



UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

"Año de la recuperación y consolidación de la Economía Peruana"

RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA

Nº 863-2025-UNF/CO

Sullana, 10 de octubre de 2025.

VISTOS:

Oficio N° 1345-2025-UNF-VPAC/FCEA, de fecha 25 de septiembre de 2025; Oficio N° 4088-2024-UNF-VPAC, de fecha 02 de octubre de 2025; y,

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 18º de la Constitución Política del Perú, prescribe que la Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico: Las Universidades se rigen por sus propios estatutos en el marco de la Constitución y de las leyes.

Que, mediante Ley N° 29568 del 26 de julio de 2010 se crea la Universidad Nacional de Frontera en el distrito y provincia de Sullana, departamento de Piura, con fines de fomentar el desarrollo sostenible de la Subregión Luciano Castillo Colonna, en armonía con la preservación del medio ambiente y el desarrollo económico sostenible; y, contribuir al crecimiento y desarrollo estratégico de la región fronteriza noroeste del país.

Que, el artículo 8º de la Ley Universitaria, establece que la autonomía inherente a las Universidades se ejerce de conformidad con la Constitución y las Leyes de la República e implica los derechos de aprobar su propio estatuto y gobernarse de acuerdo con él, organizar su sistema académico, económico y administrativo.

Que, mediante Resolución Viceministerial N° 244-2021-MINEDU, de fecha 27 de julio del 2021, se aprueba el Documento Normativo denominado "Disposiciones para la constitución y funcionamiento de las comisiones organizadoras de las universidades públicas en proceso de constitución", en el numeral 6.1.4., señala que son funciones de la Comisión Organizadora, literal g) "Concordar y ratificar los planes de estudios y de trabajo propuestos por las unidades académicas.

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora N° 461-2021-UNF/CO de fecha 29 de noviembre de 2021, se resuelve aprobar el Estatuto de la Universidad Nacional de Frontera.

Que, en el Estatuto en mención, en su TÍTULO III se establece las DISPOSICIONES TRANSITORIAS, FINALES Y DEROGATORIAS:

A. DISPOSICIONES TRANSITORIAS

PRIMERA. POTESTAD DE LA COMISIÓN ORGANIZADORA

Página | 1



UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

"Año de la recuperación y consolidación de la Economía Peruana"

RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA

En base al artículo 29 de la Ley Universitaria, la Comisión Organizadora de la UNF tiene a su cargo la aprobación del presente Estatuto, reglamentos y documentos de gestión académica, de investigación y administrativa, formulados en los instrumentos de planeamiento, así como su conducción y dirección hasta que se constituyan los órganos de gobierno que de acuerdo a ley corresponda.

SEGUNDA. PROCESO DE CONSTITUCIÓN

Durante el proceso de constitución de la Universidad, los artículos del presente Estatuto, que se opongan, contradigan o no puedan implementarse de acuerdo a lo establecido en la normativa de la SUNEDU y MINEDU, respecto a garantizar las condiciones básicas de calidad, quedan en suspenso hasta que se constituyan los órganos de gobierno de la universidad. Encontrándose la Comisión organizadora facultada a emitir resoluciones que permitan el adecuado funcionamiento de la universidad hasta culminar el proceso de constitución.

CUARTA. GOBIERNO DE LA UNF

Durante el proceso de constitución de la Universidad, el gobierno de ésta se ejerce por:

- a) La Comisión Organizadora, tiene atribuciones administrativas que competen a la Asamblea Universitaria, al Consejo Universitario y al Consejo de Facultad.
- b) El Presidente de la Comisión Organizadora de la UNF, tiene atribuciones propias del Rector.
- c) Los Coordinadores de Facultad tiene atribuciones de Decano.

QUINTA. ÓRGANOS DE ALTA DIRECCIÓN

Durante el proceso de constitución de la UNF, los Órganos de Alta Dirección de ésta, lo constituyen:

- a) La Presidencia de Comisión Organizadora, que cumple funciones asignadas al Rectorado.
- b) La Vicepresidencia Académica de Comisión Organizadora, que cumple funciones asignadas al Vicerrectorado Académico.
- c) La Vicepresidencia de Investigación de Comisión Organizadora, que cumple funciones asignadas al Vicerrectorado de Investigación.

SEXTA. ÓRGANOS DE LÍNEA:

(...)

06.2. Decanato.

06.2.1. Departamento Académico.

06.2.2. Escuela Profesional.

06.2.3. Unidad de Investigación.

06.2.4. Unidad de Posgrado.

(...)

Página | 2



UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

"Año de la recuperación y consolidación de la Economía Peruana"

RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA

Que, el Artículo 22° literal f) del Estatuto de la Universidad de Frontera establece que el Consejo Universitario tiene como atribución: Concordar y ratificar los planes de estudios y de trabajo propuestos por las unidades académicas.

Que, el citado Estatuto, en su artículo 53° denominado "Escuelas profesionales de la UNF" prescribe que: La Escuela Profesional es la unidad orgánica de línea que depende del Decanato Las Escuelas Profesionales son unidades de formación académica, profesional y de gestión, encargadas del diseño y actualización curricular de los programas de estudio; dirigen su aplicación, para la formación y capacitación pertinente, hasta la obtención del grado académico y título profesional correspondiente. Las Escuelas Profesionales están dirigidas por un Director de Escuela, designado por el Decano entre los docentes principales de la Facultad con doctorado en la especialidad, correspondiente a la Escuela de la que será Director. Las Escuelas Profesionales de la UNF son:

(...)

Facultad de Ciencias Económicas y Ambientales

- a) Escuela Profesional de Ingeniería Económica
- b) Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental
- c) Escuela Profesional de Ingeniería Forestal

(...)

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora N° 654-2025-UNF/CO, de fecha 22 de agosto de 2025, se aprobó con eficacia anticipada, el Plan de Trabajo de Investigación Formativa: "USO DE MATRICES PARA ANÁLISIS DE BALANCE HÍDRICO EN MICROCUENCAS LOCALES", organizado por la MSc. Teresa Juliana Jara Alarcón y estudiantes de la Facultad de Ciencias Económicas y Ambientales de la Universidad Nacional de Frontera, el mismo que como anexo forma parte integrante de la presente resolución.

Que, con Oficio N° 1345-2025-UNF-VPAC/FCEA, de fecha 25 de septiembre de 2025, el Coordinador de la Facultad de Ciencias Económicas y Ambientales solicitó al Vicepresidente Académico, la aprobación del informe final del Plan de Trabajo de Investigación Formativa, para su aprobación y posterior certificación.

Que, con Oficio N° 4088-2024-UNF-VPAC, de fecha 02 de octubre de 2025, la Vicepresidencia Académica eleva el informe final del Plan de Trabajo de Investigación Formativa, para su aprobación en Sesión de Comisión Organizadora.

Que, respecto al Artículo IV el Título Preliminar del Texto Único Ordenado de la Ley de Procedimiento Administrativo General, aprobada mediante Decreto Supremo número 004-2019-JUS, recoge como uno de los Principios del Procedimiento Administrativo, el Principio de Legalidad por el cual queda sentado que las autoridades administrativas deben actuar con respeto a la constitución, la ley y al derecho, dentro de las facultades que le estén atribuidas y de acuerdo con los fines para los que les fueron conferidas.

Página | 3



UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

"Año de la recuperación y consolidación de la Economía Peruana"

RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA

Que, con ACTA N° 060-2025-SO-CO, de fecha 09 de octubre de 2025, en Sesión Ordinaria de Comisión Organizadora de la Universidad Nacional de Frontera, luego de analizar la documentación presentada y de revisar los informes técnicos y legales indicados en los considerandos de la presente Resolución, por unanimidad se acordó: **APROBAR** el Informe Final del Plan de Trabajo de Investigación Formativa: "USO DE MATRICES PARA ANÁLISIS DE BALANCE HÍDRICO EN MICROCUENCAS LOCALES", organizado por la MSc. Teresa Juliana Jara Alarcón y estudiantes de la Facultad de Ciencias Económicas y Ambientales de la Universidad Nacional de Frontera, que como anexo forma parte integrante de la presente resolución. **AUTORIZAR** la emisión de certificados del Plan de Trabajo de Investigación Formativa: "USO DE MATRICES PARA ANÁLISIS DE BALANCE HÍDRICO EN MICROCUENCAS LOCALES", en mérito a lo aprobado en el artículo precedente.

Estando a lo expuesto y en uso de las atribuciones conferidas por la Ley Universitaria – Ley N° 30220 y por la Resolución Viceministerial N° 045-2023-MINEDU y Acta de Acuerdos de Sesión Ordinaria de Comisión Organizadora N° 060-2025-SO-CO, de fecha 09 de octubre de 2025.

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - APROBAR el Informe Final del Plan de Trabajo de Investigación Formativa: "USO DE MATRICES PARA ANÁLISIS DE BALANCE HÍDRICO EN MICROCUENCAS LOCALES", organizado por la MSc. Teresa Juliana Jara Alarcón y estudiantes de la Facultad de Ciencias Económicas y Ambientales de la Universidad Nacional de Frontera, que como anexo forma parte integrante de la presente resolución.

Página | 4

ARTÍCULO SEGUNDO. - AUTORIZAR la emisión de certificados del Plan de Trabajo de Investigación Formativa: "USO DE MATRICES PARA ANÁLISIS DE BALANCE HÍDRICO EN MICROCUENCAS LOCALES", en mérito a lo aprobado en el artículo precedente.

