	410	3880	1327	
Promedio		153.217	116.95	121.475	96.948667	129.967	132.708	164.65	96.5333	142.575	85.55	118.75	105.2	143.567	105.217	118.088	87.9197	145.117	87.0333	70.7917	112.883	113.583	113.775	118.308	127.883	177.475	141.508	179.417	152.4	156.592	135.317	78.2583	109.683	84.5833	117.8833		

En la segunda etapa, los datos normalizados fueron procesados digitalmente para generar mapas de distribución espacial y temporal de las precipitaciones y temperaturas en el área de estudio. Se utilizó el software QGIS v.3.38, un sistema de información geográfica (SIG) que permite el tratamiento de datos raster y vectoriales. Además, se empleó software de planilla electrónica (Libre Office) para la gestión y análisis de datos tabulares.

El procesamiento de datos incluyó la interpolación de valores para generar superficies continuas de variables climáticas, la creación de gráficas temáticas, y la verificación y ajuste de la información para asegurar la precisión y representatividad de los resultados.

El resultado final del procesamiento de datos consistió en la creación de una serie de mapas temáticos y gráficas que representan la distribución espacial y temporal de las precipitaciones y temperaturas en Ñeembucú. Estos productos permiten identificar zonas críticas y evaluar la vulnerabilidad de los sistemas productivos frente a diferentes escenarios climáticos.

Tabla 2

Registro de temperatura superficial para el XII Departamento de Ñeembucú, República del Paraguay, periodo 2011-2023

REGISTRO DE VALORES DE TEMPERATURA SUPERFICIAL																										
VALORES TOTALES DE TEMPERATURA (°C) DE LOS AÑOS COMPENDIDOS ENTRE 2011 - 2023																										
DATOS OBTENIDOS DE PLATAFORMA GIOVANNI																										
	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE		PROM. AÑO	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
2011	27.5	29.2	25.5	26.6	25.1	26.1	22.3	23.5	18.3	29.6	15.5	16.8	14.6	15.9	16.2	17.7	19.7	21.2	22.1	23.5	23.8	25.1	26.1	27.1	21.4	23.5
2012	28.6	29.7	28.6	29.7	28.9	26.8	21.5	22.3	18.8	20.0	16.1	16.9	13.7	14.9	19.4	20.5	21.6	23.1	24.3	26.5	25.1	26.9	26.0	27.9	22.7	23.8
2013	26.0	27.5	26.7	27.7	22.3	24.4	20.8	22.3	17.6	19.1	15.9	17.1	15.4	16.5	14.3	15.3	18.4	20.1	21.8	23.4	23.7	25.3	28.3	29.3	20.9	22.3
2014	27.6	28.8	28.4	29.4	23.2	24.9	20.8	22.4	17.9	18.9	14.2	16.7	15.7	16.7	17.8	19.0	20.1	21.7	23.5	25.7	23.0	24.3	24.9	26.6	21.4	22.9
2015	25.6	27.5	25.8	27.5	25.0	26.4	24.6	26.4	18.7	19.6	17.0	18.2	18.4	16.6	19.4	20.6	19.8	22.0	21.6	13.9	23.3	25.1	25.4	26.6	22.1	22.5
2016	26.6	27.9	26.2	27.6	22.7	23.8	23.3	24.3	15.3	17.3	12.8	14.2	15.1	17.4	17.7	20.0	17.7	20.1	21.6	23.8	22.3	24.3	24.9	26.3	20.5	22.2
2017	26.9	28.7	26.5	28.0	24.5	26.3	20.4	22.1	18.8	20.2	15.6	17.3	16.8	18.5	17.9	20.7	19.9	23.4	21.2	24.1	21.6	24.3	25.9	28.6	21.3	23.5
2018	25.2	27.2	25.1	26.6	24.2	25.1	25.1	26.0	19.7	21.4	13.9	16.0	14.4	17.0	15.1	16.9	21.2	22.7	21.9	23.5	24.0	25.2	25.4	27.0	21.3	22.9
2019	27.2	29.4	25.2	27.9	23.5	25.2	22.3	23.5	19.0	19.9	17.6	18.9	13.8	15.2	15.4	18.0	18.4	21.6	22.3	25.9	26.0	28.8	26.1	27.6	21.4	23.5
2020	26.7	28.4	25.8	27.5	27.1	29.0	21.5	23.3	17.8	19.5	17.4	19.6	14.3	16.5	18.0	20.6	19.8	23.2	24.5	27.4	25.4	26.7	25.6	27.0	22.0	24.1
2021	26.1	28.0	25.3	26.8	25.3	26.1	21.2	22.9	17.3	19.2	15.2	17.3	16.0	17.7	18.4	20.6	21.9	24.9	22.0	24.0	24.9	26.3	28.4	29.5	21.8	23.6
2022	30.6	32.4	28.7	30.1	24.4	25.8	20.8	22.4	17.0	19.7	13.5	15.3	18.4	21.1	16.3	19.3	17.0	19.4	20.0	22.5	21.7	24.6	27.0	29.2	21.2	23.3
2023	28.0	30.6	26.8	29.1	26.7	28.7	22.0	23.1	18.7	19.9	17.8	19.0	16.8	19.5	19.4	22.4	20.7	24.6	21.6	25.9	24.2	24.0	25.8	27.6	22.4	24.5

