



UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO

ESCUELA DE POSTGRADO

FACTORES DETERMINANTES PARA EL COMPORTAMIENTO DEL VOLUMEN DE AGUA DE LA LAGUNA PALCACOCHA MEDIANTE UN MODELO HIDROLÓGICO CIUDAD DE HUARAZ, ÁNCASH AÑO 2020

Tesis para optar el grado de Doctor
en Ciencia e Ingeniería de la Computación

NIVARDO ALEJANDRO ROMERO HUAYTA

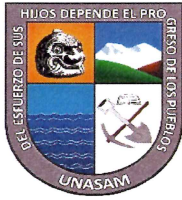
Asesor: **Dr. EDWIN JOHNY ASNATE SALAZAR**

Huaraz – Áncash - Perú

2025

Nº. Registro: TE0133





**UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
ESCUELA DE POSTGRADO**

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los miembros del Jurado de Sustentación de Tesis Doctoral, que suscriben, reunidos en acto público en el Auditorio de la Escuela de Postgrado, de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" para calificar la sustentación de la Tesis presentada por el:

MAESTRO: NIVARDO ALEJANDRO ROMERO HUAYTA

TÍTULO : "FACTORES DETERMINANTES PARA EL COMPORTAMIENTO DEL VOLUMEN DE AGUA DE LA LAGUNA PALCACOCHA MEDIANTE UN MODELO HIDROLÓGICO CIUDAD DE HUARAZ, ANCASH AÑO 2020"

Después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas y observaciones finales, lo declaramos:

APROBADO, con el calificativo de DIECISEIS (16)

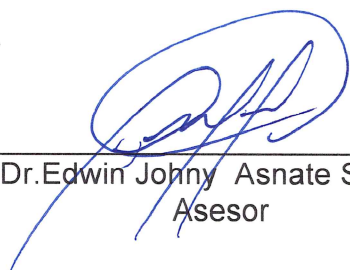
De conformidad al Reglamento General a la Escuela de Postgrado y al Reglamento de Normas y Procedimientos para optar los Grados académicos de Maestro y Doctor, queda en condición de ser aprobado por el consejo de la escuela de Postgrado y recibir el Grado Académico de Doctor en **CIENCIA E INGENIERÍA DE LA COMPUTACIÓN** a otorgarse por el honorable consejo universitario de la UNASAM.

Huaraz, 16 de abril del 2024


Dr. Ángel Deciderio Mendoza López
PRESIDENTE


Dr. Alexander Pacheco Castillo
SECRETARIO


Dr. Esteban Julio Medina Rafaile
VOCAL


Dr. Edwin Johnny Asnate Salazar
Asesor

Anexo de la R.C.U N° 126 -2022 -UNASAM
ANEXO 1
INFORME DE SIMILITUD.

El que suscribe (asesor) del trabajo de investigación titulado:

“Factores determinantes para el comportamiento del volumen de agua de la laguna Palcacocha mediante un modelo hidrológico ciudad de Huaraz, Ancash año 2020”

Presentado por: Romero Huayta Nivardo Alejandro.

con DNI N°: 31941026

para optar el Grado de Doctor en:

Ciencia e Ingeniería de la Computación.

Informo que el documento del trabajo anteriormente indicado ha sido sometido a revisión, mediante la plataforma de evaluación de similitud, conforme al Artículo 11° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de :17%..... de similitud.


Evaluación y acciones del reporte de similitud para trabajos de investigación, tesis posgrado, textos, libros, revistas, artículos científicos, material de enseñanza y otros (Art. 11, inc 2 y 3)

Porcentaje	Evaluación y acciones	Seleccione donde corresponda
Del 1 al 20%	Esta dentro del rango aceptable de similitud y podrá pasar al siguiente paso según sea el caso.	<input checked="" type="radio"/>
Del 21 al 30%	Devolver al autor para las correcciones y se presente nuevamente el trabajo en evaluación.	<input type="radio"/>
Mayores al 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes; sin perjuicio de las sanciones administrativas que corres andan de acuerdo a Ley.	<input type="radio"/>

Por tanto, en mi condición de **Asesor responsable**, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software anti-plagio.

Huaraz, 16/04/2025

Apellidos y Nombres:


Dr. Edwin J. Asnate Salazar
C.O.P.E. 1192
Asnate Salazar/Edwin Johny

DNI N°:

80194557

Se adjunta:

1. Reporte completo Generado por la plataforma de evaluación de similitud

Nivardo

T033_N°DEDNI_D.docx

 My Files

 My Files

 Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::8100:459136467

Fecha de entrega

14 may 2025, 7:21 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

14 may 2025, 7:54 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

T033_N°DEDNI_D.docx

Tamaño de archivo

1.5 MB

88 Páginas

13.615 Palabras

75.879 Caracteres

17% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.




Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Cited Text
- ▶ Small Matches (less than 8 words)

Exclusions

- ▶ 19 Excluded Matches

Top Sources

- 15%  Internet sources
- 3%  Publications
- 11%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

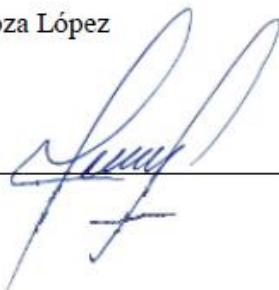
Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

MIEMBROS DEL JURADO

Doctor Ángel Deciderio Mendoza López

Presidente



Doctor Alexander Pacheco Castillo

Secretario



Doctor Esteban Julio Medina Rafaile

Vocal



ASESOR

Doctor Edwin Johny Asnate Salazar



AGRADECIMIENTO

- A Dios, a mis padres, a los docentes del doctorado y compañeros de estudio, por haber contribuido de una y otra forma para hacer realidad este sueño.

A Dios;
a mis padres,
especialmente a mi madre María,
que con su apoyo incondicional
permitió lograr mi objetivo.

A mis hermanas y mis hermanos,
que con su apoyo moral
me impulsaron a perseguir mis metas
y nunca abandonarlas frente a las adversidades.

ÍNDICE

	Página
Resumen	vii
Abstract	viii
INTRODUCCIÓN	1-3
Capítulo I	
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	11-15
1.1 Planteamiento y formulación del problema	11
1.2 Objetivos	13
1.3 Justificación	13
1.4 Delimitación	15
Capítulo II	
MARCO TEÓRICO	16-49
2.1 Antecedentes de la investigación	16
2.2 Bases teóricas	23
2.3 Definición de términos	48
2.4 Hipótesis	49
2.5 Variables	49
Capítulo III	
METODOLOGÍA	50
3.1 Tipo de investigación	50
3.2 Diseño de investigación	50
3.3 Población y muestra	50
3.4 Técnicas e instrumentos	50
3.5 Plan de procesamiento y análisis de datos	50
Capítulo IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51-62
4.1 Presentación de resultados	51
4.2 Prueba de hipótesis	53
4.3 Discusión	58
Conclusiones	62
Recomendaciones	63
Referencias	64
Anexos	

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue identificar los factores que determinan el comportamiento del volumen de agua en la laguna Palcacocha, ubicada en la ciudad de Huaraz, en el departamento de Áncash, durante el año 2020. La población correspondió al volumen total de agua de la laguna, que para ese año ascendía a 17,100,345 m³. El estudio, de tipo aplicado y diseño no experimental de corte longitudinal, utilizó un modelo hidrológico basado en regresión logística múltiple mediante el método de selección progresiva de Wald. Se concluyó que los factores climáticos y propios de la laguna tienen un impacto significativo en el comportamiento del volumen de agua, validando su influencia. En ausencia de un control adecuado sobre estos factores, el volumen de agua podría incrementarse de manera descontrolada, generando un riesgo de desborde que podría afectar tanto a las edificaciones como a la población de las zonas de Huaraz e Independencia, consideradas de muy alto y alto nivel de peligro en el departamento de Áncash.

Palabras clave: sinfonamiento, factores climáticos, laguna, modelo hidrológico

ABSTRACT

The objective of the research was to identify the factors that determine the behavior of the volume of water in the Palcacocha lagoon, located in the city of Huaraz, department of Áncash, during the year 2020. The population studied corresponded to the total volume of water in the lagoon, which for that year amounted to 17,100,345 m³. The study, of applied type and non-experimental longitudinal design, used a hydrological model based on multiple logistic regression using the progressive Wald selection method. It was concluded that the climatic and lagoon factors have a significant impact on the behavior of the water volume, validating their influence. In the absence of adequate control over these factors, the volume of water could increase in an uncontrolled manner, generating a risk of overflow that could affect both the buildings and the population of the areas of Huaraz and Independencia considered to be of very high and high level. of danger in the department of Áncash.

Keywords: symphony, climatic factors, lagoon, hydrological model

INTRODUCCIÓN

La hidrología es la ciencia que estudia el agua en sus diversas manifestaciones, incluyendo su ocurrencia, circulación, distribución y propiedades físicas y químicas. El uso de modelos hidrológicos ha permitido predecir su comportamiento en relación con su almacenamiento en distintos cuerpos de agua, como lagunas, ríos y lagos. Sin embargo, la precisión de estos modelos depende en gran medida de la cantidad y calidad de los datos suministrados; es decir, a mayor disponibilidad de información, mayor fiabilidad de las predicciones obtenidas.

En este contexto, el Centro de Operaciones de Emergencia Regional (COER) desempeña un papel fundamental en el monitoreo y recopilación de información sobre los peligros y vulnerabilidades asociados a eventos naturales, tales como aluviones, huaycos y terremotos. En particular, la laguna Palcacocha, ubicada en la ciudad de Huaraz, región Áncash, representa un riesgo latente debido a la variabilidad de su volumen de agua, cuyo crecimiento descontrolado podría derivar en desbordes catastróficos que afectarían tanto a la infraestructura como a la población de Huaraz e Independencia, consideradas zonas de alto y muy alto peligro.

El presente estudio tiene como objetivo identificar los factores determinantes en la variación del volumen de agua de la laguna Palcacocha mediante la aplicación de un modelo hidrológico para el año 2020. La población y muestra de la investigación está representada por el volumen de agua de la laguna, el cual ascendió a 17,100,345 m³ hasta el año 2022. Se ha evaluado la influencia de factores climáticos y geográficos en la dinámica de almacenamiento hídrico, determinando que estas variables tienen un impacto significativo en la evolución del volumen de agua. La ausencia de un control

efectivo sobre estos factores podría propiciar un incremento progresivo del nivel de la laguna, aumentando el riesgo de desbordes y sus potenciales consecuencias. Asimismo, la validez del modelo hidrológico propuesto fue verificada mediante la prueba estadística de Box-Pierce, lo que confirma su capacidad predictiva y su utilidad para la gestión del riesgo hídrico en la zona de estudio.

La tesis se estructura en cuatro capítulos. En el primer capítulo, se expone el planteamiento y formulación del problema, los objetivos, la justificación y la delimitación del estudio. En el segundo capítulo, se presentan los antecedentes de la investigación, las bases filosóficas y epistemológicas, el marco teórico, la definición de términos, las hipótesis y las variables de estudio. El tercer capítulo describe el enfoque metodológico, incluyendo el tipo y diseño de investigación, la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, así como el plan de procesamiento y análisis de la información. Finalmente, en el cuarto capítulo, se presentan los resultados obtenidos, la prueba de hipótesis y la discusión de los hallazgos. A modo de cierre, se incluyen las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento y formulación del problema

La geografía del Perú se caracteriza por la abundancia de cuerpos de agua, entre los cuales se encuentran lagos y lagunas de diversas dimensiones y características. Según la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN, 1980), el país alberga 12,201 lagunas, distribuidas en tres principales vertientes: la del Atlántico, que concentra el 61% (7,441 lagunas); la del Pacífico, con el 32% (3,896 lagunas); y la cuenca del Titicaca, que alberga el 7% (841 lagunas). La mayoría de estos cuerpos de agua son de origen glaciar y desempeñan un papel fundamental en la regulación hídrica, alimentando los ríos que discurren hacia la costa y la selva.

Uno de los desafíos más críticos que enfrenta la hidrología en el contexto peruano es el impacto del calentamiento global sobre los ecosistemas de alta montaña. De acuerdo con SERVINDI (s. f.), en los últimos 40 años, el aumento sostenido de la temperatura ha provocado la reducción irreversible de más del 40% de los glaciares del país, afectando la disponibilidad de recursos hídricos en los valles andinos y las ciudades costeras. Esta crisis tiene implicancias directas en la seguridad hídrica y energética, dado que el 54% de la generación hidroeléctrica del país depende del agua proveniente de los glaciares.

En este contexto, la laguna Palcacocha, ubicada en la Cordillera Blanca, representa un riesgo latente para la ciudad de Huaraz, en el departamento de Áncash. Este cuerpo de agua se encuentra a una altitud de 4,562 m s. n. m., en la cima de la quebrada Cojup, y está retenido por un dique morrénico cuya estabilidad se ha visto

comprometida por el derretimiento glaciar. Según Frey et al. (2018), el volumen de la laguna ha experimentado un crecimiento alarmante en las últimas décadas, alcanzando en 2022 un volumen estimado de 17,403,353 m³, con una longitud máxima de 1,590 m, un ancho de 433 m y una profundidad de 71 m (Proyecto Glaciares, s.f.).

El historial de eventos catastróficos asociados a esta laguna refuerza la urgencia de su monitoreo y estudio. En 1941, un desprendimiento glaciar generó olas que fracturaron el dique natural de la laguna, provocando un aluvión que descendió por el valle de Cojup, arrasando la laguna Jiracocha y transportando grandes volúmenes de agua, hielo, rocas y lodo hacia el río Santa. En un lapso de 15 minutos, un flujo de aproximadamente 400,000 m³ de escombros alcanzó la ciudad de Huaraz, ocasionando la muerte de alrededor de 1,800 personas y la destrucción parcial de la infraestructura urbana.

En las últimas cuatro décadas (1974-2016), el tamaño de la laguna se ha incrementado 34 veces, lo que indica una tendencia preocupante de expansión. Ante este escenario, la posibilidad de un nuevo desborde debido a movimientos sísmicos o cambios climáticos representa un peligro inminente para la población de Huaraz y sus alrededores. La cercanía de la laguna con los glaciares en retroceso sugiere que la estabilidad del cuerpo de agua seguirá viéndose afectada, incrementando el riesgo de eventos catastróficos.

En consecuencia, la presente investigación tiene como objetivo identificar los factores determinantes que influyen en la variación del volumen de agua de la laguna Palcacocha, con el fin de evaluar su comportamiento y los riesgos asociados. Se parte de la premisa de que, en ausencia de un control efectivo sobre estos factores, el

volumen de agua continuará en aumento, elevando la probabilidad de desbordamiento y sus potenciales efectos adversos sobre la población, los ecosistemas y la infraestructura urbana. A partir de este análisis, se busca generar información relevante para la gestión del riesgo hídrico y la formulación de estrategias de mitigación que contribuyan a la seguridad y sostenibilidad de la región.