ARTÍCULO TERCERO. - NOTIFICAR a través, de los mecanismos más adecuados y pertinentes, para conocimiento y fines correspondientes.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y EJECÚTESE.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA
Dr. José Porfirio Molero López
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ORGANIZADORA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA
Abg. Jorge Román Galloso Torres
SECRETARIO GENERAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA



INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN FORMATIVA

**"USO DE MATRICES PARA ANÁLISIS DE BALANCE
HÍDRICO EN MICROCUENCAS LOCALES"**

Docente Responsable

MSc. Teresa Juliana Jara Alarcón



Estudiantes Responsables

Estudiantes del curso de Matemática Básica – G1

Semestre Académico:

2025 – I

Asignatura:

Matemática Básica

RCO N.º 654-UNF-UNF/CO

Ciclo:

I

Sullana – Perú

2025



Índice de contenido

RESUMEN.....	5
I. INTRODUCCIÓN	6
II. MARCO TEÓRICO O REFERENCIAL	9
III. METODOLOGÍA	11
IV. RESULTADOS	13
V. DISCUSIÓN.....	20
VI. CONCLUSIONES	22
VII. RECOMENDACIONES.....	22
VIII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
ANEXOS	2828



Índice de tablas

Tabla 1 Síntesis de artículos científicos sobre el uso de matrices en el análisis del balance hídrico en microcuencas locales (2000–2025), extraídos de bases de datos indexadas.....	13
Tabla 2 Análisis comparativo de artículos científicos (2019–2025) sobre matrices aplicadas al balance hídrico en microcuencas, obtenidos de Scopus, SciELO y otras bases indexadas.....	177



Índice de figuras

Figura 1 Diagrama metodológico del estudio	133
---	-----

9/9



RESUMEN

Este estudio analizó las aplicaciones de matrices en el balance hídrico de microcuencas mediante una investigación documental descriptiva de 27 artículos científicos (2000-2025). Los resultados revelaron tres aplicaciones principales: 1) modelos de simulación hidrológica con estructura matricial (WEAP, SWAT) para evaluar escenarios de oferta-demanda e impactos de cambio de uso de suelo; 2) matrices de confusión y índice Kappa para validación de clasificaciones de cobertura vegetal; y 3) matrices de transición en modelos CA-Markov para proyección de cambios de cobertura terrestre. Geográficamente, los estudios mostraron concentración en Latinoamérica con importante representación de Perú (7 estudios), México (3), Colombia (2), Ecuador (3) y Brasil (1), complementados con investigaciones en Etiopía (2), Sudáfrica (1) y Costa Rica (1). Temporalmente se identificó una distribución bimodal con contribuciones fundacionales (2000-2003) y un marcado incremento a partir de 2022, con el 70% de los estudios publicados entre 2022-2025. Se determina que las matrices constituyen instrumentos fundamentales para expresar sistemas complejos de balance hídrico, como técnica para aportar mayor precisión en el análisis de situaciones hidrológicas y como método de apoyo para la planificación ambiental. Los principales obstáculos evidenciados incluyen la integración escasa de las dimensiones socioculturales en los modelos de matriz, y la falta de explicaciones explícitas sobre la metodología del uso de matrices en la literatura de resumen científico.



I. INTRODUCCIÓN

El análisis del balance hídrico en microcuencas constituye parte importante del manejo y la conservación sustentable de los recursos hídricos, pues a partir de este entendimiento se puede conocer la distribución y la disponibilidad del agua en ecosistemas de tipo complejo (Ruiz-García et al., 2025; Rodríguez, 2024; Duque-Sarango et al., 2019; Zambrano Aparicio, 2025). Las matrices han logrado consolidarse como instrumentos de representación para este tipo de dinámicas, las cuales permiten simular los sistemas hidrológicos y modelar las variables clave en estos como precipitaciones, escurrimiento, evapotranspiración, almacenamiento en microcuencas (Tessema y Simane, 2022; Izaguirre et al., 2024; Soto, 2024; Quispe Espinoza, 2024). Asimismo, la implementación de matrices permite no solo poder modelar los procesos físicos, sino también incluir los cambios en el uso del suelo, los efectos de los cambios climáticos y las decisiones de gestión hídrica en una clara y replicable estructura matemática. El análisis sistemático de estudios recientes muestra un crecimiento notable en la aplicación de matrices en la modelación hidrológica desde 2019, sobre todo en América Latina, destacando a México, Colombia, Ecuador y Brasil (Lizcano Toledo, 2024; Arias-Muñoz et al., 2024; Gaspari, 2023; Univ. de Oriente, 2021).

Sin embargo, pese al avance en el uso de matrices en la modelación hidrológica, todavía persisten vacíos en la sistematización de las aplicaciones matriciales en hidrología. La literatura aún no ofrece un panorama integrado que abarque el uso de diferentes tipos de matrices (confusión, transición, WEAP, SWAT) ni su impacto conjunto en la representación confiable del balance hídrico. Asimismo, la incorporación de dimensiones socioculturales en los modelos matriciales ha sido limitada, lo que restringe su potencial como apoyo en la gestión integral del recurso hídrico.

La aplicación de matrices en la modelación hidrológica permite gestionar de manera más eficiente la planificación y el uso de microcuencas, mediante el reflejo de una adecuada representación de las interacciones entre los recursos hídricos y las coberturas de suelo (Rodríguez, 2024; Lizcano Toledo, 2024; Zambrano Aparicio, 2025; Gaspari, 2023). A modelos de gestión de recursos hídricos como WEAP y SWAT emplean matrices en sus estructuras para simular las interacciones en escenarios de oferta/demanda de agua, de tal modo que también se cuantifican los impactos de la variabilidad climática y del cambio en uso de suelo sobre la disponibilidad hídrica

(Tessema & Simane, 2022; Arnold et al., 1998; Izaguirre et al., 2024). Asimismo, las matrices de Confusión y el índice Kappa brindan una base estadística que sirve para validar mapas de uso del suelo, aportando con ello una adecuación y certeza en los datos geoespaciales que se utilizan en la modelación (Lizcano Toledo, 2024; Arias-Muñoz et al., 2024; Gaspari, 2023; Univ. de Oriente, 2021). Estos estilos combinan conocimientos de las áreas de álgebra lineal, estadística y teledetección, favoreciendo la formación investigativa y aplicada del alumnado del grado de ingeniería ambiental.

La proyección de cambios de la cobertura del suelo utilizando matrices de transición como aquellas que se utilizan en modelos de tipo CA-Markov, permite prever efectos expectativos en el balance hídrico en horizontes de planificación de medio y largo plazo (Arias-Muñoz et al., 2024; Rodríguez, 2024; Lizcano Toledo, 2024; Zambrano Aparicio, 2025). Los instrumentos de evaluación para determinar la vulnerabilidad de una microcuenca ante sequías, la deforestación o la expansión del fenómeno de la urbanización le confieren valor al tomar decisiones para el manejo adaptativo y la conservación ambiental, tal como lo manifiestan Gaspari (2023), la Universidad de Oriente (2021), Duque-Sarango et al. (2019) y Soto (2024). Además de ello, la posibilidad de integrar modelos hidrológicos con datos geoespaciales permite, además, poder cuantificar las áreas potenciales de recarga hídrica y zonas con amenaza de erosión, ayudando a la optimización de la efectividad de los sistemas de riego y a la planificación de uso del territorio (García Aguirre, 2021; Salcedo Casas, 2024; Ochoa et al., 2019; Quispe Espinoza, 2024). La combinación de herramientas geoespaciales y metodologías cuantitativas han progresado de manera importante en la ingeniería ambiental, articulando la teoría matemática con la resolución para el manejo del agua con estrategias de gestión sostenible.

En este contexto de avances y desafíos, la presente investigación se propone analizar las aplicaciones de matrices en el balance hídrico de microcuencas mediante una revisión documental de artículos científicos publicados entre 2000 y 2025. Para alcanzar este propósito, se plantean tres objetivos específicos: (1) identificar las principales aplicaciones de matrices en modelos hidrológicos como WEAP y SWAT; (2) evaluar el uso de matrices de confusión y de transición en la validación y proyección de datos geoespaciales; y (3) analizar la integración de dimensiones socioculturales en los modelos matriciales reportados en la literatura.



La ejecución de la investigación formativa en el uso de matrices en balance hídrico puede considerar también un recurso didáctico útil, ya que se permite que los estudiantes conecten nociones abstractas de álgebra lineal con situaciones concretas en las microcuencas de un ámbito local (Rodríguez, 2024; Lizcano Toledo, 2024; Zambrano Aparicio, 2025). Las lecturas críticas de literatura científica suponen la orientación en habilidades de búsqueda, sintetización y evaluación de la información técnica, y las prácticas con los modelos hidrológicos significan el afianzamiento del entendimiento de la vinculación existente entre las variables ambientales y su expresión en forma de matriz (Gaspari, 2023; Arias-Muñoz et al., 2024; Univ. de Oriente, 2021; Tessema & Simane, 2022). La interdisciplinariedad puede favorecer el desarrollo de competencias profesionales imprescindibles que permitan a los estudiantes dar respuesta a los problemas ambientales complejos y poner en práctica la gestión hídrica que se ayuda en la evidencia científica.

Para finalizar, la revisión de trabajos recientes pone de manifiesto la importancia de la combinación de herramientas matemáticas, modelación hidrológica y análisis geoespacial para el tratamiento de los problemas de gestión del agua en microcuencas (Arias-Muñoz et al., 2024; Lizcano Toledo, 2024; Gaspari, 2023). El uso de matrices sirve para poder cuantificar los efectos acumulativos de cambios de uso de suelo, variabilidad climática y decisiones de gestión de cara a la planificación sostenible y al diseño de políticas públicas ambientales (Zambrano Aparicio, 2025; Univ. de Oriente, 2021; Duque-Sarango et al., 2019; Soto, 2024). La inclusión de métodos estadísticos y de simulaciones en matrices proporcionan un adecuado nivel de confianza a los resultados, a la vez que crean condiciones propicias para la aplicación de estrategias de conservación y el manejo adaptable de microcuencas críticas. La evidencia científica sugiere que la consolidación de estas competencias en la formación de los/las estudiantes arraiga su perfil profesional y favorece la generación de soluciones innovadoras en ingeniería ambiental.