Fuentes: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>

Finalmente, los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis estadístico y de distribución geográfica-temporal. Este análisis permitió la identificación de patrones y tendencias en las variables climáticas, así como la evaluación de su impacto en los humedales y sistemas productivos del área de estudio. El proceso de validación incluyó la comparación de los resultados

obtenidos con estudios previos y registros históricos, con el objetivo de asegurar la coherencia y fiabilidad de las conclusiones del estudio.

Se emplearon diversos recursos informáticos y bibliográficos para la realización del estudio. Entre los recursos informáticos, destaca el uso de QGIS para el procesamiento de datos geospaciales y Libre Office para la gestión de datos tabulares. Además, se consultó una amplia bibliografía para el desarrollo del marco teórico y metodológico del estudio.

El estudio reconoce ciertas limitaciones, como la disponibilidad y calidad de los datos climáticos históricos y la precisión de las interpolaciones realizadas. No obstante, se tomaron medidas para mitigar estos factores, incluyendo la revisión crítica de los datos y la aplicación de técnicas de validación cruzada.

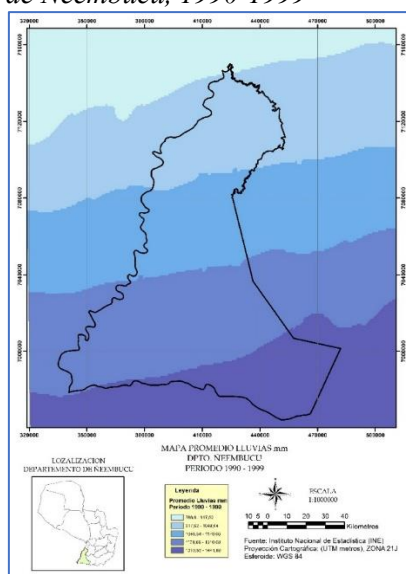
Esta metodología permite replicar el estudio en otras regiones con características similares, proporcionando una base para la investigación en el campo de la evaluación de impacto ambiental bajo el enfoque de las ciencias climáticas y su influencia en los sistemas ecológicos y productivos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con relación a los resultados, se hace referencia a la variabilidad climática y las tendencias observadas, a través del análisis de las series temporales de datos climáticos de Ñeembucú que revelan una tendencia significativa hacia el aumento de la temperatura media anual y una mayor variabilidad en las precipitaciones durante las últimas tres décadas. Los resultados mostraron que las precipitaciones han experimentado un patrón de disminución en la frecuencia de eventos de lluvias intensas, acompañados por un aumento en la duración de períodos secos. Esta tendencia es especialmente pronunciada en los meses de verano, lo que ha llevado a una mayor irregularidad en la disponibilidad de agua en los humedales de la región.

Gráfico 1

Mapa 1 Distribución geográfica del promedio de lluvias, en milímetros, para el XII Departamento de Ñeembucú, 1990-1999