Formulación del problema

¿Cuáles son los factores determinantes para pronosticar el comportamiento del volumen de agua de la laguna Palcacocha por medio de un modelo hidrológico en la ciudad de Huaraz, Áncash, año 2020?

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Identificar los factores determinantes para pronosticar el comportamiento del volumen de agua de la laguna Palcacocha con un modelo hidrológico en la ciudad de Huaraz, Áncash, año 2020.

1.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar los factores determinantes de clima para el volumen de agua.
- ✓ Determinar los factores determinantes de laguna para el volumen de agua

1.3. Justificación

El presente estudio tiene como propósito generar información científica sobre el comportamiento del volumen de agua de la laguna Palcacocha, proporcionando un pronóstico que pueda ser utilizado por el Centro de Operaciones de Emergencia Regional (COER), la Subgerencia de Defensa Civil y la Gerencia Regional de Recursos Naturales del Gobierno Regional de Áncash. La finalidad de esta investigación es

advertir los riesgos potenciales asociados al crecimiento del volumen de agua y contribuir a la salvaguarda de la vida de miles de habitantes de la ciudad de Huaraz, en el departamento de Áncash.

Justificación social

El estudio responde a la necesidad de fortalecer la capacidad de prevención y gestión del riesgo de desastres en la región, mediante la implementación de un modelo hidrológico capaz de predecir el comportamiento del volumen de agua de la laguna Palcacocha. La información obtenida permitirá a las autoridades tomar decisiones informadas para minimizar el impacto de un eventual desbordamiento, protegiendo así a la población, los bienes materiales y el ecosistema circundante. Además, los resultados de esta investigación contribuirán a la generación de conocimiento en el campo de la hidrología, reforzando las estrategias de monitoreo y control de cuerpos de agua en zonas de riesgo.

Justificación práctica

Desde una perspectiva aplicada, la investigación busca desarrollar e implementar un modelo hidrológico predictivo, el cual permitirá analizar y anticipar el comportamiento del volumen de agua de la laguna Palcacocha. Este enfoque facilitará la identificación temprana de escenarios de riesgo, brindando herramientas para la planificación de estrategias de mitigación y respuesta ante posibles emergencias.

Para alcanzar estos objetivos, se han empleado técnicas de investigación rigurosas, como la observación sistemática y el uso de software especializado en modelado hidrológico. La validez y confiabilidad de los resultados permitirán que el modelo propuesto sea replicado en futuros estudios y pueda ser adoptado por

instituciones académicas y gubernamentales dedicadas a la gestión del recurso hídrico y la prevención de desastres.

En este sentido, la presente investigación no solo proporciona un marco metodológico para el análisis de lagunas glaciares, sino que también representa una herramienta fundamental para la toma de decisiones basada en evidencia, contribuyendo al desarrollo de políticas públicas orientadas a la gestión integral del riesgo de desastres en la región andina.

1.4. Delimitación

El proyecto se realizó en Huaraz, departamento de Áncash, en el año 2020. Para el análisis de datos se consideró el volumen de agua de los años 1946 al 2020.

La laguna de Palcacocha se encuentra ubicada al pie de dos grandes nevados: Palcaraju y Pucaranra, en la cima de la quebrada del Cojup en el Parque Nacional Huascarán, al este de la ciudad de Huaraz - Áncash. Sus coordenadas UTM son 238,750 metros al este, 8,960,551 metros al norte, con una altura de 4.561.909 m s. n. m.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación

2.1.1. Antecedente internacional

Rodas (2018) desarrolló la investigación *Análisis de la regulación hidrológica de las lagunas de la región de Ostro Páramo del Ecuador* con el propósito de evaluar la capacidad de las lagunas de la cuenca del Páramo, ubicadas en la parte alta del río Tomebamba y de esta manera regular los recursos hídricos. Para ello, utilizó los modelos hidrológicos VHM (Variable Infiltration Capacity Model) y TOPMODEL (Topography-Based Hydrological Model) con el fin de analizar la retención de agua en los suelos del Páramo y los riesgos asociados a desbordamientos provocados por lluvias intensas, nevadas o eventos sísmicos durante la temporada de precipitaciones. El estudio adoptó un enfoque cuantitativo con un diseño no experimental. Los resultados obtenidos mediante TOPMODEL mostraron que, cuando el caudal es menor a 28 m³/s, la escorrentía superficial representa el 100% del flujo, lo que evidencia una notable capacidad de regulación en la cuenca del Tomebamba, incluso en los meses más secos. En conclusión, ambos modelos, VHM y TOPMODEL, resultaron útiles para comprender el comportamiento hidrológico de la cuenca, facilitar la planificación de medidas preventivas que aseguren una alta retención de agua en los suelos del Páramo y reducir los riesgos de desbordamientos a causa de lluvias intensas nevadas o eventos sísmicos que podrían afectar a la población.

2.1.2. Antecedentes nacionales

García Tadeo (2024) desarrolló la investigación *Detección de avalanchas de origen glaciar a través de cambios del flujo de radón en el ambiente proglacial Palcacocha* con el objetivo de identificar avalanchas mediante el análisis de las variaciones en el flujo de radón en el entorno proglacial de Palcacocha. El estudio se llevó a cabo bajo un enfoque cuantitativo correlacional. Se concluyó que las series temporales de concentración de radón son efectivas para monitorear el comportamiento geodinámico externo en ambientes glaciales. Sin embargo, la detección de avalanchas a través de concentraciones de radón no habría sido posible sin la integración de datos SAR y condiciones de luz adecuadas. Además, se destacó que estas avalanchas influyen en el aumento del volumen de agua de la laguna Palcacocha, lo que genera la formación de olas, incrementando el riesgo asociado a los glaciares tropicales y sus bloques inestables.

Gamarra (2018), en su investigación *Aplicación del modelo hidrológico Lutz Scholz para determinar caudales medios mensuales en la subcuenca del río Quiroz*, se propuso como objetivo principal estimar el caudal medio mensual de la subcuenca mencionada utilizando el modelo Lutz Scholz. Este estudio buscó proporcionar información al plan de aprovechamiento hídrico de la cuenca Chira Piura, desarrollado por el consejo de recursos hídricos. La metodología aplicada fue de carácter cuantitativo y predictivo. Los resultados obtenidos indicaron que los caudales calculados mediante este modelo coincidieron adecuadamente con los caudales observados, lo que evidenció la alta efectividad del modelo.

Por otro lado, en el estudio *Simulación hidrológica de la laguna Aricota y optimización de la Central Hidroeléctrica Aricota III*, Escalante (2016) se centró en simular el comportamiento hidrológico de la laguna Aricota con el fin de analizar la evolución del volumen de agua y su disponibilidad para la operación de la central hidroeléctrica Aricota III, empleando el modelo WEAP. La investigación siguió un enfoque cuantitativo con diseño no experimental. El modelo fue calibrado y validado en tres estaciones de monitoreo, logrando resultados estadísticos satisfactorios (como los índices Nash, BIAS y EMC), lo que validó su capacidad para representar las características de la cuenca y los sistemas de consumo de agua. Las simulaciones generaron series de caudales para el período 1966-2013 en diversos puntos de observación, destacando los caudales en las desembocaduras de los ríos Callaza y Salado, que reflejaron la cantidad de agua que fluye hacia los embalses. Estos resultados pusieron de manifiesto que una gestión inadecuada del agua podría generar riesgos para la población, además de los efectos directos de las precipitaciones sobre la laguna. Finalmente, la calibración y validación del modelo en los puntos de control Yesera, Coranchay y Pallata confirmaron que el modelo WEAP es efectivo para replicar el comportamiento hidrológico de la cuenca. Sin embargo, se destacó que una gestión incorrecta de los recursos hídricos podría provocar riesgos derivados de lluvias intensas y oleaje en el sistema regulador de la laguna Aricota.

Inga (2016) realizó el estudio *Modelo dinámico de sistemas para determinar la calidad de agua en la Laguna Patarcocha por vertimiento de aguas residuales de los asentamientos humanos aledaños, Pasco, 2016* con el objetivo central de evaluar si las descargas de aguas residuales provenientes de las comunidades aledañas están

generando un deterioro progresivo en la calidad del agua de la laguna. Para ello, empleó un enfoque no experimental y descriptivo. Según las proyecciones del INEI, partiendo de un caudal inicial de 8,97 L/s en 2010, se estima que, debido al crecimiento poblacional en las áreas cercanas, el caudal de aguas residuales podría alcanzar los 10,2 L/s en 2026. Este incremento provocaría un deterioro gradual en la calidad del agua, como lo evidencia el modelo dinámico de sistemas aplicado en el estudio. Además, se destacó que el volumen de la laguna podría aumentar debido a factores naturales como lluvias, nevadas, vientos fuertes y sismos, lo que podría generar desbordes y representar un riesgo para los habitantes cercanos. El estudio concluyó que la calidad del agua en la Laguna Patarcocha se verá afectada por el aumento de las descargas de aguas residuales provenientes de los asentamientos humanos. Aunque el caudal de agua en la tubería aumentará a 9,8 L/s, el número de coliformes disminuirá de 11,000 unidades por litro en 2010 a 6,600 unidades por litro en 2026 gracias a los esfuerzos de limpieza. Asimismo, se proyecta una reducción en la concentración de fosfatos, de 78 mg/l en 2010 a 10 mg/l en 2026, lo que limitará el crecimiento de microorganismos. Estos indicadores son clave para monitorear la calidad del agua. En síntesis, se anticipa un deterioro progresivo en la calidad del agua, por lo que será crucial controlar el incremento en el volumen de agua en la laguna, ya que fenómenos naturales como lluvias, nevadas y sismos podrían desencadenar desbordes con consecuencias graves para las poblaciones cercanas.

En su tesis titulada *Estudio de los efectos de las actividades ribereñas de la población en el comportamiento de la laguna de Ñahuinpuquio - Chupaca*, Campos (2015), se planteó como objetivo analizar el impacto de las actividades fluviales de la población sobre el comportamiento de la laguna de Ñahuinpuquio, con miras a su sostenibilidad como ecosistema en el año 2025. Identificó factores externos como el viento, las lluvias y las nevadas, que influyen en el aumento del volumen de agua, lo cual genera un comportamiento creciente en el nivel del agua de la laguna. El estudio empleó un enfoque de investigación descriptiva, no experimental. Los resultados revelaron que la carga de fósforo total fue más baja en la época seca que en la época húmeda, afectando el comportamiento de la laguna de Ñahuinpuquio y modificando su capacidad de captura. En 2015, durante la época seca, la concentración de coliformes totales en la laguna fue de 220.26 NMP/100 ml, la cual fue la más alta registrada, pero aún dentro del límite permitido por la norma de calidad ambiental (DS.002-2008-MINAM), que establece un máximo de 2000 NMP/100 ml. En conclusión, las actividades humanas, como la agricultura, ganadería y el turismo a lo largo del río, amenazan la supervivencia de la laguna y su biodiversidad debido al uso de fertilizantes químicos, desechos animales y sólidos producidos por la población y el turismo. En consecuencia, las autoridades deben implementar trabajos preventivos para mitigar o controlar el riesgo de desbordamiento de la laguna, especialmente durante las estaciones de viento, lluvias y nevadas, que incrementan el volumen de agua en la laguna.

2.2. Bases filosóficas y epistemológicas

La investigación mantiene fundamentos epistemológicos y filosóficos, según las siguientes teorías científicas incluidas en la tendencia positivista.

Para Guamán Chacha et al. (2020), el positivismo es una filosofía donde el principio que importa es la concepción del mundo usado en la actualidad. En relación a ello, el conocimiento es la realidad y los estándares de autenticidad del conocimiento tienen sus propias raíces y validez. La conciencia se compone de ideas y modelos mentales. La conexión entre ellos y el entendimiento es el proceso mediante el cual se entienden los objetos a través de los sentidos. Su origen se basa en las ciencias naturales y se enfoca exclusivamente en entender los fenómenos y sus causas, sin considerar cuestiones de evaluación.

Una orientación positivista es una explicación metodológica de la investigación que es superior a otras normas de investigación y que determina objetiva y empíricamente la realidad especialmente con el tiempo, debido a la urgente necesidad de responder a las preguntas más simples, como ¿qué es la autenticidad?, ¿cómo se define el conocimiento? ¿cómo se define el intelecto? y poder explicar de qué manera la persona busca la verdad y la generación del entender a partir de ello? (Villamar, 2015, p. 31)

De este modo, se inició el estudio identificando la influencia del modelo meteorológico y la relación con los factores condicionantes que determinan el comportamiento del volumen que provocará daños muy graves al derramarse. Por lo tanto, el estudio se basa en la óptica y la dinámica del sistema.

Serra (2016) señala que la complejidad del sistema es una distinción única del sistema y varía con la cantidad de elementos y las relaciones entre ellos. La realidad se proyecta en diversos grados de complejidad. Estos niveles existen no solo en el mundo real, sino también en los sistemas lingüísticos lógicos y teóricos. La situación de la globalización se está volviendo cada vez más compleja, por lo que es necesario abordar la complejidad dinámica. Por tanto, es necesario abordar la visión holística del análisis reduccionista hacia el concepto que identifica fenómenos específicos como sistemas.

Cadenas Anaya y Guaita (2020) sostienen que la definición de sistemas es amplia y que el uso de este enfoque ha ganado más cobertura a nivel organizacional en los últimos años. Esta posición nos permite discutir la ubicuidad de los sistemas, lo que significa que los sistemas deben ser ubicuos, es decir, asegurar una interacción constante para promover el logro de las metas institucionales.

Los modelos hidrológicos, al ser considerados como una herramienta que permite generar conocimiento respecto a los sistemas hídricos, contribuyen en ayudar en la decisión respecto a la gestión del sistema hídrico. En tal sentido, los modelos hídricos deben ser implementados de acuerdo a las necesidades de la gestión hídrica, de tal forma que permitan generar conocimiento y, sobre todo, realizar predicciones referentes al comportamiento de un sistema hídrico, como puede ser el caso de una laguna, ríos, lagos, entre otros (Rincón Rodríguez, 2018).

2.3. Bases teóricas

Factor determinante

En general, lo que llamamos determinantes se refiere a las causas principales de un determinado fenómeno. Si no tenemos una comprensión mínima de las circunstancias, hechos, eventos o condiciones que crean el problema, nos resultará difícil desarrollar estrategias de intervención adecuadas para mitigar o resolver eficazmente el problema (Aguilar, 2013).