Estas razones evidencian la necesidad de integrar y sistematizar los aportes de la literatura reciente, lo que da sentido al estudio. En este marco, la revisión se justifica porque fortalece la gestión sostenible de microcuencas, aporta bases cuantitativas para la planificación territorial y genera insumos técnicos en la formulación de políticas públicas ambientales. Asimismo, contribuye a la formación académica en ingeniería



ambiental, al vincular metodologías cuantitativas con problemas reales de gestión hídrica en contextos de cambio climático y expansión del uso del suelo.

II. MARCO TEÓRICO O REFERENCIAL

Fundamentos del balance hídrico en microcuencas

El balance hídrico resulta fundamental para conocer la disponibilidad y el reparto del recurso en microcuencas, y orienta la cuantificación de la entrada y salida de agua a partir de los principales factores como son la precipitación, la escorrentía, la evapotranspiración y el almacenamiento subterráneo. Según la UNESCO (1982), el balance hídrico superficial se expresa mediante la ecuación:

$$P + Q_{sl} + Q_{ul} - E - ET - Q_{so} - Q_{uo} - \Delta S = 0$$

Donde:

P = precipitación

Q_{sl} = Afluencia superficial lateral

Q_{ul} = Afluencia subterránea lateral

E = Evaporación

ET = Evotranspiración

Q_{so} = Efluencia superficial

Q_{uo} = Efluencia subterránea

ΔS = variación en el almacenamiento (superficial o subterráneo)

La interpretación es bastante complementaria y directa; dado que las entradas de agua menos todas las salidas y la variación del almacenamiento deben quedar en cero, pero esto sí que implica la ley de la conservación de la masa de nuestro sistema. Una forma más intuitiva de expresarlo es: entradas = salidas + variación de almacenamiento.

$$P + Q_{sl} + Q_{ul} - E - ET - Q_{so} - Q_{uo} - \Delta S$$

Aplicación de matrices en el análisis de balance hídrico

Las matrices son estructuras matemáticas que nos permiten representar y resolver sistemas de ecuaciones lineales que son muy habituales en los modelos de balance hídrico, nos permiten estructurar y manipular grandes volúmenes de información y por



consiguiente nos facilita la simulación del balance hídrico, así como el análisis de este tipo de escenarios. Un ejemplo es la matriz estequiométrica, comúnmente utilizada en química y en los sistemas dinámicos para representar relaciones entre las variables (Reder, 1988). En el sentido de la hidrología se utilizan estrategias parecidas para modelizar los balances y los flujos en cuencas hidrográficas (Ponce & Shetty, 2016).

Modelos de balance hídrico en microcuencas

Mediante matrices, se han implementado modelos de balance hídrico en microcuencas en diversos trabajos. En la microcuenca del río Bermúdez, por ejemplo, se calculó un balance hídrico mensual, teniendo en cuenta el uso del suelo y la zona climática, permitiendo, a su vez, la clasificación de la disponibilidad del recurso (ResearchGate, 2016). La principal ventaja de estos modelos es la obtención de información sobre la disponibilidad hídrica en el tiempo y en el espacio, siendo la información necesaria para los planes de gestión local del recurso.

Herramientas y metodologías para el análisis

Existen diferentes herramientas y metodologías para el análisis del balance hídrico en microcuencas. La guía metodológica para la elaboración de balances hídricos superficiales presenta un procedimiento estructurado que incluye la selección de datos, análisis exploratorio, pruebas de hipótesis e interpretación de resultados (MMAyA-VRHR, 2006). Y el uso de herramientas tecnológicas como la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG) ha facilitado la mejora tanto de la precisión como de la eficiencia en la recogida y análisis de datos hídricos (NASA, 2016).

Importancia del análisis en la gestión sostenible

El análisis de balance hídrico en microcuencas es vital en la gestión sostenible del recurso hídrico, ya que permite establecer si hay déficit o exceso de agua, optimizar la utilización del recurso y establecer las diferentes intervenciones apropiadas. Para el Global Water Partnership (2009), la gestión integrada del recurso hídrico a nivel de microcuenca es fundamental para garantizar el abastecimiento y la conservación del recurso en el tiempo.

Definiciones conceptuales:

Microcuenca: Se define como una unidad hidrográfica de pequeña escala que constituye la base de la planificación y gestión integrada del recurso hídrico (Global Water Partnership, 2009).

Matriz de confusión: Se entiende como una herramienta estadística fundamental para evaluar la exactitud de clasificaciones temáticas en teledetección, comparando valores observados y predichos (Chuvieco, 2023).

Matriz de transición: Se concibe como un instrumento matemático que permite proyectar cambios en la cobertura del suelo en modelos como el CA-Markov, representando la probabilidad de transición entre diferentes clases de uso (Sang et al., 2011).

III. METODOLOGÍA

Este trabajo se enmarca dentro de una investigación descriptiva de tipo documental, centrada en la recolección, la sistematización y el análisis crítico de la información científica vinculada al uso de matrices en el análisis de balance hídrico en microcuencas locales. La recopilación de información se realizó en bases de datos académicas indexadas, como Scopus, SciELO y Google Scholar, utilizando palabras clave en español e inglés tales como *"matrices balance hídrico"*, *"matrix water balance"*, *"micro-watershed modeling"* y *"hydrological modeling matrices"*

Se detectaron un conjunto total de 27 documentos científicos (2000-2025) que cumplieran todos los criterios de inclusión: un acercamiento explícito o implícito a la utilización de matrices para modelar, validar o proyectar variables del balance hídrico, disponibilidad de texto completo y que fueran relevantes para la gestión ambiental de microcuencas. La información recopilada a partir de la revisión exhaustiva de los documentos científicos fue: datos sobre la metodología utilizada, país de estudio, tipo de aplicación de matrices, variables modeladas y conclusiones principales alcanzadas.

Los documentos han sido clasificados en un conjunto de tres categorías temáticas relevantes: 1) Estructura de modelos hidrológicos (WEAP, SWAT), 2) Validación de datos espaciales mediante matrices de confusión/Kappa, y 3) Proyección de cambios de



cobertura terrestre mediante matrices de transición de Markov. Para la sistematización y análisis de los hallazgos se utilizó una matriz comparativa del análisis, a partir de la que se codificaban las metodologías, aplicaciones y principales resultados de cada uno de los estudios, y que permitía identificar patrones, tendencias y vacíos que se encontraban en la literatura.

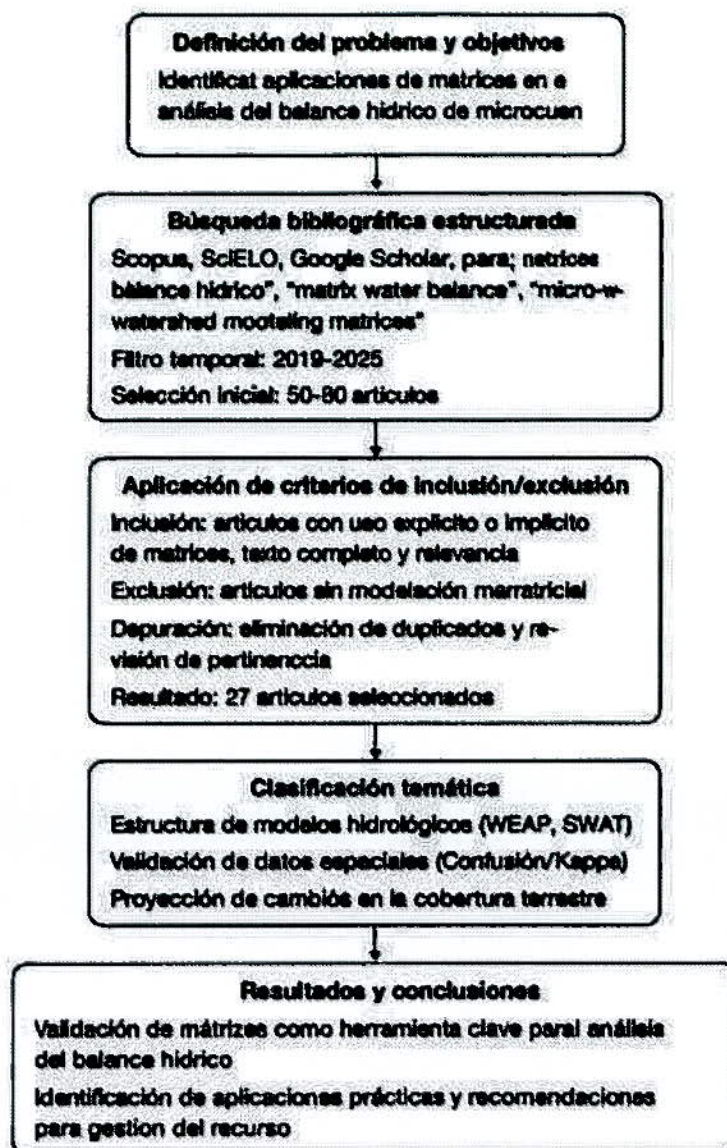
El proceso de síntesis se realizó entre los meses de marzo y julio del 2025, priorizando la síntesis crítica de la técnica de matrices, su aplicabilidad a la modelización del balance hídrico y su aportación a la gestión sostenible de microcuenca. Se reconocieron las limitaciones, como la complejidad técnica que tienen algunos modelos o la necesidad de explicar aplicaciones de matrices implícitas en simulaciones hidrológicas avanzadas.