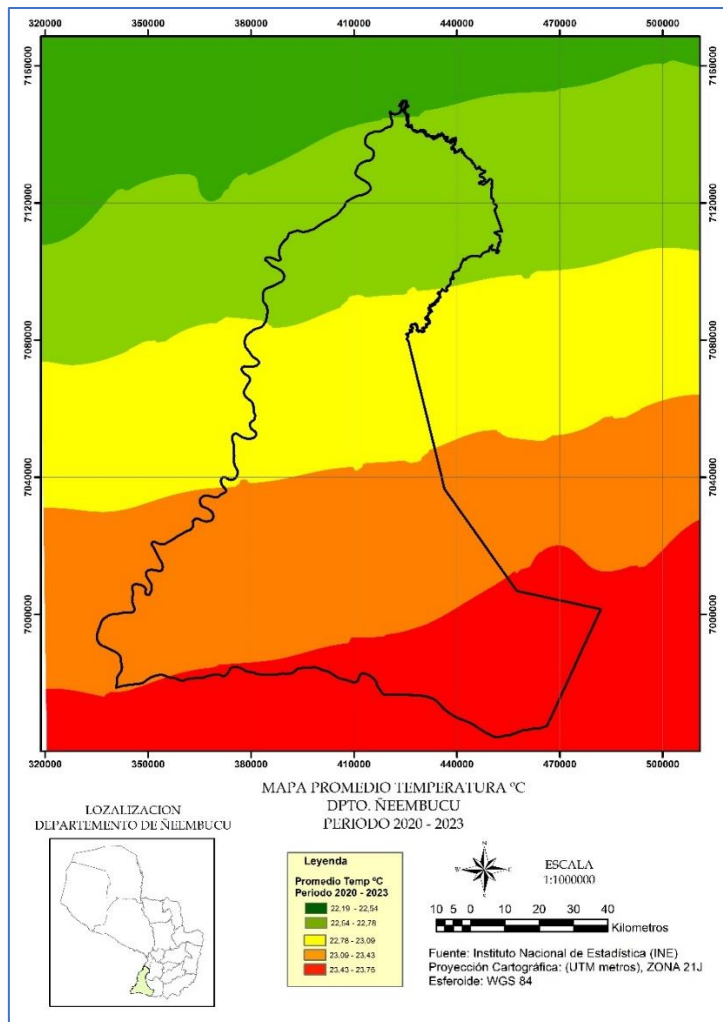


Fuentes: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>

En cuanto se refiere al impacto en los humedales, la variabilidad en las precipitaciones ha tenido un impacto directo en la hidrología de los humedales de Ñeembucú. Los resultados indican una variación en la distribución del patrón temporal y geográfica en los niveles de agua durante los períodos críticos del ciclo agrícola, afectan la disponibilidad de las aguas y por ende, alterando su desempeño como prestadora de sustento de vida y de su función ecológica. Esto ha resultado en la alteración de los patrones de inundación, que son esenciales para la regeneración de la vegetación nativa y la provisión de hábitats para la fauna local. Así, las áreas más expuestas a la variabilidad climática traducidas en menor disponibilidad de agua y en la distribución temporal de la misma, afecta la disponibilidad de cobertura vegetal y por ende, ello contribuye a la posibilidad de una mayor degradación del suelo.

Gráfico 2

Mapa 2. Distribución geográfica del promedio de temperatura (°C), para el XII Departamento de Ñeembucú, periodo 2020-2023



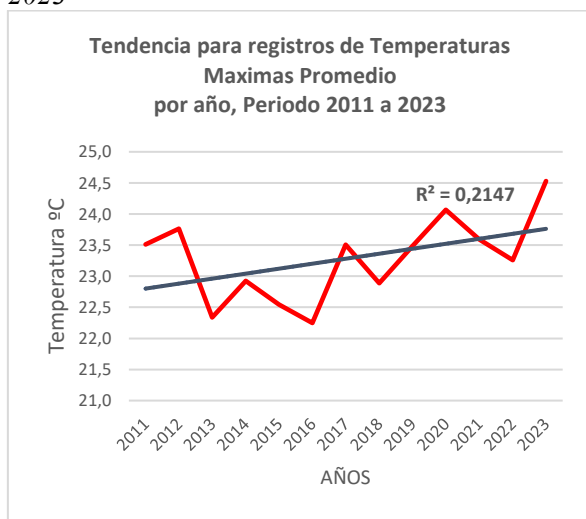
Fuentes: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>

Lo mencionado previamente, presenta efectos sobre la productividad agrícola, así el impacto de las variaciones climáticas sobre la productividad agrícola puede ser evaluado con mayor

especificidad utilizando datos de rendimiento de cultivos y el Índice de Vigor del Cultivo (NDVI). Los resultados contribuirán a visualizar el grado de correlación (negativa/positiva) entre la variación de las precipitaciones durante la temporada de crecimiento y la salud de los cultivos, particularmente en los cultivos de maíz, tubérculos y otros cultivos que son predominantes en la región. Los análisis del NDVI podrán indicar los años con precipitaciones significativamente inferiores o superiores al promedio, el comportamiento de los cultivos al estrés hídrico severo, lo que resultaría en una reducción notable del rendimiento.