2.3.1 Factores determinantes del clima

Cielo

Es la parte de la atmósfera y el espacio que podemos ver desde la Tierra, donde se observan las nubes, el sol, la luna y las estrellas. Según la temperatura y las condiciones climáticas, puede haber cielos nublados cuando la luz solar es escasa y las nubes son constantes, o cielos despejados cuando hay pocas nubes y el sol está presente todo el día. En general, se considera al cielo como el espacio por el que se desplazan las estrellas, y visualmente parece envolver la Tierra. En el campo de la astronomía, el cielo se conoce como la esfera celeste, una cúpula imaginaria donde se encuentran el sol, las estrellas, los planetas y la luna. En meteorología, el término "cielo" hace referencia a la parte más densa de los gases en la atmósfera de un planeta. Entre los fenómenos naturales observables en el cielo están las nubes, los arco iris y los amaneceres, y durante las tormentas, pueden verse relámpagos. La actividad humana también contribuye a la aparición temprana de niebla en las grandes ciudades por la mañana (ASALE & RAE, 2019).

A menudo, el término "cielo" se refiere informalmente a la perspectiva, vista desde la superficie de la tierra. Pero el significado y el uso pueden diferir los observadores en la superficie de la Tierra pueden ver una pequeña parte del cielo en forma de cúpula (a veces llamada plato celeste) que parece más plana durante el día que durante la noche la capa más baja y densa (ASALE & RAE, 2019).

El cielo durante el día se ve azul debido a que las moléculas de aire dispersan más luz solar a lo largo del tiempo. En cambio, el cielo nocturno se percibe como un área principalmente oscura, salpicada de estrellas, a menos que objetos como la luna, los planetas o las estrellas sean visibles también en el día.

Cielo soleado

Se denomina así al percibirse la existencia de muy poca o ninguna nube en el cielo.

Figura 1

Cielo soleado



Nota. Fotografía obtenida de <https://unsplash.com/es/s/fotos/cielo-soleado>

Cielo nublado

Se denomina de esta manera cuando una porción del cielo está cubierta por nubes, las cuales pueden pertenecer a cualquier tipo, clase, variedad o altitud. Las nubes se forman cuando el aire en ascenso se enfría y el vapor de agua que transporta se condensa (ASALE & RAE, 2019).

Figura 2

Cielo nublado



Nota. Fotografía obtenida de <https://www.istockphoto.com/es/fotos/cielo-nublado>

Nevada

En meteorología se llama nevada a un fenómeno que provoca nieve en lugar de lluvia. El principal motivo de las nevadas es la baja temperatura, ya que refleja el grado de frío. Pero la caída de nieve de forma tradicional requiere resolver una serie de otros problemas, el más importante de los cuales está relacionado con el aumento de la humedad, que permite que el agua llegue más fácilmente al área de la tierra de manera

líquida. Es decir, las nevadas o el aguanieve se producen principalmente cuando se combinan baja temperatura y alta humedad (IDSESEP, 2017).

Cuando hablamos de nevadas, hablamos de fenómenos relacionados con nevadas fuertes, es decir, nevadas que no son inmediatas ni indirectas, porque se producen precipitaciones difusas. Dependiendo de la intensidad de las nevadas, existen muchos tipos de nevadas que van desde ligeras hasta intensas. Esto último suele ocurrir en zonas deshabitadas como bosques y zonas montañosas. En tiempos recientes, diversas ciudades del norte han enfrentado nevadas más fuertes de lo habitual, lo que ha ocasionado serias complicaciones en el transporte y las comunicaciones. En estos casos, se suelen implementar medidas de seguridad para despejar las calles y carreteras de nieve, además de cancelar eventos públicos. La nieve puede manifestarse de diferentes maneras según su intensidad: en ocasiones, se presenta como finas capas, otras veces como granizo, o incluso como cristales de hielo (IDSESEP, 2017).

Figura 3

La nevada



Nota. Fotografía obtenida de <https://significado.com/nevada/>

La lluvia

Es una forma de precipitación compuesta por agua, que se presenta en forma de gotas líquidas que descienden desde las nubes hasta la Tierra. La diferencia con fenómenos similares radica en el tamaño y la distribución de las gotas. Usualmente, cuando el diámetro de las gotas excede los 0,5 mm y su distribución es mayormente uniforme, se denomina lluvia. Además, para que se considere precipitación, es necesario que las gotas lleguen al suelo; si se evaporan antes, se conoce como "virga" y no se clasifica como precipitación (Revista Clima, 2023).

Se prevé que la lluvia ocurra en áreas donde el aire es húmedo e inestable, condiciones que pueden favorecer la formación de nubes capaces de generar precipitación. Entre estas nubes, los nimboestratos son los más comunes, responsables de chubascos continuos, generalmente moderados y persistentes, aunque en ocasiones pueden ser intensos, pero de corta duración. Es importante mencionar que, si la precipitación va acompañada de actividad eléctrica, se considera una tormenta, sin importar las características de la lluvia. En las nubes de gran altitud, también pueden ocurrir chubascos muy ligeros, aunque son poco frecuentes. La cantidad de humedad y el grado de inestabilidad atmosférica influirán en el tipo, la cantidad y la intensidad de la precipitación (Revista Clima, 2023).

La lluvia puede originarse en nubes compuestas solo de agua líquida o en nubes mixtas, que incluyen tanto gotas de agua como cristales de hielo. El proceso de su formación varía según el tipo de nube. Las precipitaciones se cuantifican en milímetros, donde un milímetro de lluvia equivale a 1 litro de agua por metro cuadrado. Esta equivalencia proviene del hecho de que, al verter 1 litro de agua en un recipiente con

una base de 1 metro cuadrado, el agua alcanza una altura de 1 mm. Los dispositivos usados para medir la cantidad de precipitación son los “pluviómetros”, que existen en diversas versiones. Generalmente, estos aparatos recogen el agua en un recipiente cilíndrico con un volumen específico y permiten calcular cuántos litros de agua cayeron por metro cuadrado o cuántos milímetros de lluvia se registraron. Una vez lleno el recipiente, se emplean diferentes métodos para continuar la recolección (Revista Clima, 2023).

Tipos de lluvia según su intensidad

Lluvias moderadas

Las precipitaciones tienen una intensidad que varía entre 2,1 mm/hora y 15 mm/hora. Aunque son más fuertes que una lluvia ligera, generalmente no afectan de manera significativa las actividades humanas, aunque pueden dificultar la visibilidad (Revista Clima, 2023).

Lluvias intensas

La intensidad de estas precipitaciones supera los 15 mm/hora, pero no excede los 30 mm/hora. Son peligrosas en zonas donde no son comunes, ya que además de reducir la visibilidad, pueden ocasionar inundaciones.

Lluvias muy intensas

Con una intensidad de entre 30,1 mm/hora y 60 mm/hora, estas lluvias son más peligrosas que las fuertes, representando un riesgo en cualquier lugar. Reducen considerablemente la visibilidad y pueden generar inundaciones, crecidas y desbordamientos de ríos.

Figura 4

La lluvia



Nota. Fotografía obtenida de <https://www.fundacionaquae.org/arboles-atrae-lluvia/>

Viento

Al movimiento del aire lo llamamos viento. Por lo general, el término hace referencia al movimiento horizontal, mientras que corriente se utiliza para hablar del movimiento vertical. El viento es una cantidad vectorial y para definirlo es necesario conocer sus dos componentes: dirección y velocidad. Ambos se ven afectados por las diferencias de presión atmosférica, que es la principal causa del movimiento del aire. Además, al asegurar el transporte de masas de aire, es un factor determinante en el clima, ya que contribuye a los cambios de humedad y temperatura ambiente (Revista Clima, 2023).

Producción del viento

Los vientos presentan una gran diversidad en cuanto a su intensidad, que puede ir desde ráfagas breves y potentes originadas por tormentas hasta corrientes locales que persisten durante varias horas debido a diferencias de presión en la superficie. Además,

existen vientos de gran escala cuyo origen principal radica en el calentamiento desigual de distintas regiones del planeta. Este calentamiento irregular de la superficie terrestre genera variaciones de temperatura, tanto en áreas geográficas específicas como en distintos niveles de la atmósfera, lo que provoca fluctuaciones en la presión atmosférica y desencadena el movimiento del aire. Así, la energía térmica del sol se convierte en energía cinética, permitiendo el desplazamiento de masas de aire entre diferentes regiones del globo. La diferencia de presión impulsa al aire a moverse desde zonas de alta presión (anticiclones) hacia áreas de baja presión (ciclones) en un intento de equilibrar las presiones. Sin embargo, este flujo no es completamente lineal, ya que otras fuerzas, como la de Coriolis, derivada de la rotación terrestre, también afectan la dirección del viento. Esta fuerza es más significativa lejos del ecuador, alcanzando su máximo en los polos, y provoca que el viento se desvíe hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur. (Revista Clima, 2023).

Velocidad del viento

La velocidad o intensidad del viento se mide comúnmente en kilómetros por hora (km/h) o metros por segundo (m/s), aunque también se emplea el nudo (kt) como unidad, especialmente en navegación. La magnitud del viento depende del gradiente de presión entre dos áreas, es decir, de la diferencia de presión entre ellas. Al observar un mapa de presión, si las isobaras están muy cercanas, se indica que el viento será fuerte. Este fenómeno suele ocurrir en latitudes altas a nivel global. Además, es importante señalar que, a medida que aumenta la fricción con la superficie, la velocidad del viento disminuye. Por esta razón, las zonas costeras suelen experimentar vientos más intensos que las áreas interiores del continente (Revista Clima, 2023).

Figura 5

El viento



Nota. Fotografía obtenida de <https://cope-cdnmed.cope.es/resources/jpg/8/6/1587201855568.jpg>

Avalancha

Una avalancha es un deslizamiento rápido de nieve, causado por el desprendimiento de una masa de hielo o roca en una pendiente o montaña. Pueden ser desencadenadas por factores naturales como lluvias, terremotos o el debilitamiento de la capa de nieve. En el 90% de los casos, la avalancha es provocada por la víctima o alguien de su grupo. Cada año, las avalanchas causan más de 150 muertes a nivel mundial, siendo las principales víctimas los practicantes de motos de nieve, snowboard y esquí. Las avalanchas catastróficas ocurren cuando grandes bloques de nieve se desprenden de las laderas montañosas y caen de manera destructiva, como vidrios rotos. Estos bloques pueden alcanzar velocidades de hasta 130 km/h en solo 5 segundos. Las avalanchas son más frecuentes durante o en las 24 horas siguientes a una tormenta que genera más de 30 cm de nieve, lo que sobrecarga la capa superior y

provoca que se rompa la capa débil debajo. Las capas de nieve se forman a lo largo de todo el invierno debido a condiciones como nevadas fuertes, sequías, lluvias y heladas, y la manera en que se adhieren entre sí afecta su resistencia y la facilidad con que se pueden generar deslizamientos (National Geographic, 2019).

Tipos de avalancha

Avalancha suelta: Este tipo de avalancha ocurre tras intensas nevadas. Cuando la nieve recién caída supera los 25 cm de grosor, puede deslizarse fácilmente, especialmente sobre superficies grandes y lisas. A medida que avanza, suele arrastrar más nieve a su paso (Revista Avalanchas, 2020).

Avalancha tectónica: Las avalanchas de placas ocurren cuando una capa densa de nieve se desprende y baja por la pendiente de una montaña. Esto provoca que se deslice un bloque de nieve, parecido a un fragmento separado del entorno. Es un tipo común de avalancha, que representa un riesgo significativo.

Avalancha de nieve húmeda: Estas avalanchas son típicas hacia finales del invierno y principios de la primavera, cuando las temperaturas empiezan a subir. Suelen moverse a una velocidad más lenta y tienden a disminuir con el tiempo.

Figura 6

Avalancha



Nota. Fotografía obtenida de <https://www.significados.com/avalancha/>

2.3.2 Factores determinantes de laguna

Sifón

La palabra “sifón” proviene del griego antiguo siphōn, que significa “tubo”, y hace referencia a varios dispositivos que permiten el flujo de líquidos a través de un tubo. En su acepción más precisa, el término describe un tubo en forma de “U” invertida, cuya estructura facilita el paso del líquido desde un tanque sin necesidad de una bomba, impulsado únicamente por la caída del líquido bajo la acción de la gravedad. Este proceso permite que los sedimentos se descarguen por debajo de la superficie. Además, la palabra sifón también se utiliza para describir un mecanismo que permite que el agua de un canal o acueducto pase por debajo de una carretera o regrese a su nivel original a través de un desagüe (Fundación Aquae, 2021).

Funcionamiento del sifón hidráulico

Hay dos principios que explican cómo un sifón logra que un líquido ascienda desafiando la gravedad. La teoría tradicional, vigente durante siglos, plantea que la gravedad impulsa el líquido hacia abajo por el extremo de salida del sifón, lo que genera una reducción de presión en la parte superior del dispositivo. Esto permite que la presión atmosférica empuje el líquido desde el depósito superior hacia la zona de menor presión, similar al funcionamiento de un barómetro o una pajilla. No obstante, investigaciones han demostrado que los sifones pueden operar incluso en condiciones de vacío y a altitudes donde la presión del gas líquido es muy baja. Esto respalda la teoría de la cohesión, que propone que el fluido se desplaza por el sifón como si formara parte de un circuito continuo. Ambas teorías podrían ser válidas según las condiciones del entorno. La explicación basada en la presión atmosférica y la gravedad no puede justificar el funcionamiento de los sifones en el vacío, donde la presión atmosférica es inexistente. Por otro lado, la teoría de la cohesión gravitacional no explica cómo operan los sifones de gas, como los de dióxido de carbono, que continúan funcionando pese a las burbujas y gotas que dificultan la atracción uniforme entre gas y líquido (Fundación Aquae, 2021).

Figura 7

Sifon



Nota. Fotografía obtenida de <https://mongabay-latam.lamula.pe/2019/03/27/falta-de-prevencion-en-laguna-palcacocha-podria-ocasionar-desastre-en-huaraz/mongabaylatam/>

El oleaje

El nivel del agua fluctúa entre 2 y 25 segundos, y la distancia horizontal entre las crestas de las olas puede variar entre 60 y 80 metros. Las sobretensiones son originadas por el viento, el cual se ve intensificado por fenómenos extremos como los huracanes. Las olas son ondas generadas por la propagación de energía mecánica a través de la superficie acuática. Los diferentes mecanismos que producen esta energía incluyen el viento, perturbaciones meteorológicas, terremotos, la gravedad celeste, entre otros. Estos mecanismos también influirán en el tipo de olas que se generan. Como se mencionó anteriormente, una ola es una perturbación que se desplaza sobre el agua debido a la acción de un generador. Según esta definición, las olas pueden ser caracterizadas desde una perspectiva física, matemática y estadística (IMTA, 2021).

Descripción

Desde la perspectiva de la física, las ondas que se propagan en el agua se dividen en dos tipos: las ondas oscilatorias, que se distinguen por no implicar el transporte de masa, y las ondas translatorias, que sí implican el transporte de masa en la dirección en que la onda se propaga (IMTA, 2021).