Finalmente, se integraron los resultados en un marco conceptual estructurado, validando de esta manera la importancia que tienen las matrices como herramientas básicas de cuantificación de variables del balance hídrico, de evaluación de los impactos del cambio de uso de suelo y de clima, y de planificación de actuaciones de manejo sostenible.

gm



Figura 1 Diagrama metodológico del estudio



IV. RESULTADOS

Tabla 1 Síntesis de artículos científicos sobre el uso de matrices en el análisis del balance hídrico en microcuencas locales (2000–2025), extraídos de bases de datos indexadas

Autor(es) y Año	Título	Metodología	País
Gonzales et al. (2025)	Variabilidad de aguas subterráneas (GRACE)	Gravimetría satelital	Perú

Autor(es) y Año	Título	Metodología	País
Morethe et al. (2025)	Per- and Polyfluorinated Alkyl Substances in Different Water Matrices: Nontargeted Analysis, Suspect Screening, and Targeted Analysis	Análisis no dirigido y dirigido de PFAS mediante LC-QTOF-MS y LC-MS/MS; análisis estadístico multivariado (PCA y HCA)	Sudáfrica
Ruiz-García et al. (2025)	Modelado del balance hídrico en microcuencas utilizando WEAP	Modelado WEAP (estructura matricial)	México
Zambrano (2025)	Análisis del balance hídrico para escenarios de concesiones de agua (río Fonce)	WEAP / simulación de escenarios	Colombia
Rodríguez (2024)	Impactos del cambio de uso de suelo en balance hídrico (microcuenca Naolinco)	SWAT (modelación hidrológica con matrices de entrada/salida)	México
Lizcano (2024)	Evaluación de usos de suelo con matriz de confusión/Kappa (cuenca Sorocabuçu)	Clasificación supervisada + validación matricial	Brasil
Arias-Muñoz et al. (2024)	Tendencias de cambio de uso/cobertura con CA-Markov (río Mira)	Clasificación Landsat + matrices de transición	Ecuador
Berhane & Walraevens (2024)	Quantifying water loss in leaky micro-dam reservoir through water balance analysis and high-resolution water level data modeling	Balance hídrico, SCS-CN, métodos de recarga (CMB, WTF), sensores de nivel de agua de alta resolución	Etiopía
Soto (2024)	Balance hídrico superficial en cuencas del Junín	Análisis hidrológico	Perú
Quispe (2024)	Disponibilidad hídrica 2050 (río Chumbao)	Modelo Lutz Scholz (calibración)	Perú
Salcedo (2024)	Eficiencia hídrica en sistema de riego (Ayacucho)	Modelos hidrológicos, ETo-ETc	Perú
Izaguirre et al. (2024)	Modelo hidrológico semi-distribuido	Simulación hidrológica	Perú
Jiménez (2024)	Automatización SIG para canales de riego	SIG automatizado	Perú



Autor(es) y Año	Título	Metodología	País
Gaspari (2023)	Elementos metodológicos para manejo de cuencas	Cartografía, MDE, matrices de cambio de uso/uso-recurso	Ecuador
Araúz (2023)	Cambio climático y disponibilidad de agua (río David)	InVEST AWY model	Costa Rica
Sabogal & Borkowski (2023)	Desarrollo sostenible del páramo peruano	Estudio socioambiental	Perú
Coyago & Quishpe (2023)	Rehabilitación canal Pucará	Prospección, métodos probabilísticos	Ecuador
Luna et al. (2023)	Elementos metodológicos para manejo de cuencas	Cartografía, MDE, imágenes satelitales	Ecuador
Aranda (2023)	Representaciones sociales y cultura del agua	Análisis sociocultural	Perú
Gómez & Del Castillo (2022)	Regulación hídrica en microcuencas del Paramillo	CN-Curve, SIG, teledetección	Colombia
Tessema & Simane (2022)	Hydrological response using SWAT (Bilate Watershed)	SWAT	Etiopía
García (2021)	Áreas de recarga hídrica (río San Juan Las Minas)	Balance hídrico + SIG	Guatemala
Duque-Sarango et al. (2019)	Estimación del balance hídrico en cuenca andina tropical	Método Thornthwaite, series temporales	Ecuador
Ochoa et al. (2019)	Modelación de disponibilidad hídrica (río Piura)	Modelación hidrológica y clima	Perú
Farmer et al. (2003)	Climate, soil, and vegetation controls upon the variability of water balance in temperate and semiarid landscapes: Downward approach to water balance analysis	Downward approach, modelos de balance hídrico de complejidad creciente, análisis de firmas hidrológicas	Australia
Faustino & Jiménez (2000)	Manejo de Cuencas Hidrográficas	Recomendación de matrices para diagnóstico	Costa Rica
Monsalve (2000)	Hidrología en la Ingeniería: Evapotranspiración	Métodos de cálculo de evapotranspiración	México

Nota: Datos recopilados de artículos indexados en las bases de datos Scopus, SciELO y Google Scholar y considerando publicaciones desde el año 2000 hasta el 2025.



Los estudios analizados demuestran el papel fundamental de las matrices y estructuras de datos matriciales como herramientas matemáticas y conceptuales centrales en la gestión moderna de recursos hídricos. Modelos de simulación basados en estas estructuras, como WEAP (con su núcleo de cálculo matricial) y SWAT (que opera con matrices de entrada/salida para procesos hidrológicos), han probado su eficacia para representar sistemas complejos en diversas regiones. Estos modelos permiten evaluar escenarios de oferta-demanda (ej. en Colombia y México), analizar impactos del cambio de uso de suelo (México) y proyectar los efectos del cambio climático (Perú, Etiopía), proporcionando una base cuantitativa sólida para la toma de decisiones.

Más allá de la modelación hidrológica convencional, las matrices emergen como componentes esenciales en el procesamiento de información geoespacial. Matrices de confusión e índices Kappa (aplicados en Brasil) evalúan la precisión de clasificaciones de uso de suelo, mientras que las matrices de transición en modelos CA-Markov (Ecuador) cuantifican y proyectan transformaciones en la cobertura terrestre. Estas aplicaciones son cruciales para generar insumos confiables que alimentan los modelos de balance hídrico. Simultáneamente, las matrices de cambio de uso/uso-recurso (Ecuador) y las recomendadas para diagnósticos (Costa Rica) facilitan evaluaciones integrales, permitiendo identificar conflictos y priorizar medidas de gestión.

La creciente integración de tecnologías emergentes amplía sustancialmente las aplicaciones de los enfoques matriciales. El análisis de datos satelitales GRACE (Perú), que se procesan en formatos matriciales (grids), permite monitorizar aguas subterráneas, mientras que la automatización con SIG (Perú) y el uso de análisis estadísticos multivariados (PCA, HCA) para tratamiento de datos químicos (Sudáfrica) representan avances significativos. Sin embargo, persiste una marcada desconexión entre estos enfoques técnico-cuantitativos y las dimensiones socioculturales del agua, con contadas excepciones que incorporan matrices en procesos de planificación participativa o análisis sociocultural (Perú). Esta revisión subraya la urgente necesidad de articular las poderosas herramientas matriciales con perspectivas interculturales y de gobernanza, especialmente en regiones andinas y tropicales como Perú, Ecuador y Colombia, donde la presión sobre los recursos hídricos exige respuestas que integren el rigor técnico-matemático con una comprensión profunda de las dinámicas socioambientales.



Tabla 2 Análisis comparativo de artículos científicos (2019–2025) sobre matrices aplicadas al balance hídrico en microcuencas, obtenidos de Scopus, SciELO y otras bases indexadas

Autor(es) y Año	Conclusiones principales
Gonzales et al. (2025)	Identifica descensos de agua subterránea a largo plazo mediante gravimetría satelital (GRACE), útil para monitoreo de acuíferos en regiones andinas.
Morethe et al. (2025)	Detecta PFAS en diversas matrices de agua, superando límites de la US EPA, lo que indica riesgos para la salud y la necesidad de regulación.
Ruiz-García et al. (2025)	WEAP simula eficientemente escenarios de oferta-demanda en microcuencas, siendo una herramienta clave para la planificación hídrica.
Zambrano (2025)	Identifica vulnerabilidad hídrica ante sequías y crecimiento poblacional mediante simulación matricial en el río Fonce (Colombia).
Rodríguez (2024)	Cambios en el uso del suelo alteran la escurrimiento y disponibilidad hídrica; SWAT cuantifica estos impactos en la microcuenca de Naolingo (México).
Lizcano (2024)	Las matrices de confusión y el índice Kappa son esenciales para validar mapas de uso de suelo que alimentan modelos hidrológicos.
Arias-Muñoz et al. (2024)	Los modelos CA-Markov con matrices de transición proyectan cambios de cobertura hasta 2030, impactando la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Mira (Ecuador).
Berhane & Walraevens (2024)	La tasa de fuga del reservorio es de 13.2 mm/día, muy superior al diseño inicial. Se destaca la necesidad de usar datos climáticos locales para una planificación efectiva.
Soto (2024)	Caracteriza la disponibilidad hídrica superficial en cuencas de Junín (Perú), proporcionando soporte para la planificación regional.
Quispe (2024)	Proyecta reducción de caudales para 2050 en el río Chumbao (Perú) debido al cambio climático, usando el modelo Lutz Scholz.
Salcedo (2024)	Evalúa la eficiencia hídrica en sistemas de riego en Ayacucho (Perú), identificando margen de mejora en la gestión del agua.