Gráfico 3

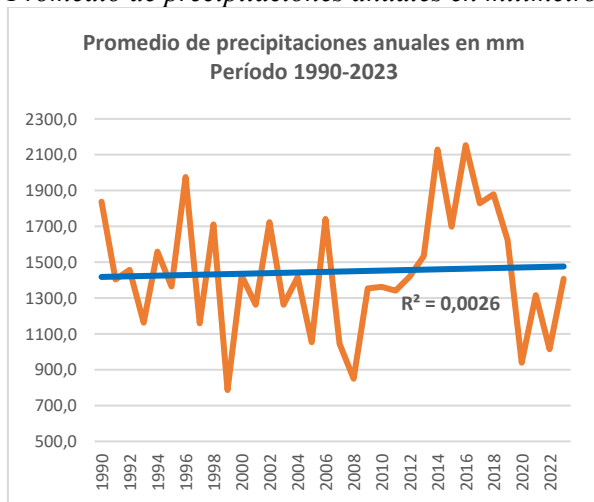
Línea de tendencia para registros de temperaturas máximas promedio por año, periodo 2011-2023



Fuentes: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>

Gráfico 4

Promedio de precipitaciones anuales en milímetros, periodo 1990-2023



Fuentes: <https://www.meteorologia.gov.py>

En lo referente a la evaluación de la calidad del suelo, de acuerdo con referencias bibliográficas, los cambios en la hidrología de los humedales, debido a la variabilidad en las precipitaciones, contribuye a la salinización y a la pérdida de materia orgánica en los suelos

agrícolas. Ello representa un efecto adverso en la fertilidad del suelo, exacerbando los desafíos para la producción agrícola en la región. Los suelos en áreas con una mayor dependencia de los humedales podrían mostrar signos de compactación y erosión, lo que puede estar relacionado con la disminución en la cantidad y calidad del agua disponible.

Es así como, a partir de la comparación con la literatura consultada, los resultados de este estudio son consistentes con investigaciones previas que han documentado los efectos adversos del cambio climático en los humedales y en la producción agrícola (Magrin *et al.*, 2014; Rosso *et al.*, 2022). En dicho sentido, este estudio aporta evidencia sobre cómo las variaciones climáticas están afectando a los humedales de Ñeembucú, un área que ha sido menos estudiada en comparación con otras regiones de América del Sur. La disminución en la disponibilidad de agua y la degradación del suelo coincide con los hallazgos de otros estudios que han demostrado que los humedales son extremadamente vulnerables a los cambios en las precipitaciones y temperaturas (Mitsch y Gosselink, 2015).

De ahí la necesidad de adoptar enfoques de gestión adaptativa para mitigar los efectos del cambio climático en los humedales y en la actividad agropecuaria de Ñeembucú. Los resultados sugieren que la implementación de prácticas productivas sostenibles, como la rotación de cultivos y la conservación de suelos, podría contribuir a reducir la vulnerabilidad de los sistemas productivos ante las fluctuaciones climáticas. Además, la gestión integrada de los recursos hídricos, que incluya la restauración de los humedales degradados, podría mejorar la resiliencia de la región ante futuros cambios climáticos.

El análisis de los resultados indica que los cambios en las precipitaciones y temperaturas están ejerciendo una presión significativa sobre los humedales de Ñeembucú, afectando su capacidad para sostener las actividades agropecuaria. La disminución en la frecuencia de las lluvias intensas, combinada con períodos secos más prolongados, ha alterado la dinámica hidrológica de los humedales, lo que a su vez ha impactado la productividad agropecuaria. Los primeros indicios de una posible correlación, entre la disminución de las precipitaciones y la afectación en los rendimientos de los cultivos resalta la dependencia crítica en la disponibilidad de recursos hídricos adecuados. De ahí la importancia en asegurar la sostenibilidad de los sistemas productivos en Ñeembucú, es esencial implementar estrategias de adaptación que aborden tanto la conservación de los humedales como la optimización de las prácticas agrícolas. La restauración de los humedales, mediante la reforestación y la rehabilitación de áreas degradadas, podría mejorar la retención de agua y la calidad del suelo, mitigando así los efectos negativos de las fluctuaciones climáticas. Asimismo, la adopción de tecnologías agrícolas que maximicen el uso eficiente del agua, como el riego por goteo y la captación de agua de lluvia, podría reducir la vulnerabilidad de los cultivos a las variaciones en las precipitaciones.