Clasificación

Cuando el viento transfiere su energía a la superficie del océano, se generan olas. El área en la que se produce esta transferencia se llama área de producción. A medida que la ola se desplaza fuera de esta zona, se propaga y se descompone en varios componentes. Por un lado, las ondas con un período más largo preceden a las de período más corto, lo que genera una dispersión radial en la dirección de propagación. Por otro lado, la dispersión angular ocurre porque las olas que salen del área de producción se dispersan en diferentes direcciones alrededor de la dirección dominante (en este caso, la dirección del viento). Aunque existen muchos estados intermedios, se pueden distinguir dos tipos extremos de olas: SEA (olas locales) y SWELL (olas lejanas).

Las olas locales se generan en las zonas costeras donde se produce la transferencia de energía. Estas olas tienen una estructura corta y asimétrica, y su altura tiene poca relación con ciclos previos. Su longitud de onda es relativamente corta, y la superficie del agua resulta impredecible. Por otro lado, las olas lejanas, debido a la dispersión radial y angular, se alejan de la zona de producción y pierden su naturaleza turbulenta, volviéndose más regulares, ya que las olas son más similares entre sí. Estas olas se propagan utilizando su propia energía. Al llegar a las zonas costeras, las olas se

propagan de manera diferente, moviéndose paralelas a la línea batimétrica. Este fenómeno se conoce como refracción.

Figura 8

Oleaje



Nota. Fotografía obtenida de <https://ladmx.sfo3.cdn.digitaloceanspaces.com/Incrementa-el-oleaje-en-Mazatla.jpeg>

Laguna

Una laguna es un cuerpo de agua natural que varía en tamaño y se forma en la desembocadura de un arroyo o río, o bien, como resultado de una inundación o desbordamiento de estos ríos, lo que provoca el estancamiento del agua. El término proviene del latín “laguna”. Generalmente, las lagunas contienen agua salada, aunque también existen de agua dulce. Es importante destacar que el agua dulce tiene una baja concentración de sales minerales disueltas, mientras que el agua salada es rica en estos minerales y se encuentra principalmente en los océanos y en la mayoría de las lagunas (Revista iAgua, 2021).

Laguna de origen glaciar

Los lagos glaciares son cuerpos de agua que se originan en depresiones formadas por el derretimiento de los glaciares y se abastecen con el agua liberada por estos. En las zonas cercanas a los glaciares, se encuentran numerosas lagunas. Estas reservas de agua actúan como una barrera natural frente a desastres. Además, proporcionan agua a manantiales y arroyos que alimentan los humedales en la región andina. Sin embargo, en los últimos años, los glaciares han experimentado una pérdida acelerada de superficie, especialmente en las cadenas montañosas del sur, donde han perdido hasta el 98% de su extensión (INAIGEM, 2020). Esta reducción impacta directamente en las lagunas, alterando su tamaño y volumen. Asimismo, algunas de estas lagunas podrían poner en riesgo a las poblaciones, medios de vida, además de afectar la reserva de agua, bien sea por inundaciones o por escasez (Autoridad Nacional del Agua, 2019).

Figura 9

Laguna



Nota: Fotografía obtenida de <https://ladmx.sfo3.cdn.digitaloceanspaces.com/Incrementa-el-oleaje-en-Mazatla.jpeg>

Modelo hidrológico

Un modelo hidrológico es una representación simplificada, ya sea física o matemática, de un sistema complejo real, conocido como prototipo. Los sistemas que se modelan matemáticamente se expresan mediante fórmulas analíticas. En los modelos hidrológicos, generalmente representamos sistemas físicos reales, como las “cuencas”, que forman parte del ciclo hidrológico. Así, los modelos matemáticos facilitan la toma de decisiones en hidrología, por lo que es esencial comprender las entradas y salidas del sistema para asegurar que el modelo refleje correctamente el prototipo (IDEAM, 2021).

El resultado de los modelos hidrológicos depende de su propósito y objetivo. Mientras que algunos modelos están enfocados en predecir la escurrimiento mensual total, otros se destinan al análisis de tormentas específicas. Las salidas más comunes de estos modelos son los hidrogramas. IDEAM creó un protocolo de modelado hidrológico e hidráulico con el fin de ofrecer orientación y aspectos conceptuales que acompañen las diferentes fases del proceso, desde la conceptualización hasta la validación de los resultados del modelado (Cavero, 2013).

El modelo hidrológico más completo y destacado es el descentralizado, basado en procesos físicos. Estos modelos tienen en cuenta la distribución espacial de parámetros y ecuaciones, lo que los hace especialmente adecuados para cuencas con redes de canales complejas, diversos tipos de uso del suelo, terrenos variados, vegetación diversa y sistemas acuíferos subterráneos intrincados. Los avances recientes en modelización hidrológica permiten combinar estos modelos con datos espaciales obtenidos a través de radares, satélites y modelos geológicos. Los enfoques distribuidos

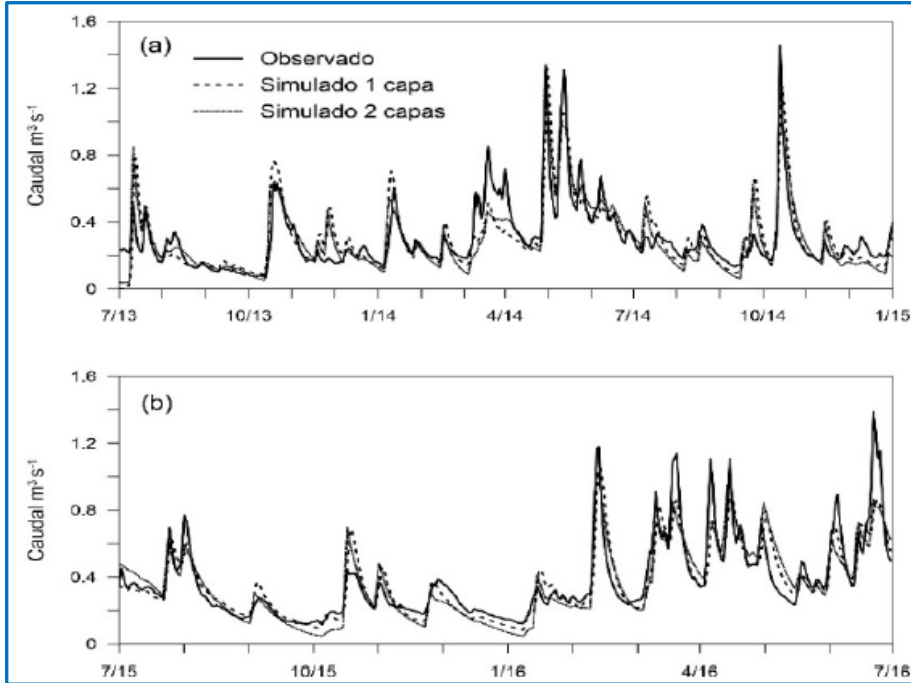
basados en procesos resultan útiles para resolver problemas ambientales como el transporte geoquímico reactivo, la contaminación agrícola y la erosión del suelo. Las actividades de modelización incluyen la conceptualización de modelos, la calibración con datos observados y la simulación de los efectos de la actividad humana en aspectos como el uso del suelo, la cobertura vegetal y los factores climáticos que inciden en inundaciones, sequías y el cambio climático. Si bien los modelos hidrológicos globales tradicionales son eficaces para evaluar recursos hídricos y prever inundaciones o sequías, se necesitan herramientas más avanzadas para abordar retos como la predicción de los impactos de la actividad humana y del cambio climático sobre las respuestas hidrológicas de las cuencas (Cavero, 2013).

Características

Los modelos de hidrología distribuida tienen la capacidad de simular respuestas hidrológicas distribuidas mediante el uso de precipitaciones obtenidas de forma remota o datos espacialmente interpolados. Además, los parámetros de la superficie pueden ser empleados para medir la variabilidad espacial de la respuesta hidrológica a través de la calibración multiobjetivo de diversas estaciones de medición, la integración de datos sobre tipo de suelo y cobertura, y su correlación con curvas de reducción de flujo.

Figura 10

Modelo hidrológico



Nota. Imagen obtenida de <https://www.redalyc.org/journal/496/49662789043/html/>

Metodología de simulación de sistemas

La simulación normalmente consta de los siguientes pasos.

1. Definición de Sistema

Para obtener una definición clara del sistema a simular, es necesario llevar a cabo un análisis inicial que permita identificar las interacciones con otros sistemas, las limitaciones del sistema, las variables involucradas y sus relaciones. Estas serán esenciales para establecer y analizar las métricas de efectividad y los resultados esperados del estudio.

2. Formulación del modelo

Cuando los resultados de la investigación estén claramente establecidos, se podrá definir y desarrollar un modelo para alcanzar los resultados deseados. En la creación del modelo, es esencial identificar todas las variables involucradas, sus interrelaciones lógicas y elaborar un diagrama de bloques que represente de manera integral el modelo.

3. Colección de datos

Es fundamental establecer de manera clara y exacta los datos requeridos para que el modelo genere los resultados esperados.

4. Implementación del modelo en la computadora

Después de definir el modelo, el siguiente paso es seleccionar un lenguaje como Fortran, Algol, Lisp, o recurrir a herramientas como Vensim, Stella, iThink, GPSS, Simula, Simscript, Rockwell Arena, entre otras, para procesarlo y ejecutarlo en la computadora, con el objetivo de obtener los resultados esperados.

5. Validación

En esta etapa, es posible detectar fallos tanto en la construcción del modelo como en los datos utilizados. Las formas más habituales de validar un modelo incluyen: la revisión de expertos respecto a los resultados de la simulación, la capacidad del modelo para reproducir con precisión datos históricos, su eficacia en la predicción de eventos futuros, la identificación de errores en el modelo de simulación mediante el uso de datos que generan fallos en el sistema real, y la aceptación y confianza del usuario en función de los resultados obtenidos durante la simulación.

6. Experimentación

Los experimentos se llevan a cabo una vez que el modelo ha sido validado. La fase experimental abarca tanto la generación de los datos requeridos como el análisis de sensibilidad de las mediciones pertinentes.

7. Interpretación

En esta etapa de investigación, se analizan los resultados de la simulación y se toman decisiones basadas en ellos. De manera evidente, los resultados obtenidos de los estudios de simulación pueden ser útiles para respaldar la toma de decisiones semiestructuradas.

8. Documentación

Se necesitan dos tipos de archivos para sacar el máximo provecho del modelo de simulación. El primero es un documento técnico, mientras que el segundo es una guía de usuario que facilita la interacción y utilización del modelo de desarrollo.

Regresión logística simple

La regresión logística es un método utilizado para estimar la probabilidad de una variable cualitativa binaria en función de una variable cuantitativa. Su principal aplicación es la clasificación binaria, donde se asignan observaciones a uno de dos grupos según los valores de las variables predictoras. Un ejemplo típico sería determinar si una persona es hombre o mujer en función del tamaño de su barbilla. Si se codifica una variable cualitativa con dos categorías, como 1 y 0, se puede intentar ajustar un modelo de regresión lineal con el método de mínimos cuadrados, expresado como $\beta_0 + \beta_1 x$. Sin embargo, este enfoque presenta un problema: al tratarse de una línea

recta, podría generar valores de Y fuera del rango [0,1] en los extremos de la variable predictora, lo cual no es adecuado, ya que las probabilidades deben estar siempre comprendidas entre 0 y 1.

Evaluación del modelo

Hay diferentes métodos estadísticos para determinar la significancia (valor p del modelo) de un modelo logístico. Todos coinciden en que un modelo es considerado útil si presenta una mejora respecto al denominado modelo nulo (un modelo sin variables predictoras, solo β_0). Los dos métodos más comunes son:

Wald Chi-Cuadrado

Se expande de manera significativa, aunque pierde precisión cuando el tamaño de la muestra es pequeño.

Likelihood ratio

La diferencia entre la probabilidad de observar un resultado utilizando un modelo logístico con predictores y la probabilidad de observarlo con un modelo sin correlación entre variables se analiza calculando la significancia de la variación en los residuos entre ambos modelos: uno que incluye los predictores y el modelo nulo (sin predictores). Esta evaluación se realiza mediante una estadística que sigue una distribución chi-cuadrado, con grados de libertad definidos por la diferencia en los grados de libertad de los modelos comparados. Dichos grados de libertad están determinados por la cantidad de predictores en el modelo con variables en contraste con el modelo nulo. Según el Manual de Bioestadística, este es un enfoque recomendado. Para evaluar la significancia de cada variable predictora en el modelo de

regresión logística, se emplearon el estadístico Z y la prueba chi-cuadrado de Wald. Este procedimiento se utiliza para calcular el valor p mostrado al ajustar el modelo.

Predicciones

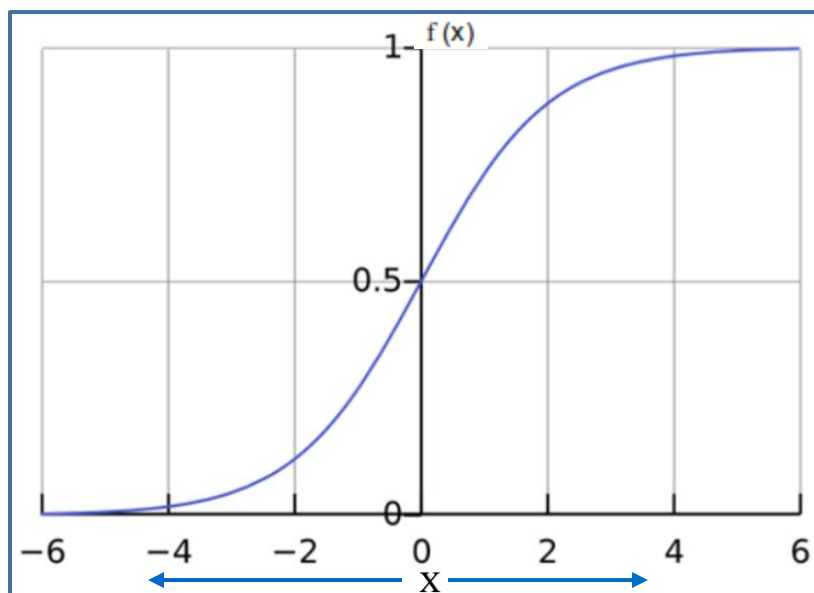
Una vez que se calculan los coeficientes del modelo logístico, es posible estimar la probabilidad de que la variable dependiente corresponda al nivel de referencia, teniendo en cuenta el valor de la variable predictora.

Regresión logística múltiple

La regresión logística es un modelo que se emplea para analizar la relación entre la probabilidad de que se produzca un valor específico de una variable dependiente dicotómica Y, y una o varias variables independientes X_1, X_2, \dots, X_k . [11; 12; 13; 14] Cuando se incluyen dos o más variables independientes, se habla de Regresión Logística Múltiple (RLM).