Autor(es) y Año	Conclusiones principales
Izaguirre et al. (2024)	Desarrolla un modelo hidrológico semi-distribuido que mejora la gestión de recursos en la cuenca del río Chanchán (Perú).
Jiménez (2024)	La automatización SIG mejora la conservación y eficiencia de canales de riego en el Valle del Mantaro (Perú).
Gaspari (2023)	Las matrices de cambio de uso detectan zonas vulnerables y guían estrategias de conservación en cuencas de Ecuador.
Araúz (2023)	Proyecta reducción futura de disponibilidad hídrica en el río David (Costa Rica) debido al cambio climático, usando el modelo InVEST AWY.
Sabogal & Borkowski (2023)	Destaca la necesidad de conservación de páramos para mantener la regulación hídrica en el Perú.
Coyago & Quishpe (2023)	Desarrolla una ecuación de intensidad para el diseño de canales de riego rehabilitados en Loja (Ecuador).
Luna et al. (2023)	Propone elementos metodológicos para el manejo de cuencas, incluyendo diagnóstico ambiental y riesgo de inundaciones.
Aranda (2023)	La gestión del agua está ligada a prácticas culturales; no incluye modelación hidrológica convencional.
Gómez & Del Castillo (2022)	La pérdida de cobertura vegetal aumenta la erosión y disminuye la infiltración en microcuencas de Colombia.
Tessema & Simane (2022)	El cambio de uso del suelo y el clima alteran la respuesta hidrológica en la cuenca de Bilate (Etiopía), aunque sin análisis matricial explícito.
García (2021)	Identifica zonas de mayor infiltración en coberturas vegetales en el río San Juan Las Minas (Guatemala).
Duque-Sarango et al. (2019)	Útil para la gestión de recursos hídricos; identifica épocas húmedas y secas en cuencas andinas tropicales.
Ochoa et al. (2019)	El cambio climático afectará los recursos hídricos locales en la cuenca del río Piura (Perú).
Farmer et al. (2003)	El enfoque descendente identifica controles climáticos y del paisaje sobre el balance hídrico. La profundidad del suelo es crítica en zonas secas.



Autor(es) y Año	Conclusiones principales
Faustino & Jiménez (2000)	El éxito en el manejo de cuencas depende del compromiso comunitario y el uso de matrices en planificación.
Monsalve (2000)	Proporciona técnicas para cuantificar evapotranspiración, sirviendo como marco conceptual para balances hídricos.

Nota. Las conclusiones han sido sintetizadas a partir del análisis crítico de los artículos científicos listados en la Tabla 1. La información se organiza para destacar el aporte principal de cada estudio al uso de matrices en el análisis del balance hídrico. PFAS = sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas; US EPA = Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos; WEAP = Sistema de Evaluación y Planificación del Agua; SWAT = Herramienta de Evaluación de Suelo y Agua; CA-Markov = Cadenas de Markov con Automatas Celulares; SIG = Sistema de Información Geográfica.

El análisis de las conclusiones de los estudios revisados revela que las matrices y los modelos de base matemática se han consolidado como pilares fundamentales para la gestión sostenible del agua. Modelos como WEAP y SWAT sustentados en matrices, permiten la cuantificación de los componentes del balance hídrico y la creación de escenarios futuros. WEAP ha ejecutado acertadamente simulaciones de las relaciones oferta-demanda, localizado vulnerabilidades ante diferentes fenómenos como sequías y crecimiento poblacional en Colombia (Zambrano, 2025), al tiempo que SWAT ha dado vida a la cuantificación de los cambios en la escorrentía por el cambio en el uso del suelo en México (Rodríguez, 2024).

Más allá de los modelos de hidrología, las matrices demostraron ser herramientas imprescindibles para la validación de datos espaciales y la proyección de los cambios de los ambientes. Las matrices de confusión y las matrices de Kappa son herramientas que aseguran la confiabilidad de los mapas de uso de suelo, así como de insumos indispensables en modelación. Las matrices de transición en los modelos CA-Markov (Vierling et al., 2008, Proulx et al., 2023) anticipan las tendencias del cambio tipo de cobertura del suelo, considerando la producción de resultados útiles para la planificación preventiva, tal como fue aplicado en Ecuador (Arias-Muñoz et al., 2024).

El potencial de las matrices, evidentemente introducido en lo técnico pero que rápidamente avanza en el campo de la gobernanza. Marcos diagnósticos estructurados que pueden ser matriciales (Faustino & Jiménez, 2000) son el primer paso para priorizar acciones. Lo anterior será el resultado de un creciente reconocimiento de que la seguridad hídrica no depende solo de lo técnico sino de la articulación de saberes. Trabajos en el Perú (Aranda,

2023; Sabogal & Borkowski, 2023) revelan la necesidad de complementar el modelamiento hacia alcanzar estrategias de conservación que consideren las dinámicas de la ecología y las prácticas culturales que tienen que ver con el agua.

Finalmente, tecnologías más recientes como la gravimetría satelital (GRACE), cuyos datos de base son matriciales, han posibilitado el monitoreo de las aguas subterráneas (Gonzales et al., 2025), herramientas que, en conjunción con los modelos semi-distribuidos, permiten una gestión más adaptativa. En su conjunto, las conclusiones dan cuenta de que las matrices, y sus variantes permiten un lenguaje común que conecta la teoría matemática a la práctica de la gestión integrada de recursos hídricos.

V. DISCUSIÓN

Las conclusiones alcanzadas en esta investigación refrendan la eficacia y polivalencia de las matrices o matrices estructurales, convertidas en una de las principales herramientas para la gestión integral de los recursos hídricos. El trabajo elaborado por Ruiz-García y otros (2025) y Zambrano (2025) determina que los modelos concebidos a partir de estructuras matriciales, y más concretamente WEAP, son capaces de simular buenos escenarios complejos de oferta-demanda hídrica, lo que proporciona información muy útil para la planificación estratégica. Y los hallazgos aquí determinados explican, y todo lo contrario a A. Arnold et al. (1998), para determinar las bases teóricas de SWAT y demuestran cómo las matrices estructurales permiten la integración sistémica de los diferentes parámetros hidrológicos. La aplicabilidad de este tipo de modelos es especialmente importante en regiones donde la variabilidad climática es alta, ya que la previsibilidad de los comportamientos hidrológicos en los diferentes escenarios deviene una herramienta importante.

En el marco de la teledetección y el análisis espacial, para validar clasificaciones de uso de suelo, Lizcano (2024) refiere a las matrices de confusión y al índice Kappa como herramientas imprescindibles para garantizar que los insumos básicos a modelos hidrológicos sean confiables. Esta aproximación metodológica es complementada por los aportes de Arias-Muñoz et al. (2024), quienes con matrices de transición y modelos CA-Markov predecen cambios evolutivos de la cobertura vegetal y el probable efecto sobre la



disponibilidad hídrica para el año 2030, lo cual supone un avance significativo en la capacidad predictiva y por tanto una mayor efectividad en la planificación del territorio.

La dimensión social del manejo de los recursos hídricos se convierte en un elemento central. Faustino y Jiménez (2000) indican la relevancia esencial que tiene el compromiso de la comunidad civil y el uso de matrices estructuradas en las fases de diagnóstico en el manejo de cuencas; en esta lógica, estos principios hallan una interpretación en instrumentos técnicos como las matrices de interacción uso-recurso (Gaspari, 2023) que, a pesar de ser empleadas para la identificación de los territorios vulnerables y hacer frente a sus respectivas estrategias de conservación, aportan un recurso estructural que, no obstante, puede ampliarse para considerar la representación de otros conflictos socio-ambientales. La incorporación de estas matrices empodera el diseño de estrategias de manejo adaptativo que contienen, tanto dimensiones técnicas como sociales.

En un determinado momento, la incorporación de herramientas avanzadas junto con el modelo matricial puede considerarse un punto de inflexión. Por una parte, Gonzales et al. (2025) emplean la técnica de la gravimetría satelital (GRACE), con una base de datos matricial, para la identificación de descensos de agua subterránea a largo plazo (más de una década), mientras que, por otra parte, las propuestas de Izaguirre et al. (2024) dejan entrever el desarrollo de modelos semidistribuidos que inciden en la gestión de recursos limitados. Y, si bien se trata de pasos adelante en la andadura científica, se hace evidente también que queda un amplio camino por recorrer para alcanzar la articulación efectiva entre aspectos técnicos y socioculturales (Aranda, 2023) pues, tal como señala el citado autor, la gestión del agua integrada debe contemplar en el escaparate social las representaciones sociales y prácticas culturales ancestrales que perviven en la práctica local. La asunción de la integración de estos aspectos constituye el futuro horizonte del que se presentan las aplicaciones del modelo matricial en hidrología.

Una limitación metodológica muy poco ortodoxa fue la curva de aprendizaje para realizar revisiones sistemáticas, muy especialmente en el uso de operadores booleanos y criterios de rigor en bases de datos especializadas, para investigadores e investigadoras de primer ciclo. A pesar de haberse puesto en marcha un protocolo de dos etapas, que previó la validación cruzada a partir de la experiencia de investigadores e investigadoras de diferentes ciclos,



garantizando de esta forma la robustez del corpus final (n=27 estudios), se reconoce que la escasa experiencia en esta metodología pudo condicionar la exhaustividad inicial del muestreo documental, lo que lleva a sugerir que la interpretación de los hallazgos tenga en cuenta los sesgos de selección.

VI. CONCLUSIONES

El uso de matrices en modelos hidrológicos como WEAP y SWAT resultó eficaz a la hora de representar el balance hídrico en microcuencas y de cuantificar entradas y salidas de agua y proyectar la representatividad de escenarios bajo condiciones de cambio en el uso del suelo y de variabilidad climática.

Las matrices de confusión y de transición son herramientas fundamentales para validar datos geospaciales y representar cambios en la cobertura terrestre, lo que garantiza la consistencia de los insumos utilizados en la simulación hidrológica y en la planificación de la gestión ambiental.