Basado en los hallazgos de este estudio, se recomienda que los responsables de la formulación de políticas en Ñeembucú consideren la integración de planes de gestión adaptativa

en sus estrategias de desarrollo rural. La promoción de la investigación continua sobre los impactos del cambio climático en los humedales y la agricultura es crucial para informar, el establecimiento de políticas basadas en evidencia que puedan ayudar a mitigar los efectos negativos y promover la resiliencia en la región. Además, la educación y capacitación de los agricultores en prácticas de gestión sostenible del agua y del suelo serán fundamentales para enfrentar los desafíos climáticos futuros.

No obstante, este estudio presenta algunas limitaciones. En primer lugar, la variabilidad climática fue analizada utilizando datos históricos que, aunque valiosos, no capturan plenamente las proyecciones futuras del cambio climático en la región. Además, la correlación entre las variaciones climáticas y la productividad agrícola se basa en datos observacionales, lo que limita la capacidad de establecer relaciones causales definitivas. Futuras investigaciones podrían beneficiarse del uso de modelos climáticos predictivos y estudios experimentales para evaluar con mayor precisión los impactos del cambio climático en los humedales y en la agricultura.

CONCLUSIONES

El presente estudio ha demostrado que las variables climáticas, específicamente las precipitaciones y las temperaturas, tienen un impacto significativo en los humedales del Ñeembucú y, por ende, en los sistemas productivos primarios de la región. La investigación evidencia una tendencia hacia la disminución en la frecuencia y la intensidad de las precipitaciones, acompañada por un aumento en las temperaturas medias, lo que ha alterado la hidrología de los humedales y afectado negativamente la productividad agrícola. Estos hallazgos subrayan la vulnerabilidad de los humedales subtropicales ante las fluctuaciones climáticas y la necesidad de adoptar medidas de gestión sostenible que mitiguen estos impactos.

Las conclusiones derivadas de este estudio destacan la importancia de implementar estrategias adaptativas que mejoren la resiliencia de los ecosistemas y de las comunidades agrícolas en Ñeembucú. La restauración de los humedales, junto con la adopción de prácticas agrícolas sostenibles, se presentan como soluciones clave para enfrentar los desafíos impuestos por el cambio climático. Asimismo, la formulación de políticas públicas orientadas a la gestión integrada de los recursos hídricos es esencial para garantizar la sostenibilidad de los sistemas productivos en el largo plazo.

Este estudio aporta un diagnóstico sobre el estado actual de los humedales de Ñeembucú, además de ofrecer un marco para futuras investigaciones y acciones que puedan fortalecer la capacidad de adaptación de la región frente a un clima en constante cambio.

REFERENCIAS

- Dirección de Meteorología e Hidrología (DINAC-DMH). (2024). Anuarios Hidrológicos. Recuperado de [<https://www.meteorologia.gov.py>].
- Dirección del Servicio Geográfico Militar (DISERGEMIL). (1994). Cartas topográficas. Recuperado de los archivos de DISERGEMIL.
- Hansen, J. E. (1989). Software de planilla electrónica para el tratamiento de datos. Publicación interna, Universidad de Columbia, Nueva York.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- Junk, W. J., An, S., Finlayson, C. M., Gopal, B., Květ, J., Mitchell, S. A., ... & Robarts, R. D. (2013). Current state of knowledge regarding the world's wetlands and their future under global climate change: a synthesis. *Aquatic Sciences*, 75(1), 151-167.
- Kovats, R. S., Valentini, R., Bouwer, L. M., Georgopoulou, E., Jacob, D., Martin, E., ... & Soussana, J. F. (2014). Europe. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1267-1326). Cambridge University Press.
- Magrin, G. O., Marengo, J. A., Boulanger, J. P., Buckeridge, M. S., Castellanos, E., Poveda, G., ... & Villamizar, A. (2014). Central and South America. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1499-1566). Cambridge University Press.
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). *Wetlands* (5th ed.). John Wiley & Sons.
- NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC). (2024). GIOVANNI Online Data System. Recuperado de [<https://giovanni.gsfc.nasa.gov>].
- Rodríguez, J. P., & López, M. (2018). Ecosistemas de Humedales: Clasificación y Funciones Ecológicas. *Journal of Wetland Ecology*, 34(2), 45-60.
- Rosso et al., 2022. Presiones al Sistema climático. Fuente: Ing. Leonidas Arias Baltazar. Hidrología General, pág. 6. MEDINA HUAMÁN JAIRO ROSSON (UNSCH) Hidrología General 5 de febrero de 2022 19 / 88
- Turner, M. G., et al. (2000). Landscape ecology: What is the state of the science? *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31, 319-344.