Figura 11

La función logística



Nota. Imagen obtenida de <https://aws.amazon.com/es/what-is/logistic-regression/>

La función logística, también conocida como una función no lineal $f(x)$, se presenta de la siguiente manera:

$$f(x) = \frac{1}{(1+e^{-k})}$$

El dominio de x abarca desde $-\infty$ hasta ∞ , lo que significa que $f(x)$ se encuentra en el intervalo de 0 a 1. La variable de interés Y toma los valores 0 o 1, reflejando la ausencia o presencia del rasgo en cuestión, respectivamente. En un modelo de regresión logística múltiple, $P(Y = 1)$ representa la probabilidad de que se produzca el evento de interés, basándose en la variable que explica el comportamiento aleatorio. por lo tanto

$P(Y=0)=1-P(Y=1)$, representa la probabilidad de que el evento no ocurra. Modelar la relación entre la probabilidad de que ocurra un evento y la variable independiente X , está definido como:

$$P(Y = 1) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 * x)}}$$

Donde:

β_1 : Representa el coeficiente de regresión

β_0 : Es una constante.

Si tenemos k variables independientes x_1, x_2, \dots, x_k , el modelo de regresión logística múltiple se expresa como:

$$P(Y = 1) = \frac{1}{1 + \exp[-(\beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \dots + \beta_k * x_k)]}$$

Los coeficientes de regresión reciben los nombres de $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$, mientras que los parámetros del modelo, como $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$, son variables independientes que pueden ser tanto cualitativas como cuantitativas (Mendoza López, 2000).

La regresión logística múltiple se emplea cuando se tiene una variable nominal y dos o más variables continuas, y se busca determinar cómo estas variables continuas impactan la variable nominal. Esta técnica puede utilizarse para predecir la probabilidad de una variable dependiente nominal, o, con más cautela, para identificar cuáles variables independientes influyen más en la variable dependiente. El objetivo principal de la regresión logística múltiple es hallar la ecuación que mejor prediga la probabilidad del valor de la variable Y en función de la variable X. Posteriormente, se puede medir la variable independiente de una nueva persona y estimar su probabilidad de presentar un valor específico en la variable dependiente (AWS Amazon, s. f.).

La prueba de Wald

Fue desarrollada por el estadístico Abraham Wald. Es un método estadístico paramétrico utilizado para evaluar el valor de un parámetro basándose en estimaciones derivadas de una muestra. Es particularmente común en análisis de regresión. El procedimiento general incluye los siguientes pasos: formular la hipótesis nula (H_0) y la alternativa (H_1), calcular el estimador del parámetro (θ) junto con su error estándar, y determinar el estadístico de la prueba de Wald. Este estadístico se compara con el valor crítico correspondiente de la distribución chi-cuadrado para evaluar su significancia estadística. Esta prueba es especialmente útil para verificar si un coeficiente asociado a una variable independiente en un modelo de regresión es igual a cero. Cuando el valor p obtenido es menor a 0,05 (o 0,001), se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que el

coeficiente es significativamente distinto de cero y que el modelo puede representar relaciones específicas. En cambio, si el valor p supera 0,05 (o 0,001), se sugiere que el coeficiente podría ser cero, lo que indicaría que la variable independiente no influye en la variable dependiente del modelo de regresión (Alonso Pérez & Furio Blasco, 2023).

2.4. Definición de términos

Un paquete de software se compone de un grupo de programas que se distribuyen juntos. Esto se debe, en gran parte, a que las funciones de cada programa suelen complementarse o depender unas de otras, y porque su integración resulta clave dentro de estrategias de marketing. Por otro lado, un sistema puede definirse como un conjunto de elementos o componentes que interactúan para cumplir un objetivo específico.

Oleaje: Son oscilaciones del nivel del mar con una duración que oscila entre 2 y 25 segundos. La distancia horizontal entre dos crestas consecutivas puede variar entre 60 y 80 metros.

Hidrodinámico: Hace referencia a una rama de la dinámica de fluidos que estudia las leyes que determinan el movimiento de los mismos.

Lluvia: Es un fenómeno meteorológico que ocurre cuando el agua en forma líquida precipita desde las nubes, tras la condensación del vapor de agua. Al aumentar su volumen y peso, el agua ya no puede mantenerse suspendida en el aire.

Clima: Corresponde al promedio de datos meteorológicos, generalmente calculado a lo largo de un periodo de 30 años.

Cielo: Es la porción visible de la atmósfera y el espacio desde la superficie terrestre, donde se pueden observar fenómenos como nubes, el sol, la luna y las estrellas. Según

las condiciones climáticas y de temperatura, el cielo puede estar nublado, con poca luz solar debido a la abundancia de nubes, o despejado, con mínimas nubes y una constante presencia del sol durante el día.

Sifones: En hidrología, se refiere a tuberías diseñadas con características específicas de tamaño y material, utilizadas para extraer agua de lagos o lagunas.

Avalancha: Es el desprendimiento de una sección de un glaciar, provocado por factores como sismos, viento o el derretimiento del hielo.

2.5. Hipótesis

Hipótesis general

Los factores determinantes de clima y laguna son significativos para determinar el comportamiento del volumen de agua de la laguna Palcacocha mediante un modelo Hidrológico, ciudad de Huaraz, departamento de Áncash, año 2020.

Hipótesis específicas

- ✓ Los factores determinantes de clima para el volumen de agua son estado del cielo, nevada, lluvias, viento y avalancha.
- ✓ Los factores determinantes de laguna para el volumen de agua son sifones, oleaje y nivel de agua.

2.6. Variables

2.6.1. *Variable independiente:* Factores determinantes.

2.6.2. *Variable dependiente:* Volumen de agua laguna Palcacocha.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación

La investigación, debido a su enfoque en el desarrollo, se clasifica como aplicada, ya que se emplearon métodos y técnicas para identificar un modelo hidrológico.

3.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación corresponde a un tipo no experimental y de corte transversal, ya que se busca observar el comportamiento de una variable en un único momento. Por su parte, el diseño estadístico es correlacional y de tipo transversal.

3.3 Población y muestra

El estudio se realizó teniendo como población los registros obtenidos con las 160 fichas de registro de tiempo y operación de sintonamiento de la laguna Palcacocha, correspondiente al año 2020.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En este estudio se emplearon técnicas de observación, medición y registro, utilizando como instrumento la ficha de control del volumen de agua.

3.5 Plan de procesamiento y análisis estadístico de datos

En primera instancia, se realizó la codificación de los datos para ser procesado con el programa estadístico SPSS vs 26. Luego, se determinó el modelo hidrológico usando la regresión logística múltiple mediante el método hacia delante de Wald. Finalmente, se hizo la validación del modelo hidrológico.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Presentación de resultados

Tabla 1

Resultados en dos dimensiones de los factores que determinan el clima en relación con el volumen de agua

Determinantes del clima		Volumen de agua		Odss Ratio (I.C.)	X ²	Valor p
		Estable	Medio/Alto			
Cielo soleado	No	92	30	3,82	19,92	0,0001*
	Sí	41	51	(2,13 - 6,82)		
Cielo nublado	Parcial	124	44	11,59	42,89	0,0001*
	Total	9	37	(5,18 - 25,93)		
Nevada	Moderado	131	55	30,96	38,79	0,0001*
	Total	2	26	(7,10 - 135)		
Lluvias	Moderado	36	9	2,97	6,79	0,009*
	Total	97	72	(1,35 - 6,55)		
Viento	Ninguno	118	55	3,72	12,78	0,0001*
	Fuerte	15	26	(1,83 - 7,58)		
Avalancha	Ninguno	131	29	70,54	75,08	0,0001*
	Fuerte	2	42	(16,33 - 304)		

En la Tabla 1, se analizan de manera independiente las variables que determinan el clima. Se observa que todas las variables presentan un OR superior a 1 y un nivel de significación menor al 5% ($p < 0,05$). Los factores Avalancha y Nevada tienen un efecto significativo sobre el comportamiento del volumen de agua. Es decir, la presencia de estos factores en un período determinado aumentará el volumen de agua, generando un riesgo potencial para la población de la provincia de Huaraz y parte del distrito de Independencia, que se encuentran en las zonas identificadas con niveles de peligro muy

alto, alto y medio, según el plano de espacios seguros y vías de evacuación. Este riesgo podría derivar en un desborde de agua, poniendo en peligro tanto vidas humanas como bienes materiales. Por lo tanto, se puede concluir que el factor Avalancha es determinante en el incremento del volumen de agua en la laguna, seguido de la Nevada.

Tabla 2

Resultados bidimensionales de los factores determinantes de laguna para el volumen de agua

Determinantes de laguna		Volumen de agua		Odss Ratio (I.C.)	X ²	Valor p
		Estable	Medio/Alto			
Sifones	Operativos	128	64	6,80 (2,40 – 19,3)	14,39	0,0001*
	No	5	17			
Nivel de agua	Estable	91	28	4,10 (2,83 – 7,37)	22,02	0,0001*
	Ascendida	42	53			
Oleaje	Ninguno	116	45	5,46 (2,79 – 10,69)	25,41	0,0001*
	Leve/alto	17	36			
	Fuerte					

En la Tabla 2, se analiza las variables determinantes de laguna en forma independiente. Se observa que todas las variables presentan un OR mayor a 1 con un nivel de significación menor al 5 % ($p < 0,05$). El factor Sifones, con 6.8, es el factor con mayor valor OR y el factor Nivel del agua, con un valor de 4.10, es el factor con menor valor OR. Es decir, que el factor Sifones, al no estar operativo a causa de una obstrucción, no va a evacuar el agua de la laguna en un volumen permitido. Por lo tanto, no se va a cumplir el principio. El agua que ingresa a la laguna no será igual a lo que sale, ocasionando en cierto nivel el aumento del volumen de agua en la laguna. El factor Oleaje es otro factor resaltante en el comportamiento del volumen de agua debido a que puede ocasionar que cierto volumen de agua podría sobrepasar por encima

de los Sifones, ocasionando que en un instante de tiempo pueda provocarse el desborde del agua y causar los daños irreparables que se mencionó líneas arriba. Por eso, para la construcción del modelo se consideró a todas las variables, esto es, antes de incluir estas variables en el modelo.

Tabla 3

Volumen de agua de la laguna Palcacocha, periodo de estudio

Volumen de agua	N°	%
Estable	133	62,1
Medio/alto	81	37,9
Total	214	100,0

En la Tabla 3, se observa el volumen de agua en la laguna de Palcacocha. El 62,1 % refleja estabilidad, mientras que el 37,9 % muestra un volumen medio/alto.

4.2. Prueba de hipótesis

Hipótesis general del estudio

Los factores determinantes de clima y laguna son significativos para determinar el comportamiento del volumen de agua de la laguna Palcacocha mediante un modelo hidrológico, ciudad de Huaraz, departamento de Áncash, año 2020.

Paso 1. Hipótesis estadística

H₀: Los factores determinantes de clima y laguna no son significativos para determinar el comportamiento del volumen de agua.

H₁: Los factores determinantes de clima y laguna son significativos para determinar el comportamiento del volumen de agua.

Paso 2. Se determinó el nivel de significación: $\alpha = 0,05$ ($p < 0,05$)

Paso 3. Se eligió el estadígrafo de prueba: Para muestras relacionadas

$$P(Y = 1) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 * x)}}$$

El modelo de regresión logística $P(Y = 1)$ representa la probabilidad de que ocurra un evento de interés en función de las variables que explican el comportamiento aleatorio.

Paso 4: El cálculo se realizó usando el programa estadístico SPSS versión 26.

Tabla 4

Modelo final con 6 iteraciones aplicando el modelo de regresión logística

Símbolo	Variables en la ecuación	β	Error estándar	Wald	gl	P valor	OR	95% C.I. para OR	
								Li	Ls
X11	Cielo nublado	2.262	0.698	10.490	1	0.001	9.600	2.443	37.733
X12	Nevada	2.631	0.995	6.987	1	0.008	13.884	1.974	97.648
X15	Avalancha	3.762	0.840	20.060	1	0.000	43.050	8.297	223.365
X21	Sifones	2.169	0.798	7.388	1	0.007	8.748	1.831	41.793
X22	Nivel del agua	1.862	0.511	13.288	1	0.000	6.437	2.365	17.520
X23	Oleaje	1.135	0.578	3.851	1	0.050	3.110	1.001	9.657
C	Constante	-3.256	0.471	47.704	1	0.000	0.039		

Paso 5. Regla de decisión: Si el valor p es inferior a 0,05 ($p < 0,05$) correspondiente al nivel de significancia $\alpha = 0,05$, se rechaza la hipótesis nula.

Paso 6. Interpretación: Los resultados de la Tabla 4 nos indican que el modelo de regresión logística realizó 6 iteraciones para seleccionar las variables (factores determinantes de clima y laguna), las cuales seleccionaron para el modelo a cielo despejado, presencia moderada de nevada y no presencia de avalanchas, sifones

operativos, nivel de agua estable y no presencia de oleaje como factores condicionantes del clima y laguna y para el volumen del agua estable. El modelo fue el siguiente:

$$P(x) = \frac{1}{1 + e^{-(-3.256 + 2.262X_{11} + 2.631X_{12} + 3.762X_{15} + 2.169X_{21} + 1.862X_{22} + 1.135X_{23})}}$$

Hipótesis específica 1

Los factores determinantes de clima para el volumen de agua son cielo, nevada, lluvias, viento y avalancha.

Paso 1. Hipótesis estadística

H₀: Los factores determinantes de clima para el volumen de agua no son cielo, nevada, lluvias, viento, avalancha.

H₁: Los factores determinantes de clima para el volumen de agua si son cielo, nevada, lluvias, viento y avalancha.

Paso 2. Se determinó el nivel de significación: $\alpha = 0,05$ ($p < 0,05$).

Paso 3. Se eligió el estadígrafo de prueba para muestras relacionadas.

$$P(Y = 1) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 * x)}}$$

En un modelo de regresión logística, $P(Y = 1)$ representa la probabilidad de que ocurra un evento de interés en función de las variables que explica el comportamiento aleatorio.

Paso 4: Se realizó el cálculo usando el programa estadístico SPSS versión 26.

Tabla 5

Modelo final con 5 iteraciones aplicando el modelo de regresión logística para los factores determinantes del clima

Símbolo	VARIABLES en la ecuación	β	Error estándar	Wald	gl	P valor	OR	95% C.I. para OR	
X11	Cielo nublado	1.857	0.579	10.281	1	0.001	6.402	2.058	19.913
X12	Nevada	2.128	0.976	4.759	1	0.029	8.400	1.241	56.839
X13	Lluvias	1.289	0.671	3.694	1	0.055	3.630	0.975	13.516
X14	Viento	1.045	0.513	4.159	1	0.041	2.844	1.042	7.765
X15	Avalancha	4.360	0.777	31.453	1	0.000	78.249	17.051	359.090
C	Constante	-3.156	0.663	22.628	1	0.000	0.043		

Paso 5. Regla de decisión: Si el valor p es menor que 0,05 ($p < 0,05$), se rechaza la hipótesis nula, correspondiendo a un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

Paso 6. Interpretación: Los resultados de la Tabla 5 indican que el modelo de regresión logística realizó 5 iteraciones para seleccionar las variables factores condicionales del clima, las cuales seleccionaron para el modelo a cielo despejado, presencia moderada de nevada, lluvias moderadas, no presencia de viento y no presencia de avalanchas para el volumen del agua estable. El modelo fue el siguiente:

$$P(x) = \frac{1}{1 + e^{-(-3.156 + 1.857X_{11} + 2.128X_{12} + 1.289X_{13} + 1.045X_{14} + 4.360X_{15})}}$$

Hipótesis específica 2

Los factores determinantes de laguna para en el volumen de agua son sifones, oleaje y nivel de agua.