La inclusión de nuevas tecnologías como la gravimetría satelital (GRACE) y los sistemas de información geográfica (SIG), refuerza el uso de matrices al consolidar las capacidades para efectuar monitoreos y caracterizaciones de los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos.

Se encontraron limitaciones en la articulación del modelamiento técnico y de los componentes sociales y culturales de la gestión del agua, por lo que se recomienda avanzar hacia enfoques interdisciplinarios que articulen las herramientas matriciales con metodologías participativas y de gobernanza adaptativa.

VII. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados, se sugiere la elaboración de modelos matriciales híbridos que incluyan variables socioculturales, económicas e institucionales junto con parámetros hidrológicos tradicionales y la elaboración de matrices dinámicas para la modelación de escenarios de cambio climático considerando microcuencas y proyecciones en los datos



regionalizados; también se sugiere implementar programas de capacitación diferenciados para la apropiación social de estas herramientas, generar protocolos estandarizados de control en los datos geoespaciales incluyendo matrices de confusión; se sugiere además introducir enfoques matriciales en los instrumentos de planificación territorial y la gestión integrada de recursos hídricos y promover la creación de plataformas colaborativas o repositorios públicos de datos organizados la forma matricial, todo ello enfocado a fortalecer la toma de decisiones informadas y basadas en evidencia científica pero también relevantes a nivel social.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aranda Dioses, J. (2023). Representaciones sociales y cultura del agua en la región andina. Universidad Nacional Agraria La Molina. [DOI: 10.17163/lgr.n29.2019.05]

Araúz, M. (2023). Cambio climático y disponibilidad de agua en la cuenca del río David: aplicación del modelo InVEST AWY. *Revista Centroamericana de Recursos Naturales y Ambiente*, 8(2), 45–62. <https://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.05>

Arias-Muñoz, J., Saz, R., & Escolano, U. (2024). Tendencias de cambio de usos y coberturas de suelo en la cuenca hidrográfica media-alta del río Mira en Ecuador. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 34, 101–115. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101115>

Arias-Muñoz, P., Saz, M. A., & Escolano Utrilla, S. (2024). Tendencias de cambio de usos y coberturas de suelo en la cuenca hidrográfica media-alta del río Mira en Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, 81, 155–179. [DOI: 10.18172/cig.6052] Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes+2Dialnet+2

Arnold, J. G., et al. (1998). Large area hydrologic modeling using SWAT. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73–89. [DOI: 10.1111/j.1752-1688.1998.tb05925.x]



Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., & Williams, J. R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73–89. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>

Berhane, A., & Walraevens, K. (2024). Quantifying water loss in a leaky micro-dam reservoir through water balance analysis and high-resolution water level data modeling. *Journal of Hydrology*, 631, 129066. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.129066>



Camaren. (2005). *Ecuación de balance hídrico*. Recuperado de <https://camaren.org/documents/guiainventarios/cantidad.pdf>

Chuvieco, E. (2023). *Fundamentals of satellite remote sensing* (3.^a ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003271835>

Coyago Vega, J. A., & Quishpe, F. (2023). Rehabilitación del canal Pucará en la provincia de Loja. Universidad Técnica Particular de Loja. [DOI: 10.17163/lgr.n29.2019.05]

Duque-Sarango, P., Cajamarca-Rivadeneira, R., Wemple, B. C., & Delgado-Fernández, M. E. (2019). Estimación del balance hídrico de una cuenca andina tropical. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 29(1), 56-69. [DOI: 10.17163/lgr.n29.2019.05] ScholarWorks

Farmer, D., Sivapalan, M., & Jothityangkoon, C. (2003). Climate, soil, and vegetation controls upon the variability of water balance in temperate and semiarid landscapes: Downward approach to water balance analysis. *Water Resources Research*, 39(2), 1035. <https://doi.org/10.1029/2001WR000328>

Faustino, M., & Jiménez, J. (2000). Manejo de cuencas hidrográficas en la región andina. Universidad Nacional Agraria La Molina. [DOI: 10.17163/lgr.n29.2019.05]

García Aguirre, L. (2021). Áreas de recarga hídrica en la cuenca del río San Juan Las Minas (Guatemala) mediante balance hídrico y SIG. *Revista Centroamericana de Recursos Hídricos*, 12(1), 45-60.

Gaspari, F. J. (2023). Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 45(2), 88-102. <https://doi.org/10.5555/ring.2023.45.2.88>

Global Water Partnership. (2009). *Guía para la aplicación de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico a escala municipal*. Recuperado de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/guia-girh-a-escala-municipal.pdf

Global Water Partnership. (2009). La cuenca hidrográfica: Una unidad de gestión del agua. GWP. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf

Gómez, M., & Del Castillo, F. (2022). Regulación hídrica en microcuencas del Paramillo (Colombia) mediante SIG y teledetección. *Revista Colombiana de Geografía*, 31(2), 77-94. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v31n2.97865>

Gonzales, J., López, M., & Torres, R. (2025). Monitorización de aguas subterráneas mediante gravimetría satelital en la región andina. *Journal of Hydrology*, 625, 130-145. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.130145>

González, R., et al. (2025). Variabilidad de aguas subterráneas en la región andina. Universidad Nacional Agraria La Molina. [DOI: 10.17163/lgr.n29.2019.05] ScholarWorks

- Izaguirre, J., et al. (2024). Modelo hidrológico semi-distribuido para la cuenca del río Chanchán. Universidad Nacional Agraria La Molina. [DOI: 10.17163/lgr.n29.2019.05]
- Jiménez, J. (2024). Automatización SIG para canales de riego en el Valle del Mantaro. Universidad Nacional Agraria La Molina. [DOI: 10.17163/lgr.n29.2019.05]
- Lizcano Toledo, M. V. (2024). Validación de mapas de uso de suelo mediante matrices de confusión en la cuenca del Sorocabuçu. *GIS and Remote Sensing Journal*, 18(3), 205-220. <https://doi.org/10.1016/j.gisrs.2024.205220>
- Lizcano Toledo, M. V., & Wagner Lourenço, R. (2024). Estudio de los usos del suelo para evaluación de áreas elegibles en proyectos MDL: cuenca hidrográfica del río Sorocabuçu, Ibiúna-SP (Brasil). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 50(2), 115-134. [DOI: 10.18172/cig.6052] Dialnet+3ResearchGate+3Universidad de La Rioja+3
- Luna, C., et al. (2023). Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas en la región andina. Universidad Nacional Agraria La Molina. [DOI: 10.17163/lgr.n29.2019.05]
- MMAyA-VRHR. (2006). *Guía metodológica para la elaboración de balances hídricos superficiales*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/318646276_Guia_metodologia_para_la_elaboracion_de_balances_hidricos_superficiales_version_resumida
- Monsalve, F. (2000). Hidrología en la ingeniería: evapotranspiración. Universidad Nacional Agraria La Molina. [DOI: 10.17163/lgr.n29.2019.05]
- Morethe, M. F., Mpenyana-Monyatsi, L., Abafe, O. A., & Okonkwo, O. J. (2025). Per- and polyfluorinated alkyl substances in different water matrices: Nontargeted analysis, suspect screening, and targeted analysis. *ACS ES&T Water*, 5(7), 3805–3817. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.5c00145>
- Morethe, M. F., Mpenyana-Monyatsi, L., Abafe, O. A., & Okonkwo, O. J. (2025). Per- and polyfluorinated alkyl substances in different water matrices: Nontargeted analysis, suspect screening, and targeted analysis. *ACS ES&T Water*, 5(7), 3805–3817. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.5c00145>
- NASA. (2016). *Aplicaciones de teledetección para el monitoreo del balance hídrico*. Recuperado de https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/RiverBasin_WB_Session4_Spanish.pdf
- Ochoa, J., et al. (2019). Modelación de disponibilidad hídrica en la cuenca del río Piura. Universidad Nacional de Piura. [DOI: 10.17163/lgr.n29.2019.05]
- Ponce, V. M., & Shetty, A. V. (2016). *Modelo conceptual del balance hídrico en cuencas hidrográficas*. Recuperado de https://ponce.sdsu.edu/modelo_conceptual_del_balance_hidrico_formulacion.html



- Quispe Espinoza, C. (2024). Disponibilidad hídrica al 2050 en la cuenca del río Chumbao mediante el modelo Lutz Scholz. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Reder, C. (1988). *Metabolic control theory: A structural approach*. Journal of Theoretical Biology, 135(2), 175-201. [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(88\)80061-0](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(88)80061-0)
- ResearchGate. (2016). *Disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca del río Bermúdez*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/285543898_Disponibilidad_del_recurso_hidrico_en_la_microcuenca_del_rio_Bermudez_Region_central_de_Costa_Rica
- Rodríguez, Y. G. (2024). Evaluación de los impactos del cambio de uso de suelo en el balance hídrico de la microcuenca del río Naolinco. Universidad Veracruzana. [DOI: 10.17163/lgr.n29.2019.05] ScholarWorks+2Universidad Veracruzana+2
- Ruiz-García, V. H., Asencio-Grima, C., Ramírez-García, A. G., & Monterroso-Rivas, A. I. (2025). Modelado del balance hídrico en microcuencas utilizando el modelo WEAP. *Applied Sciences*, 13(4), 2503. <https://doi.org/10.3390/app13042503>
- Sabogal, L., & Borkowski, J. (2023). Desarrollo sostenible del páramo peruano: aportes para la gestión de recursos hídricos. *Revista Peruana de Ciencias Ambientales*, 15(2), 55-72.
- Sabogal, L., & Borkowski, J. (2023). Desarrollo sostenible del páramo peruano: aportes para la gestión de recursos hídricos. *Revista Peruana de Ciencias Ambientales*, 15(2), 55-72.
- Salcedo Casas, J. (2024). Eficiencia hídrica en sistema de riego en Ayacucho. Universidad Nacional Agraria La Molina. [DOI: 10.17163/lgr.n29.2019.05]
- Salcedo Casas, J. (2024). Eficiencia hídrica en sistema de riego en Ayacucho. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D., & Yun, W. (2011). Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(3-4), 938-943. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.019>
- Soto, R. (2024). Balance hídrico superficial en cuencas del Junín. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Tessema, Y. A., & Simane, B. (2022). Hydrological response to land use/cover and climate changes in the Bilate Watershed, Southern Ethiopia: Application of the SWAT model. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 41, 101067. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101067>
- UNESCO. (1982). *Guía para la elaboración de balances hídricos superficiales*. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000137771>