Paso 1. Hipótesis estadística

H₀: Los factores determinantes de laguna para en el volumen de agua no son sifones, oleaje y nivel de agua.

H₁: Los factores determinantes de laguna para en el volumen de agua si son sifones, oleaje y nivel de agua.

Paso 2. Se determinó el nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ ($p < 0,05$).

Paso 3. Se eligió el estadígrafo de prueba para muestras relacionadas.

$$P(Y = 1) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 * x)}}$$

En el modelo de regresión logística, P(Y = 1) representa la probabilidad de que ocurra un evento de interés en función de las variables que explica el comportamiento aleatorio.

Paso 4: El cálculo se realizó usando el programa estadístico SPSS versión 26.

Tabla 6

Modelo final con 3 iteraciones aplicando el modelo de regresión logística para los factores determinantes de laguna

Símbolo	Variables en la ecuación	β	Error estándar	Wald	gl	P valor	OR	95% C.I. para OR	
								Li	Ls
X ₂₁	Sifones	1.995	0.591	11.395	1	0.001	7.354	2.309	23.424
X ₂₂	Nivel del agua	1.421	0.335	17.989	1	0.000	4.140	2.147	7.982
X ₂₃	Oleaje	1.825	0.381	22.980	1	0.000	6.203	2.941	13.081
C	Constante	-1.867	0.280	44.486	1	0.000	0.155		

Paso 5. Regla de decisión: Si el valor p es inferior a 0,05 ($p < 0,05$) correspondiente al nivel de significancia $\alpha = 0.05$, se rechaza la hipótesis nula.

Paso 6. Interpretación: Los resultados de la Tabla 6 nos indican que el modelo de regresión logística realizó 3 iteraciones para seleccionar las variables factores condicionales de laguna, las cuales seleccionaron para el modelo a los sifones

operativos, al nivel de agua estable y a la no presencia de oleaje para el volumen del agua estable. El modelo fue el siguiente:

$$P(x) = \frac{1}{1 + e^{-(-1.867+1.995X_{21}+1.421X_{22}+1.825X_{23})}}$$

4.3. Discusión

La intención del estudio fue determinar los factores determinantes para el comportamiento del volumen de agua mediante un modelo hidrológico de la laguna Palcacocha, ciudad de Huaraz, departamento de Áncash, año 2020. Como resultado se obtuvo un modelo hidrológico y una función de regresión logística múltiple, donde se pudo comprobar que los factores determinantes, tanto del clima y de la laguna son válidos. Por lo tanto, son determinantes unos más que otros (tablas 5 y 6) en el comportamiento del volumen de agua. Generalmente, ocasionan el incremento del volumen de agua. Sin embargo, el sistema de sinfonamiento que se tiene instalada en la laguna Palcacocha, en la actualidad, mantiene de alguna forma la estabilidad del volumen de agua, pero al suscitarse la presencia de los factores determinantes como el caso de avalancha y nevada va permitir que el volumen de agua tenga un comportamiento de crecimiento, y al no ser controlado podría producirse el desborde del agua de la laguna, ocasionando pérdidas irreparables en la población de Huaraz e Independencia que se encuentran en los sitios considerados de riesgo alto y muy alto del cono aluviónico. Este resultado es similar al hallado por Rodas (2018) en su estudio titulado *Análisis de la regulación hidrológica de lagunas en una zona de páramo del Austro Ecuatoriano*, cuyo objetivo fue cuantificar la regulación hídrica de las lagunas

en las cuencas de páramo ubicadas en la cuenca alta del río Tomebamba. Para ello, se utilizaron dos modelos hidrológicos, el VHM y TOPMODEL, con el fin de comprobar que el suelo del páramo posee una alta capacidad de retención de agua. Además, el estudio analizó el desbordamiento de las lagunas como consecuencia de eventos sísmicos, lluvias intensas y nevadas en las temporadas de lluvias. La conclusión fue que la comparación entre los comportamientos de los modelos VHM y TOPMODEL en las cuencas de Tomebamba y Culebrillas permitió confirmar que el suelo del páramo tiene una alta capacidad de retención hídrica. También se sugirió implementar acciones preventivas para reducir los riesgos para la población debido al desbordamiento de las lagunas durante eventos de lluvias intensas, nevadas o sismos.

Esta investigación también guarda cierta relación con los hallazgos obtenidos por García Tadeo (2024), quien llevó a cabo un estudio titulado *Detección de avalanchas de origen glaciar a través de cambios del flujo de radón en el ambiente proglacial Palcacocha*. El autor concluyó que las concentraciones de radón en series temporales, utilizadas para identificar comportamientos de geodinámica externa en ambientes proglaciares, son efectivas. Esto se debe a que la detección de avalanchas mediante las concentraciones de radón no depende de la luz, al igual que los datos obtenidos por radar de apertura sintética (SAR). De este modo, ambos métodos proporcionan información valiosa frente a la amenaza de los bloques inestables de los glaciares tropicales. En particular, se observa que las avalanchas influirán en el aumento del volumen de agua en la laguna Palcacocha, que a su vez provocará la formación de oleajes.

La investigación llevada a cabo guarda ciertas similitudes con el estudio de Escalante (2016) titulado *Simulación hidrológica de la laguna Aricota y optimización de la Central Hidroeléctrica Aricota III*. En su conclusión, Escalante afirmó que la simulación hidrológica realizada con el modelo WEAP logró representar de manera adecuada el comportamiento hídrico del sistema de regulación de Aricota y su cuenca vertiente. Sin embargo, señaló que un control inadecuado del volumen de agua proveniente de lluvias y oleajes podría causar el desborde de la laguna, lo que representaría un riesgo para la población.

El estudio de Inga (2016), titulado *Modelo dinámico sistémico para determinar la calidad del agua de la laguna de Patarcocha a través de la descarga de aguas residuales de asentamientos humanos en los alrededores de Pasco*, guarda ciertas similitudes con el estudio actual. Su conclusión indica que, en comparación con la descarga de aguas residuales de dichos asentamientos, la calidad del agua de la laguna Patarcocha se deteriorará conforme aumente el caudal de agua por tubería a 9,8 litros por segundo. Sin embargo, desde 2010, el recuento total de coliformes fue de 11,000 unidades, y gracias a las labores de limpieza, los coliformes se redujeron a 6,600 para 2026. Además, la concentración de fosfatos disminuyó de 78 mg/l en 2010 a 10 mg/l en 2026, y el crecimiento microbiano aumentó de 1,200 en 2009 a un valor superior en 2026, alcanzando niveles más altos cada año. Estos parámetros reflejan el estado de la calidad del agua, lo que sugiere que, frente a estos resultados, la calidad del agua de la laguna Patarcocha se verá gradualmente afectada, como se demuestra en una simulación del modelo dinámico de sistemas para el año 2026. También es importante controlar el aumento del volumen de agua, ya que factores naturales como lluvias,

nevadas y granizo pueden incrementar dicho volumen y provocar un desborde, lo que causaría graves daños a la población.

El estudio realizado tiene similitudes con el trabajo de Campos (2015) titulado *Estudio sobre la influencia de las actividades fluviales residentes en el comportamiento de la laguna Ñahuinpuquio de Chupaca*. En su conclusión, Campos señaló que las actividades humanas en el río, como la agricultura, ganadería y turismo, representan una amenaza para la supervivencia de la laguna de Ñahuinpuquio, así como para la flora y fauna que aún persisten. Esto se debe al uso de fertilizantes químicos, el abandono de excrementos animales en las orillas de la laguna y los desechos sólidos generados por la industria. Además, recomendó que las autoridades implementen medidas preventivas para reducir o controlar el aumento del volumen de agua con el fin de evitar el riesgo de desbordamiento de la laguna debido a factores naturales como el viento invernal, la lluvia y las nevadas.

CONCLUSIONES

1. Los factores determinantes del comportamiento del volumen de agua en la laguna Palcacocha, ubicada en la ciudad de Huaraz, departamento de Áncash, durante el año 2020, son los siguientes: cielo despejado, presencia moderada de nevadas, ausencia de avalanchas, sifones operativos, un nivel de agua estable y la ausencia de oleaje. Estos factores actúan como condicionantes tanto del clima como de las condiciones de la laguna. El modelo matemático utilizado para determinar dicho comportamiento es el siguiente:

$$P(x) = \frac{1}{1 + e^{-(-3.256+2.262X_{12}+2.631X_{13}+3.762X_{16}+2.169X_{21}+1.862X_{22}+1.135X_{23})}}$$

2. Los factores determinantes del clima en el comportamiento del volumen de agua de la laguna Palcacocha, ciudad de Huaraz, departamento de Áncash, año 2020, son el cielo despejado, la presencia moderada de nevada, lluvias moderadas, la no presencia de viento y la no presencia de avalanchas. El modelo que se utilizó es el siguiente.

$$P(x) = \frac{1}{1 + e^{-(-3.156+1.857X_{12}+2.128X_{13}+1.289X_{14}+1.045X_{15}+4.360X_{16})}}$$

3. Los factores determinantes de laguna en el comportamiento del volumen de agua de la laguna Palcacocha en la ciudad de Huaraz Departamento de Áncash año 2020, son los sifones operativos, al nivel de agua estable y a la no presencia de oleaje, siendo el modelo, el siguiente.

$$P(x) = \frac{1}{1 + e^{-(-1.867+1.995X_{21}+1.421X_{22}+1.825X_{23})}}$$

RECOMENDACIONES

- Para realizar las predicciones sobre el comportamiento de la laguna de Palcacocha, mediante el uso del modelo hidrológico, se debe tener en cuenta la variable tiempo.
- El resultado de las predicciones del modelo hidrológico va a permitir contar con una información respecto al comportamiento del volumen de agua.
- Se sugiere socializar esta investigación para que otras instituciones puedan realizar investigaciones similares.
- Se recomienda que el Centro de Operaciones de Emergencia Regional, a través de la Subgerencia de Defensa Civil y la Gerencia Regional de Recursos Naturales del Gobierno Regional de Áncash, considere los resultados de esta investigación, ya que proporciona información clave para la gestión del sistema de sinfonamiento de la laguna Palcacocha. Esta información es fundamental para controlar el riesgo de desbordes que podrían poner en peligro a la población de Huaraz e Independencia, ubicadas en las zonas clasificadas como de alto y muy alto riesgo dentro del cono aluviónico.

REFERENCIAS

- Aguilar, M. J. (2013). *Trabajo social: concepto y metodología*. Paraninfo.
- Alonso Pérez, M., & Furio Blasco, E. (2023). *Evaluación de parámetros. La prueba de Wald*. <https://hal.science/hal-04263937/document>
- ASALE, & RAE (2019). *El Cielo*. <https://www.bibleinfo.com/es/questions/donde-es-el-cielo>
- Autoridad Nacional del Agua (2019, septiembre 21). *Infografía_Palcacocha*. <https://www.proyectoglaciares.pe/wp-content/uploads/2017/11/Infografia-Palcacocha.pdf>
- AWS Amazon (s.f.). *¿Qué es la regresión logística?* <https://aws.amazon.com/es/what-is/logistic-regression/>
- Cadenas Anaya, C., & Guaita, W. (2020). *Dinámica de sistemas: una metodología para la construcción de modelos de toma de decisiones en sectores agroindustriales*. Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano. <https://doi.org/10.15765/poli.v1i695.2363>
- Campos, E. M. (2015). *Estudio de los efectos de las actividades ribereñas de la población en el comportamiento de la laguna de Ñahuinpuquio - Chupaca* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4609/Campos%20Solis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cavero, M. (2013). *Modelamiento hidrológico*. <https://gidahatari.com/ih-es/modelamiento-hidrologico>

- Escalante, M. M. (2016). *Simulación hidrológica de la laguna de Aricota y optimización de la Central Hidroeléctrica Aricota III* [Tesis para optar el título de ingeniero agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1955>
- Frey, H., Huggel, C., Chisolm, R. E., Baer, P., McArdell, B., Cochachin, A., & Portocarrero, C. (2018). Multi-Source Glacial Lake Outburst Flood Hazard Assessment and Mapping for Huaraz, Cordillera Blanca, Peru. *Frontiers in Earth Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00210>
- Fundación Aquae (2021). *El sifón hidráulico*. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/el-sifon-hidraulico/>
- Gamarra, H. R. (2018). *Aplicación del modelo hidrológico Lutz Scholz para determinar caudales medios mensuales en la subcuenca del río Quiroz* [Tesis para optar el título de ingeniero agrícola, Universidad Nacional de Piura]. <https://repositorio.unp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/36ace409-b0c2-4b15-aaa4-f77f6dd52d79/content>
- García Tadeo, D. A. (2024). *Detección de avalanchas de origen glaciar a través de cambios del flujo de radón en el ambiente proglacial Palcacocha* [Tesis optar el título de ingeniero civil, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. <https://repositorio.inaigem.gob.pe/items/e03685f2-ec7f-4129-84fc-cbc36a796883>
- Guamán Chacha, K. A., Hernández Ramos, E. L., & Lloay Sánchez, S. I. (2020). El positivismo y el positivismo jurídico. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(4),

265-269.http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202020000400265&lng=es&tlng=es

IDEAM (2021). *Modelación hidrológica*.

<http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>

IDESEP (2017). *Infraestructura de datos del SENAMHI*.

https://idesepe.senamhi.gob.pe/portalidesepe/idesepe_tema_especificos_frecuencia_nevadas.jsp

IMTA (2021). *El oleaje*.

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/356/4/A4%20Cap%C3%ADtulo%201.pdf>

INAIGEM (2020, marzo 6). *Sistema Nacional de Información Ambiental*.

<https://sinia.minam.gob.pe/novedades/inaigem-culmino-sistema-piloto-monitoreo-tiempo-real-laguna-palcacocha>

Inga, E. N. (2016). *Modelo dinámico de sistemas para determinar la calidad de agua en la Laguna Patarcocha por vertimiento de aguas residuales de los asentamientos humanos aledaños, Pasco, 2016* [Tesis para optar el título de ingeniera ambiental, Universidad César Vallejo].

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/11350/Elea_NR_I-SD.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Mendoza López, Á. (2000). *Modelo de regresión logística múltiple*.

National Geographic. (2019). *Avalanchas*. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/avalanchas>

- ONERN (1980). *Inventario nacional de lagunas y represamientos*.
- Revista Avalanchas. (2020). *Avalancha*. Enciclopedia Significados.
<https://www.significados.com/avalancha/>
- Revista iAgua (2021, diciembre 20). *Laguna*. iAgua.
<https://www.iagua.es/respuestas/que-es-laguna>
- Revista clima. (2023, junio 14). *La lluvia, formación y medición*. El tiempo.es.
<https://www.clima.com/meteopedia/lluvia>
- Rincón Rodríguez, A. A. (2018). *Sistema de pronóstico de radiación solar a corto plazo a partir de un modelo meteorológico y técnicas de post-proceso para España* [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya].
<http://hdl.handle.net/10803/129515>
- Rodas, M. V. (2018). *Análisis de la regulación hidrológica de lagunas en una zona de páramo del Austro Ecuatoriano* [Tesis de maestría, Universidad de Cuenca].
<https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/3f5b8578-3714-4839-bbc4-c86ca3b4dc90/content>
- Serra, F. (2016). El enfoque sistémico y la dinámica de sistemas como metodología de la NTE para el estudio de fenómenos complejos. *Civilizar Ciencias De La Comunicación*, 3(3). <https://revistas.usergioarboleda.edu.co/index.php/Civilizarcomunicacion/article/view/597>
- SERVINDI (s.f.). *Perú: Amenazas y desafíos hídricos frente al cambio climático*. Servindi-Servicios de Comunicación Intercultural.
<https://www.servindi.org/actualidad/118443>
- Villamar, J. (2015). El positivismo y la investigación científica. *Revista Empresarial*, 9(35), 29-34. <https://dialnet.unirioja.es/servlet-articulo?codigo=9419741>

Anexos

Matriz de consistencia

FACTORES DETERMINANTES PARA EL COMPORTAMIENTO DEL VOLUMEN DE AGUA DE LA LAGUNA PALCACOCHA MEDIANTE UN MODELO HIDROLÓGICO CIUDAD DE HUARAZ, ÁNCASH AÑO 2020

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<p>Problema general ¿Cuáles son los factores determinantes para pronosticar el comportamiento del volumen de agua de la laguna Palcacocha mediante un modelo hidrológico ciudad de Huaraz, Áncash año 2020?</p>	<p>Objetivo general. Identificar los factores determinantes para pronosticar el comportamiento del volumen de agua de la laguna Palcacocha mediante un modelo hidrológico ciudad de Huaraz, Áncash año 2020.</p> <p>Objetivos específicos.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Determinar los factores determinantes de clima para el volumen de agua. ✓ Determinar los factores determinantes de laguna para el volumen de agua 	<p>Hipótesis general Los factores condicionales de clima y laguna son significativos para determinar el comportamiento del volumen de agua de la laguna Palcacocha mediante un modelo Hidrológico ciudad de Huaraz Departamento de Áncash año 2020.</p> <p>Hipótesis específica</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Los factores condicionales de clima para el volumen de agua son cielo, nevada, lluvias, viento, avalancha. 2. Los factores condicionales de laguna para en el volumen de agua son sifones, oleaje y nivel de agua. 	Factores determinantes	Condiciones de clima	Cielo soleado	Parcial Total
					Cielo nublado	
					Nevada	Ninguno Moderado Intenso
					Lluvia	
					Viento	Ninguno Mínimo Fuerte
			Avalancha	Ninguno Mínimo Fuerte		
			VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADOR	Escala de medición
			Volumen de agua	Condiciones de laguna	Sifones	Operativo No operativo
					Nivel de agua	Estable Ascendió Disminuyó

					Oleaje	Ninguno Minima Fuerte
METODO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	ESTADÍSTICA QUE UTILIZA			
El método no experimental de tipo aplicado explicativo. Diseño Cuasi experimental de corte longitudinal	Población y muestra se considera todo el volumen de agua de la laguna Palcacocha.	Técnica: Observación Instrumento: Ficha de registro de control de volumen de agua	Estadística descriptiva inferencial			

2.Operacionalización de variables.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	
		DIMENSIONES	INDICADORES
Factores determinantes.	<p>Un modelo hidrológico, es una representación simplificada de un sistema real complejo llamado prototipo, bajo forma física o matemática. De manera matemática, el sistema real está representado por una expresión analítica que determina el comportamiento del nivel de agua de una laguna, lago, mar, río, entre otros.</p> <p>El modelo hidrológico está en función generalmente en las condiciones de clima (cielo soleado, nublado, nevada, lluvias); entre otras condiciones (avalancha, oleaje)</p>	Condiciones de clima	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cielo soleado ✓ Cielo nublado ✓ Nevada ✓ Lluvias. ✓ Viento. ✓ Avalancha
Volumen de agua	<p>El agua es una sustancia cuyas moléculas están compuestas por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno. El volumen de agua es una cantidad variable o constante de agua que podría encontrarse en lagunas, ríos, lagos, mares, entre otros; donde es importante tener en cuenta el nivel de agua. La unidad de medida es el metro cúbico. El volumen de agua tiene cierto caudal de salida en el caso de una laguna; la salida de agua se da a través de un equipo (tubería, canal entre otros)</p>	Condiciones de laguna	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sifones ✓ Nivel de agua ✓ Oleaje

3. Ficha de reporte de condiciones de tiempo y operación de sifonamiento - COER – ÁNCASH

REPORTE DE LAS CONDICIONES DE TIEMPO Y OPERACIÓN DE SIFONAMIENTO DE AGUA DE LA LAGUNA DE PALCACOCHA <u>MODULO DE COMUNICACIONES</u>																											
FECHA: 01/01/2020 AÑO:2020																											
INDICADOR	CONDICIONES DEL CLIMA															CONDICIONES DE LAGUNA											
HORA	CIELO SOLEADO		CIELO NUBLADO			NEVADA			LLUVIAS			VIENTO			AVALANCHA			SIFONES		NIVEL DE AGUA		OLEAJE					
LEYENDA	Parcial: 1	Total:2	Parcial:1	Total:2	Despejado: 0	Ninguno: 0	Moderado:1	Intenso:2	Ninguno: 0	Moderado:1	Intenso:2	Ninguno: 0	Mínimo:1	Fuerte:2	Ninguno: 0	Mínimo:1	Fuerte:2	Operativo:1	No operativo:2	Estable:1	Ascendió:2	Disminuyó:-2	Ninguno: 0	Mínimo:1	Fuerte:2		
TURNO. 1																											
TURNO. 2																											
TURNO. 3																											
TURNO. 4																											
TURNO. 5																											
TURNO. 6																											
TURNO. 7																											
TURNO. 8																											
TURNO. 9																											



Reps. Módulo de comunicaciones

Jefe del COER



Resultados del SPSS

```
LOGISTIC REGRESSION VARIABLES Y
/METHOD = FSTEP(WALD) X11 X12 X13 X14 X15 X16
/PRINT = GOODFIT CI(95)
/CRITERIA = PIN(.05) POUT(.05) ITERATE(20) CUT(.5) .
```

Regresión logística

PARA EL OBJETIVO GENERAL

[Conjunto_de_datos1] C:\Users\USUARIO\Downloads\Base Nivardo(1).sav

Resumen del procesamiento de los casos

Casos no ponderados ^a		N	Porcentaje
Casos seleccionados	Incluidos en el análisis	214	100.0
	Casos perdidos	0	.0
	Total	214	100.0
Casos no seleccionados		0	.0
Total		214	100.0

a. Si está activada la ponderación, consulte la tabla de clasificación para ver el número total de casos.

Codificación de la variable dependiente

Valor original	Valor interno
Estable	0
Medio / Alto	1

Bloque 0: Bloque inicial

Tabla de clasificación^{a,b}

Observado			Pronosticado		
			Volumen del agua		Porcentaje correcto
			Estable	Medio / Alto	
Paso 0	Volumen del agua	Estable	133	0	100.0
		Medio / Alto	81	0	.0
Porcentaje global					62.1

a. En el modelo se incluye una constante.

b. El valor de corte es .500

Variables en la ecuación

		B	E.T.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)
Paso 0	Constante	-.496	.141	12.380	1	.000	.609

Variables que no están en la ecuación

			Puntuación	gl	Sig.
Paso 0	Variables	X11	21.212	1	.000
		X12	45.170	1	.000
		X13	41.436	1	.000
		X14	7.718	1	.005
		X15	14.090	1	.000
		X16	78.129	1	.000
		X21	16.200	1	.000
		X22	23.371	1	.000
		X23	27.086	1	.000
		Estadísticos globales			121.576

Bloque 1: Método = Por pasos hacia adelante (Wald)

Pruebas omnibus sobre los coeficientes del modelo

		Chi-cuadrado	gl	Sig.
Paso 1	Paso	84.520	1	.000
	Bloque	84.520	1	.000
	Modelo	84.520	1	.000
Paso 2	Paso	37.537	1	.000
	Bloque	122.057	2	.000
	Modelo	122.057	2	.000
Paso 3	Paso	14.483	1	.000
	Bloque	136.540	3	.000
	Modelo	136.540	3	.000
Paso 4	Paso	7.593	1	.006
	Bloque	144.133	4	.000
	Modelo	144.133	4	.000
Paso 5	Paso	6.614	1	.010
	Bloque	150.747	5	.000
	Modelo	150.747	5	.000
Paso 6	Paso	3.743	1	.053
	Bloque	154.490	6	.000
	Modelo	154.490	6	.000

Resumen de los modelos

Paso	-2 log de la verosimilitud	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	199.384 ^a	.326	.444
2	161.847 ^a	.435	.592
3	147.364 ^a	.472	.642
4	139.771 ^a	.490	.667
5	133.157 ^a	.506	.688
6	129.414 ^a	.514	.700

- a. La estimación ha finalizado en el número de iteración 6 porque las estimaciones de los parámetros han cambiado en menos de .001.

Prueba de Hosmer y Lemeshow

Paso	Chi-cuadrado	gl	Sig.
1	.000	0	.
2	.095	2	.954
3	2.276	4	.685
4	2.879	3	.411
5	1.147	4	.887
6	2.628	5	.757

Tabla de contingencias para la prueba de Hosmer y Lemeshow

		Volumen del agua = Estable		Volumen del agua = Medio / Alto		Total
		Observado	Esperado	Observado	Esperado	
Paso 1	1	131	131.000	39	39.000	170
1	2	2	2.000	42	42.000	44
Paso 2	1	122	122.089	19	18.911	141
2	2	9	8.911	20	20.089	29
	3	2	1.911	25	25.089	27
	4	0	.089	17	16.911	17
Paso 3	1	80	81.862	7	5.138	87
3	2	42	40.214	12	13.786	54
	3	9	8.099	12	12.901	21
	4	2	1.806	11	11.194	13
	5	0	.942	22	21.058	22
	6	0	.077	17	16.923	17
Paso 4	1	79	81.282	7	4.718	86
4	2	42	40.147	12	13.853	54
	3	11	9.279	10	11.721	21
	4	1	2.147	29	27.853	30
	5	0	.145	23	22.855	23
Paso 5	1	78	77.408	3	3.592	81
5	2	39	39.348	12	11.652	51
	3	14	12.985	9	10.015	23
	4	1	2.197	13	11.803	14
	5	1	.987	20	20.013	21
	6	0	.075	24	23.925	24
Paso 6	1	66	64.513	1	2.487	67
6	2	12	12.501	2	1.499	14
	3	37	36.855	9	9.145	46
	4	12	14.246	9	6.754	21
	5	5	4.192	19	19.808	24
	6	1	.655	20	20.345	21
	7	0	.037	21	20.963	21

Tabla de clasificación^a

Observado			Pronosticado		
			Volumen del agua		Porcentaje correcto
			Estable	Medio / Alto	
Paso 1	Volumen del agua	Estable Medio / Alto	131 39	2 42	98.5 51.9
	Porcentaje global				80.8
Paso 2	Volumen del agua	Estable Medio / Alto	122 19	11 62	91.7 76.5
	Porcentaje global				86.0
Paso 3	Volumen del agua	Estable Medio / Alto	122 19	11 62	91.7 76.5
	Porcentaje global				86.0
Paso 4	Volumen del agua	Estable Medio / Alto	130 22	3 59	97.7 72.8
	Porcentaje global				88.3
Paso 5	Volumen del agua	Estable Medio / Alto	127 21	6 60	95.5 74.1
	Porcentaje global				87.4
Paso 6	Volumen del agua	Estable Medio / Alto	126 21	7 60	94.7 74.1
	Porcentaje global				86.9

a. El valor de corte es .500

Variables en la ecuación

	B	E.T.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	I.C. 95.0% para EXP(B)		
							Inferior	Superior	
Paso 1	X16	4.256	.746	32.517	1	.000	70.538	16.334	304.612
	Constante	-1.212	.182	44.120	1	.000	.298		
Paso 2	X12	2.678	.468	32.748	1	.000	14.553	5.816	36.413
	X16	4.440	.769	33.293	1	.000	84.734	18.756	382.815
	Constante	-1.865	.246	57.243	1	.000	.155		
Paso 3	X12	3.234	.552	34.271	1	.000	25.382	8.596	74.948
	X16	4.178	.794	27.662	1	.000	65.224	13.749	309.423
	X22	1.698	.478	12.600	1	.000	5.462	2.139	13.948
	Constante	-2.768	.414	44.753	1	.000	.063		
Paso 4	X12	2.384	.625	14.522	1	.000	10.843	3.182	36.944
	X13	2.392	.948	6.370	1	.012	10.935	1.707	70.064
	X16	4.145	.805	26.511	1	.000	63.101	13.027	305.656
	X22	1.783	.486	13.469	1	.000	5.945	2.295	15.402
	Constante	-2.847	.423	45.359	1	.000	.058		
Paso 5	X12	2.389	.654	13.344	1	.000	10.899	3.026	39.265
	X13	2.603	.963	7.303	1	.007	13.511	2.045	89.266
	X16	4.080	.823	24.559	1	.000	59.160	11.781	297.070
	X21	2.002	.781	6.567	1	.010	7.405	1.601	34.245
	X22	1.853	.504	13.499	1	.000	6.381	2.374	17.151
	Constante	-3.070	.453	45.867	1	.000	.046		
Paso 6	X12	2.262	.698	10.490	1	.001	9.600	2.443	37.733
	X13	2.631	.995	6.987	1	.008	13.884	1.974	97.648
	X16	3.762	.840	20.060	1	.000	43.050	8.297	223.365
	X21	2.169	.798	7.388	1	.007	8.748	1.831	41.793
	X22	1.862	.511	13.288	1	.000	6.437	2.365	17.520
	X23	1.135	.578	3.851	1	.050	3.110	1.001	9.657
	Constante	-3.256	.471	47.704	1	.000	.039		

- a. Variable(s) introducida(s) en el paso 1: X16.
- b. Variable(s) introducida(s) en el paso 2: X12.
- c. Variable(s) introducida(s) en el paso 3: X22.
- d. Variable(s) introducida(s) en el paso 4: X13.
- e. Variable(s) introducida(s) en el paso 5: X21.
- f. Variable(s) introducida(s) en el paso 6: X23.