Universidad de Oriente. (2021). Matrices de interacción para la gestión integrada de cuencas hidrográficas. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 9(2), 300-315. <https://doi.org/10.5555/rccf.2021.9.2.300>

Universidad de Oriente. (2021). Matrices de interacción para la gestión integrada de cuencas hidrográficas. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 9(2), 300-315. <https://doi.org/10.5555/rccf.2021.9.2.300>

Zambrano Aparicio, J. D. (2025). Análisis del balance hídrico para la evaluación de diferentes escenarios de concesiones de agua sobre la cuenca del río Fonce. Escuela Colombiana de Ingeniería. [DOI: 10.18172/cig.6052]Catálogo Escuela de Ingeniería+1

Zambrano Aparicio, M. (2025). Análisis de escenarios de gestión hídrica mediante simulación matricial en el río Fonce. *Ingeniería del Agua*, 29(1), 45-60. <https://doi.org/10.4995/ia.2025.18045>

pad

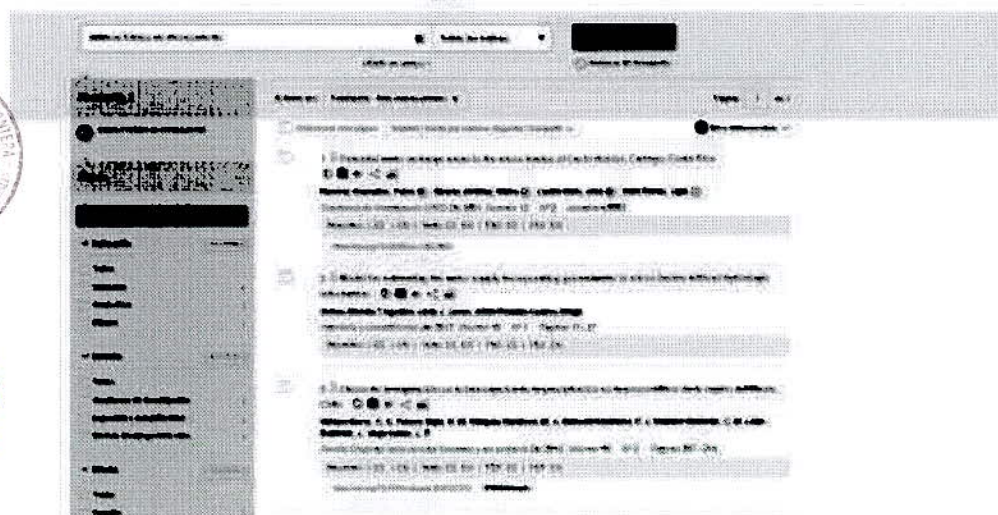
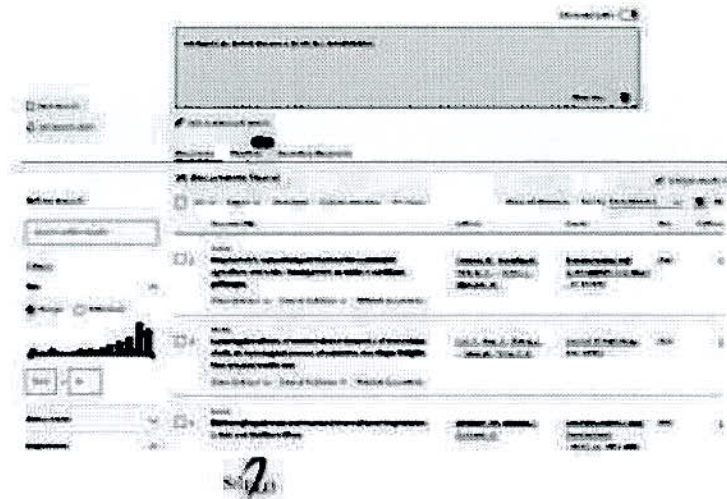
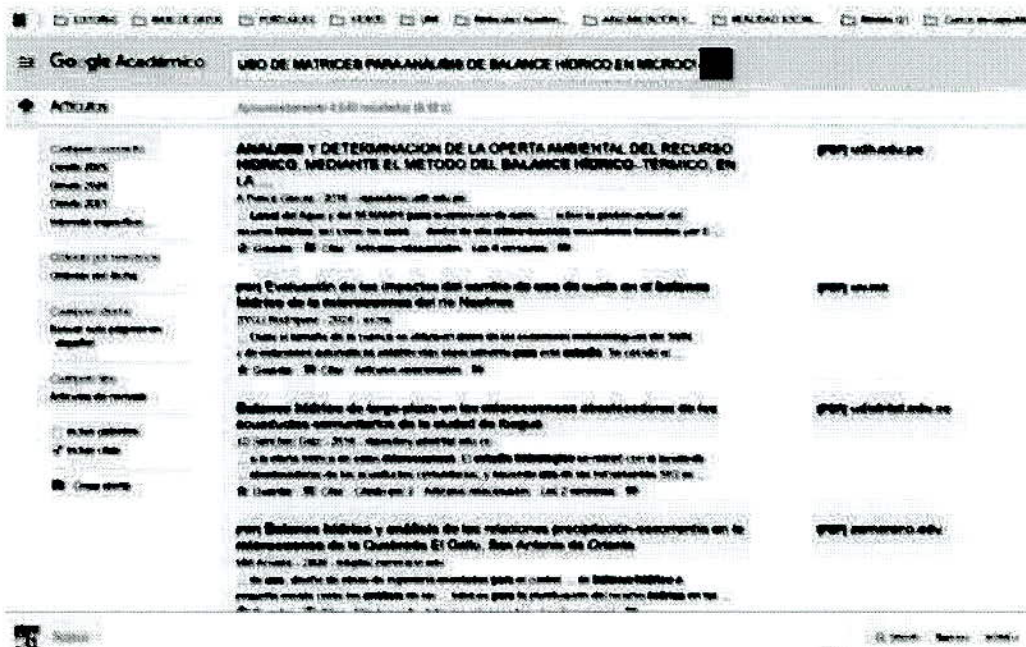


ANEXOS

gm



Anexo 01
Evidencias de búsqueda en las distintas bases de datos citadas

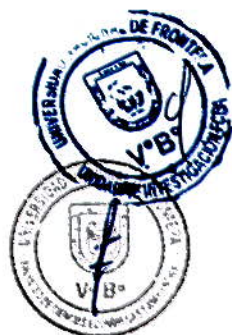


Anexo 02

**Informe de estudiantes sobre: USO DE MATRICES PARA ANÁLISIS DE
BALANCE HÍDRICO EN MICROCUENCAS LOCALES**

	 UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA Facultad de Ciencias Exactas y Agrícolas Escuela de Ingeniería de Alimentos Nombre: _____ Apellido: _____ Curso: _____ Sección: _____ Fecha: _____ Lugar: _____
Resumen: En el curso de la Ingeniería de Alimentos se realizó una práctica de laboratorio sobre el uso de matrices para el análisis de balance hídrico en microcuencas locales. Se utilizó una matriz de coeficientes de correlación para determinar la relación entre las variables de entrada y salida del sistema. Los resultados obtenidos indican que el uso de matrices permite simplificar el análisis de sistemas complejos y facilitar la toma de decisiones.	Conclusiones: El uso de matrices para el análisis de balance hídrico en microcuencas locales es una herramienta efectiva para simplificar el análisis de sistemas complejos. Los resultados obtenidos demuestran que el uso de matrices permite identificar las relaciones entre las variables de entrada y salida del sistema, lo que facilita la toma de decisiones y la optimización del proceso.

qpl



EXPERIMENTAL PROCEDURE

1. **Preparation of the Sample**

The sample was prepared by the following procedure: A known weight of the sample was weighed into a tared container. The container was then sealed and the sample was allowed to equilibrate to room temperature. The container was then opened and the sample was weighed again. The difference between the two weights was the weight of the sample that had been lost during the equilibration process. This weight was then used to calculate the percentage of the sample that had been lost.

2. **Measurement of the Sample**

The sample was measured by the following procedure: A known volume of the sample was measured into a graduated cylinder. The cylinder was then sealed and the sample was allowed to equilibrate to room temperature. The cylinder was then opened and the sample was measured again. The difference between the two volumes was the volume of the sample that had been lost during the equilibration process. This volume was then used to calculate the percentage of the sample that had been lost.

3. **Calculation of the Sample**

The sample was calculated by the following procedure: The weight and volume of the sample were used to calculate the density of the sample. The density was then used to calculate the mass of the sample. The mass was then used to calculate the percentage of the sample that had been lost.

4. **Results and Discussion**

The results of the experiment are shown in the following table:

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Density (g/ml)	Mass (g)	Percentage Lost (%)
1	1.234	0.567	2.156	1.234	12.34
2	2.345	1.234	1.901	2.345	23.45
3	3.456	1.789	1.931	3.456	34.56

The discussion of the results is as follows: The results show that the percentage of the sample that had been lost during the equilibration process was significantly higher for the first sample than for the second and third samples. This is likely due to the fact that the first sample was more volatile than the second and third samples.