Variables que no están en la ecuación

			Puntuación	gl	Sig.
Paso 1	Variables	X11	18.108	1	.000
		X12	42.376	1	.000
		X13	36.594	1	.000
		X14	7.485	1	.006
		X15	7.562	1	.006
		X21	5.176	1	.023
		X22	7.232	1	.007
		X23	7.090	1	.008
			Estadísticos globales		73.360
Paso 2	Variables	X11	3.028	1	.082
		X13	6.299	1	.012
		X14	5.175	1	.023
		X15	5.036	1	.025
		X21	5.749	1	.016
		X22	14.464	1	.000
		X23	3.006	1	.083
			Estadísticos globales		35.029
Paso 3	Variables	X11	3.431	1	.064
		X13	7.166	1	.007
		X14	2.453	1	.117
		X15	4.627	1	.031
		X21	5.871	1	.015
		X23	3.692	1	.055
			Estadísticos globales		22.069
Paso 4	Variables	X11	1.730	1	.188
		X14	1.674	1	.196
		X15	3.489	1	.062
		X21	7.249	1	.007
		X23	3.224	1	.073
			Estadísticos globales		15.763
Paso 5	Variables	X11	.797	1	.372
		X14	1.776	1	.183
		X15	3.579	1	.059
		X23	4.022	1	.045
			Estadísticos globales		9.014
Paso 6	Variables	X11	.883	1	.347
		X14	2.464	1	.116
		X15	2.205	1	.138
			Estadísticos globales		5.516

Regresión logística

PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 1

[Conjunto_de_datos1] C:\Users\USUARIO\Downloads\Base Nivardo(1).sav

Resumen del procesamiento de los casos

Casos no ponderados ^a		N	Porcentaje
Casos seleccionados	Incluidos en el análisis	214	100.0
	Casos perdidos	0	.0
	Total	214	100.0
Casos no seleccionados		0	.0
Total		214	100.0

a. Si está activada la ponderación, consulte la tabla de clasificación para ver el número total de casos.

Codificación de la variable dependiente

Valor original	Valor interno
Estable	0
Medio / Alto	1

Bloque 0: Bloque inicial

Tabla de clasificación^{a,b}

Observado			Pronosticado		
			Volumen del agua		Porcentaje correcto
			Estable	Medio / Alto	
Paso 0	Volumen del agua	Estable	133	0	100.0
		Medio / Alto	81	0	.0
		Porcentaje global			62.1

a. En el modelo se incluye una constante.

b. El valor de corte es .500

Variables en la ecuación

		B	E.T.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Paso 0	Constante	-.496	.141	12.380	1	.000	.609

Variables que no están en la ecuación

			Puntuación	gl	Sig.
Paso 0	Variables	X11	21.212	1	.000
		X12	45.170	1	.000
		X13	41.436	1	.000
		X14	7.718	1	.005
		X15	14.090	1	.000
		X16	78.129	1	.000
		Estadísticos globales	110.556	6	.000

Bloque 1: Método = Por pasos hacia adelante (Wald)

Pruebas omnibus sobre los coeficientes del modelo

		Chi-cuadrado	gl	Sig.
Paso 1	Paso	84.520	1	.000
	Bloque	84.520	1	.000
	Modelo	84.520	1	.000
Paso 2	Paso	37.537	1	.000
	Bloque	122.057	2	.000
	Modelo	122.057	2	.000
Paso 3	Paso	6.633	1	.010
	Bloque	128.691	3	.000
	Modelo	128.691	3	.000
Paso 4	Paso	4.590	1	.032
	Bloque	133.281	4	.000
	Modelo	133.281	4	.000
Paso 5	Paso	4.459	1	.035
	Bloque	137.740	5	.000
	Modelo	137.740	5	.000

Resumen de los modelos

Paso	-2 log de la verosimilitud	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	199.384 ^a	.326	.444
2	161.847 ^a	.435	.592
3	155.213 ^a	.452	.615
4	150.623 ^a	.464	.631
5	146.164 ^a	.475	.646

a. La estimación ha finalizado en el número de iteración 6 porque las estimaciones de los parámetros han cambiado en menos de .001.

Prueba de Hosmer y Lemeshow

Paso	Chi-cuadrado	gl	Sig.
1	.000	0	.
2	.095	2	.954
3	.664	3	.882
4	13.284	3	.004
5	17.298	5	.004

Tabla de contingencias para la prueba de Hosmer y Lemeshow

		Volumen del agua = Estable		Volumen del agua = Medio / Alto		Total
		Observado	Esperado	Observado	Esperado	
Paso 1	1	131	131.000	39	39.000	170
1	2	2	2.000	42	42.000	44
Paso 2	1	122	122.089	19	18.911	141
2	2	9	8.911	20	20.089	29
	3	2	1.911	25	25.089	27
	4	0	.089	17	16.911	17
Paso 3	1	121	121.636	19	18.364	140
3	2	9	7.852	7	8.148	16
	3	1	1.512	13	12.488	14
	4	2	1.892	23	23.108	25
	5	0	.108	19	18.892	19
Paso 4	1	108	107.812	13	13.188	121
4	2	13	13.763	6	5.237	19
	3	10	9.243	16	16.757	26
	4	0	1.907	23	21.093	23
	5	2	.275	23	24.725	25
Paso 5	1	31	30.692	1	1.308	32
5	2	0	1.784	2	.216	2
	3	77	77.079	12	11.921	89
	4	16	14.901	5	6.099	21
	5	7	6.382	15	15.618	22
	6	2	1.832	21	21.168	23
	7	0	.330	25	24.670	25

Tabla de clasificación^a

Observado			Pronosticado		
			Volumen del agua		Porcentaje correcto
			Estable	Medio / Alto	
Paso 1	Volumen del agua	Estable Medio / Alto	131 39	2 42	98.5 51.9
	Porcentaje global				80.8
Paso 2	Volumen del agua	Estable Medio / Alto	122 19	11 62	91.7 76.5
	Porcentaje global				86.0
Paso 3	Volumen del agua	Estable Medio / Alto	121 19	12 62	91.0 76.5
	Porcentaje global				85.5
Paso 4	Volumen del agua	Estable Medio / Alto	129 23	4 58	97.0 71.6
	Porcentaje global				87.4
Paso 5	Volumen del agua	Estable Medio / Alto	130 23	3 58	97.7 71.6
	Porcentaje global				87.9

a. El valor de corte es .500

Variables en la ecuación

	B	E.T.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	I.C. 95.0% para EXP(B)		
							Inferior	Superior	
Paso 1	X16	4.256	.746	32.517	1	.000	70.538	16.334	304.612
	Constante	-1.212	.182	44.120	1	.000	.298		
Paso 2	X12	2.678	.468	32.748	1	.000	14.553	5.816	36.413
	X16	4.440	.769	33.293	1	.000	84.734	18.756	382.815
	Constante	-1.865	.246	57.243	1	.000	.155		
Paso 3	X12	1.917	.548	12.218	1	.000	6.802	2.321	19.930
	X13	2.085	.888	5.517	1	.019	8.044	1.412	45.818
	X16	4.393	.772	32.425	1	.000	80.897	17.833	366.975
	Constante	-1.891	.248	58.027	1	.000	.151		
Paso 4	X12	1.898	.561	11.434	1	.001	6.673	2.221	20.051
	X13	2.112	.904	5.455	1	.020	8.263	1.404	48.620
	X15	1.135	.519	4.783	1	.029	3.111	1.125	8.603
	X16	4.405	.779	31.941	1	.000	81.860	17.767	377.152
	Constante	-2.101	.281	56.000	1	.000	.122		
Paso 5	X12	1.857	.579	10.281	1	.001	6.402	2.058	19.913
	X13	2.128	.976	4.759	1	.029	8.400	1.241	56.839
	X14	1.289	.671	3.694	1	.055	3.630	.975	13.516
	X15	1.045	.513	4.159	1	.041	2.844	1.042	7.765
	X16	4.360	.777	31.453	1	.000	78.249	17.051	359.090
	Constante	-3.156	.663	22.628	1	.000	.043		

- Variable(s) introducida(s) en el paso 1: X16.
- Variable(s) introducida(s) en el paso 2: X12.
- Variable(s) introducida(s) en el paso 3: X13.
- Variable(s) introducida(s) en el paso 4: X15.
- Variable(s) introducida(s) en el paso 5: X14.
- Se ha detenido un procedimiento por pasos ya que al eliminar la variable menos significativa se obtuvo un modelo previamente ajustado.

Variables que no están en la ecuación

			Puntuación	gl	Sig.
Paso 1	Variables	X11	18.108	1	.000
		X12	42.376	1	.000
		X13	36.594	1	.000
		X14	7.485	1	.006
		X15	7.562	1	.006
		Estadísticos globales		55.794	5
Paso 2	Variables	X11	3.028	1	.082
		X13	6.299	1	.012
		X14	5.175	1	.023
		X15	5.036	1	.025
	Estadísticos globales		15.238	4	.004
Paso 3	Variables	X11	1.504	1	.220
		X14	4.475	1	.034
		X15	4.967	1	.026
		Estadísticos globales		9.531	3
Paso 4	Variables	X11	.609	1	.435
		X14	3.961	1	.047
		Estadísticos globales		4.792	2
Paso 5	Variables	X11	.859	1	.354
	Estadísticos globales		.859	1	.354

Regresión logística

PARA EL OBJETIVO ESPECIFICO 2

[Conjunto_de_datos1] C:\Users\USUARIO\Downloads\Base Nivardo(1).sav

Resumen del procesamiento de los casos

Casos no ponderados ^a		N	Porcentaje
Casos seleccionados	Incluidos en el análisis	214	100.0
	Casos perdidos	0	.0
	Total	214	100.0
Casos no seleccionados		0	.0
Total		214	100.0

a. Si está activada la ponderación, consulte la tabla de clasificación para ver el número total de casos.

Codificación de la variable dependiente

Valor original	Valor interno
Estable	0
Medio / Alto	1

Bloque 0: Bloque inicial

Tabla de clasificación^{a,b}

Observado			Pronosticado		
			Volumen del agua		Porcentaje correcto
			Estable	Medio / Alto	
Paso 0	Volumen del agua	Estable	133	0	100.0
		Medio / Alto	81	0	.0
Porcentaje global					62.1

a. En el modelo se incluye una constante.

b. El valor de corte es .500

Variables en la ecuación

		B	E.T.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)
Paso 0	Constante	-.496	.141	12.380	1	.000	.609

Variables que no están en la ecuación

			Puntuación	gl	Sig.
Paso 0	Variables	X21	16.200	1	.000
		X22	23.371	1	.000
		X23	27.086	1	.000
	Estadísticos globales	56.350	3	.000	

Bloque 1: Método = Por pasos hacia adelante (Wald)

Pruebas omnibus sobre los coeficientes del modelo

		Chi-cuadrado	gl	Sig.
Paso 1	Paso	26.616	1	.000
	Bloque	26.616	1	.000
	Modelo	26.616	1	.000
Paso 2	Paso	21.720	1	.000
	Bloque	48.336	2	.000
	Modelo	48.336	2	.000
Paso 3	Paso	13.180	1	.000
	Bloque	61.517	3	.000
	Modelo	61.517	3	.000

Resumen de los modelos

Paso	-2 log de la verosimilitud	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	257.288 ^a	.117	.159
2	235.568 ^a	.202	.275
3	222.387 ^b	.250	.340

- a. La estimación ha finalizado en el número de iteración 4 porque las estimaciones de los parámetros han cambiado en menos de .001.
- b. La estimación ha finalizado en el número de iteración 5 porque las estimaciones de los parámetros han cambiado en menos de .001.

Prueba de Hosmer y Lemeshow

Paso	Chi-cuadrado	gl	Sig.
1	.000	0	.
2	4.860	2	.088
3	7.898	3	.048

Tabla de contingencias para la prueba de Hosmer y Lemeshow

		Volumen del agua = Estable		Volumen del agua = Medio / Alto		Total
		Observado	Esperado	Observado	Esperado	
Paso 1	1	116	116.000	45	45.000	161
	2	17	17.000	36	36.000	53
Paso 2	1	76	78.990	18	15.010	94
	2	40	37.010	27	29.990	67
	3	15	12.010	10	12.990	25
	4	2	4.990	26	23.010	28
Paso 3	1	75	75.350	12	11.650	87
	2	37	35.973	22	23.027	59
	3	14	12.251	10	11.749	24
	4	3	7.702	26	21.298	29
	5	4	1.725	11	13.275	15

Tabla de clasificaci3n

Observado			Pronosticado		Porcentaje correcto
			Volumen del agua		
			Estable	Medio / Alto	
Paso 1	Volumen del agua	Estable	116	17	87.2
		Medio / Alto	45	36	44.4
	Porcentaje global				71.0
Paso 2	Volumen del agua	Estable	116	17	87.2
		Medio / Alto	45	36	44.4
	Porcentaje global				71.0
Paso 3	Volumen del agua	Estable	126	7	94.7
		Medio / Alto	44	37	45.7
	Porcentaje global				76.2

a. El valor de corte es .500

Variables en la ecuación

	B	E.T.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	I.C. 95.0% para EXP(B)		
							Inferior	Superior	
Paso 1	X23	1.697	.343	24.527	1	.000	5.459	2.789	10.686
	Constante	-.947	.176	29.072	1	.000	.388		
Paso 2	X22	1.450	.322	20.265	1	.000	4.264	2.268	8.018
	X23	1.739	.366	22.564	1	.000	5.691	2.777	11.663
	Constante	-1.661	.260	40.718	1	.000	.190		
Paso 3	X21	1.995	.591	11.395	1	.001	7.354	2.309	23.424
	X22	1.421	.335	17.989	1	.000	4.140	2.147	7.982
	X23	1.825	.381	22.980	1	.000	6.203	2.941	13.081
	Constante	-1.867	.280	44.486	1	.000	.155		

a. Variable(s) introducida(s) en el paso 1: X23.

b. Variable(s) introducida(s) en el paso 2: X22.

c. Variable(s) introducida(s) en el paso 3: X21.

Variables que no están en la ecuación

			Puntuación	gl	Sig.
Paso 1	Variables	X21	15.960	1	.000
		X22	21.636	1	.000
	Estadísticos globales	33.345	2	.000	
Paso 2	Variables	X21	13.140	1	.000
	Estadísticos globales	13.140	1	.000	

LOGISTIC REGRESSION VARIABLES Y

/METHOD = FSTEP(WALD) X11 X12 X13 X14 X15 X16 X21 X22 X23

/PRINT = GOODFIT CI(95)

/CRITERIA = PIN(.05) POUT(.05) ITERATE(20) CUT(.5) .