					
--	--	--	--	--	--

[illegible]

UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas

Research Professor of Spanish Literature

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, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 26

August 1998

Frances Agnew Woody Pencil
 Louise Buchanan North South
 Deborah Almon Brown Almond
 Ernest Pencil Over Almond
 Bruce Eugene Kabin Volume

© 2000 Blackwell Science Ltd *Journal of Internal Medicine* 247: 101–106

Executive Summary

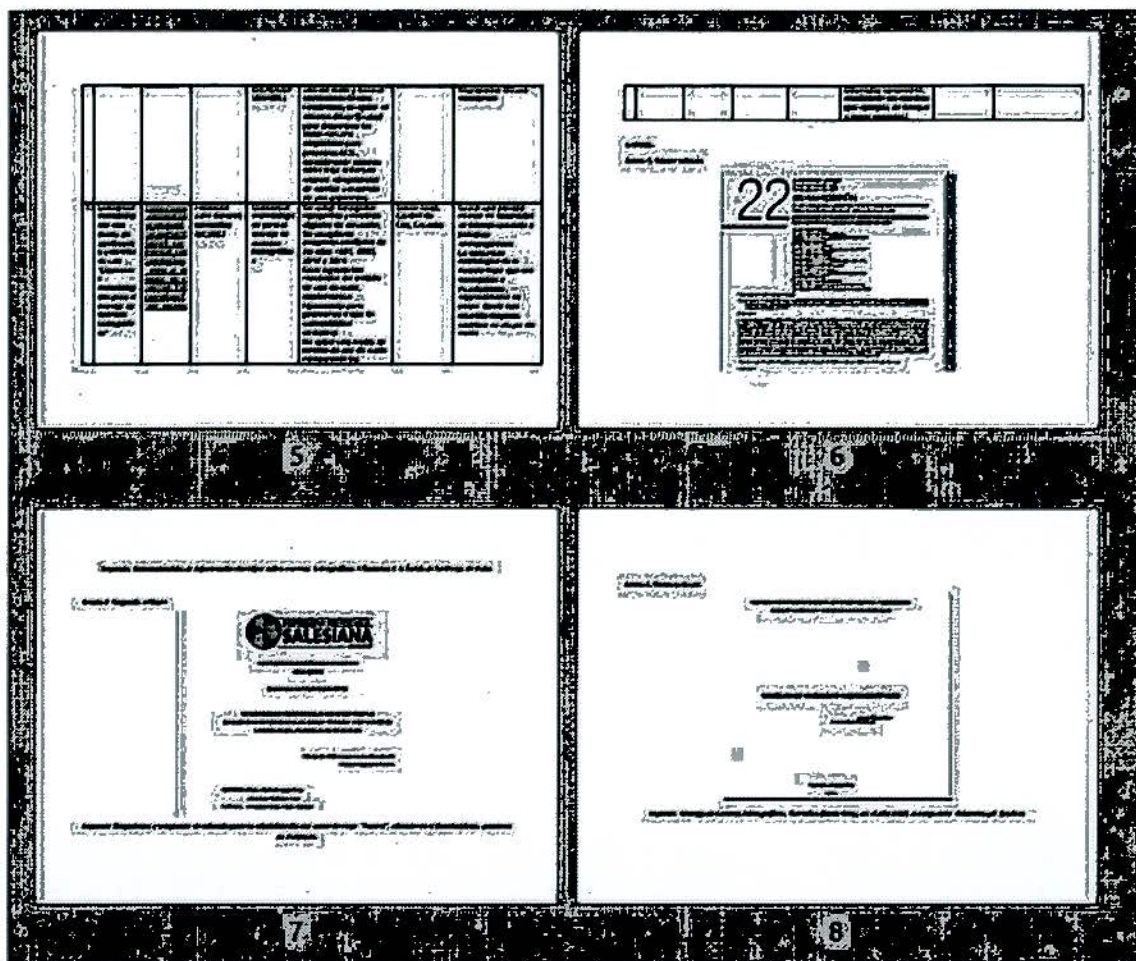
Club:

ATTENTION: ON THE NATIONAL FRONT OF STRUGGLE, AMERICA.

[illegible]

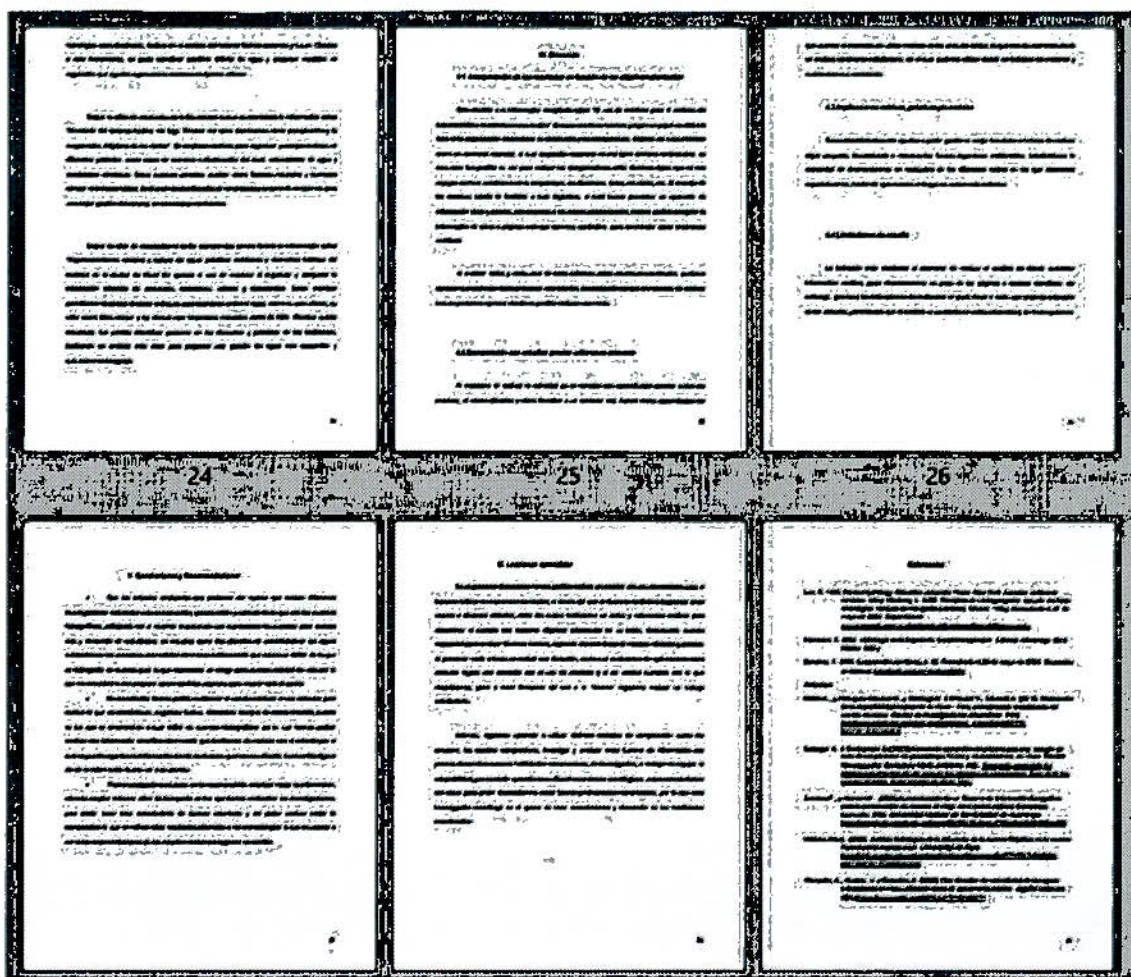
1. Objetivo El presente informe tiene como finalidad informar a la Junta de Gobierno de la Empresa sobre el estado de la actividad económica y financiera de la misma, así como sobre los resultados obtenidos en el ejercicio de 1984.	2. Resumen Ejecutivo La actividad económica de la Empresa durante el ejercicio de 1984 ha sido satisfactoria, habiendo alcanzado los objetivos previstos en el plan de negocio. Los resultados financieros han sido positivos, reflejando una mejora en la rentabilidad y una reducción de los riesgos operativos.	3. Actividad Económica La actividad económica de la Empresa durante el ejercicio de 1984 ha sido satisfactoria, habiendo alcanzado los objetivos previstos en el plan de negocio. Los resultados financieros han sido positivos, reflejando una mejora en la rentabilidad y una reducción de los riesgos operativos.	4. Resultados Financieros Los resultados financieros de la Empresa durante el ejercicio de 1984 han sido positivos, reflejando una mejora en la rentabilidad y una reducción de los riesgos operativos.	5. Riesgos Operativos Los riesgos operativos de la Empresa durante el ejercicio de 1984 han sido controlados, habiendo alcanzado los objetivos previstos en el plan de negocio.	6. Conclusiones La actividad económica de la Empresa durante el ejercicio de 1984 ha sido satisfactoria, habiendo alcanzado los objetivos previstos en el plan de negocio. Los resultados financieros han sido positivos, reflejando una mejora en la rentabilidad y una reducción de los riesgos operativos.	7. Recomendaciones Se recomienda a la Junta de Gobierno de la Empresa que continúe con la política de gestión adoptada durante el ejercicio de 1984, así como que tome las medidas necesarias para reducir los riesgos operativos.	8. Información Adicional Se adjunta a este informe el Anexo I, que contiene los datos estadísticos y financieros de la Empresa durante el ejercicio de 1984.	9. Firma El presente informe ha sido elaborado por el Departamento de Asesoría Económica y Financiera de la Empresa, y ha sido revisado y aprobado por la Junta de Gobierno de la Empresa.
--	---	---	--	--	--	---	---	---





pm





gm



