



UNIVERSIDAD LATINA DE PANAMÁ

CENTRO DE ESTUDIOS DE POSTGRADOS, MAESTRÍAS Y DOCTORADOS

**“SEQUÍAS EN PANAMÁ: RETOS Y SOLUCIONES PARA GARANTIZAR LA
OPERATIVIDAD Y RENTABILIDAD DEL CANAL DE PANAMÁ”**

Proyecto final de graduación presentado como requisito para optar por el título

de: Maestría en Comercio y Logística Internacional

Latina de Panamá

Franz Martín Yorett García-Mayorca

C. I. P. 8-929-607

Denis Javier Fernández Yatskevich

C. I. P. 8-935-2330

Profesora asesora:

Dra. Yazmín Danixsa Dorati

Panamá, República de Panamá

Julio, 2025

Matriz de congruencia

Autores	Franz Yorett Denis Fernández
Título del Proyecto	Sequías en Panamá: Retos y soluciones para garantizar la operatividad y rentabilidad del Canal de Panamá
Problemas de Investigación	Las sequías prolongadas representan una amenaza creciente para la operación del Canal de Panamá, debido a su impacto en los niveles hídricos, fuente clave para el funcionamiento de las esclusas. La disminución del agua disponible ha obligado a limitar el tránsito de embarcaciones, afectando directamente los ingresos del canal, elevando los costos operativos y reduciendo su competitividad en el comercio internacional. Este problema se ha agravado por el cambio climático y fenómenos como El Niño, lo que evidencia la necesidad urgente de estrategias sostenibles de mitigación, gestión hídrica y planificación financiera. Por tanto, es fundamental investigar los efectos de las sequías sobre la operatividad del canal, su impacto económico y ecológico, así como proponer soluciones que garanticen su funcionamiento a largo plazo y su contribución al desarrollo sostenible del país.
Objetivo General	Evaluar de manera comparativa la efectividad de las estrategias y medidas de mitigación adoptadas por la Autoridad

	del Canal de Panamá, durante las sequías de 2015, 2019 y 2023, con el fin de determinar su impacto en la estabilidad y protección de los ingresos operativos del Canal.
Objetivos Específicos	• Determinar la relación entre la variabilidad climática (El Niño, cambio climático, etc.) y la frecuencia o severidad de las sequías que afectan la operación del canal. • Analizar el impacto económico que las sequías han tenido en los ingresos del Canal de Panamá, en los últimos años. • Revisar y clasificar las medidas de mitigación existentes, tanto locales como internacionales, que han sido eficaces frente a eventos similares en infraestructuras hídricas estratégicas. • Proponer estrategias de mitigación sostenibles (tecnológicas, de gestión hídrica y políticas) que contribuyan a garantizar el funcionamiento óptimo del canal durante eventos de sequía prolongada.
Pregunta principal	¿Cómo afectan las sequías recurrentes a la operatividad y rentabilidad del Canal de Panamá, y qué soluciones pueden implementarse para mitigar sus impactos?
Preguntas específicas	¿Qué relación existe entre los eventos de El Niño y la disminución de los niveles del Lago Gatún durante los años 2015, 2019 y 2023?

	¿Cómo han variado los ingresos operativos del Canal de Panamá, durante los años en que se registraron sequías severas? ¿Qué medidas de mitigación adoptó la Autoridad del Canal de Panamá, en cada una de las sequías analizadas (2015, 2019 y 2023) ¿Qué estrategias internacionales han sido exitosas en la gestión del recurso hídrico en infraestructuras similares al Canal de Panamá? ¿Qué impacto operativo tuvieron las restricciones de calado y reducción del número de tránsitos durante las sequías recientes? ¿Qué tecnologías de ahorro o recirculación de agua ha implementado la ACP, y qué efectividad han demostrado?
--	--

índice General	
Matriz de congruencia.....	ii
Índice de ilustraciones	viii
Índice de tablas y gráficas.....	IX
Introducción	10
Capítulo 1: Fundamentación	12
1.1 Antecedentes y descripción del proyecto.....	12
1.1.1 Misión	17
1.1.2 Visión.....	17
1.1.3 Valores	17
1.1.4 Conductas	17
1.1.5 Organigrama	19
1.1.6 Descripción del proyecto	20
1.2 Planteamiento del problema.	20
1.2.1 Enunciado del problema	20
1.2.2 Formulación del problema	23
1.2.3 Árbol del problema	23
1.3 Justificación del proyecto.....	24
1.3.1 Relevancia del tema	26
1.3.2 Viabilidad, factibilidad y pertinencia.	27
1.4 Objetivos:	27
1.4.1 Objetivo General.....	27
1.4.2 Objetivos Específicos	28
1.5 Alcance, proyección y límite del proyecto	28
1.6 Impacto, beneficios y/o resultados esperados	29
Capítulo 2: Marco teórico	31
2.1 Cambio Climático y Variabilidad Climática	32
2.1.1 Definición y causas del cambio climático	32
2.1.2 El fenómeno de El Niño y su impacto en Centroamérica	35
2.1.3 Tendencias climáticas recientes en Panamá	40
2.2 Hidrología del Canal de Panamá	43
2.2.1 Funcionamiento hídrico del Canal: lagos Gatún y Alajuela.....	43
2.2.2 Requerimientos de agua para la operación de esclusas	45
2.3 Impacto de las Sequías en el Canal de Panamá	50
2.3.1 Sequía de 2015: efectos del fenómeno de El Niño	50

2.3.2	Sequía de 2019: condiciones de baja pluviosidad y efectos moderado.....	55
2.3.3	Sequía de 2023–2024: crisis hídrica histórica y consecuencias económicas	57
2.3.4	Comparación de impactos operativos y financieros entre los tres eventos ...	62
2.4	El tránsito de buques en el Canal de Panamá	64
2.4.1	Tipos de buques que transitan el Canal.....	64
2.4.2	Número de buques por año	65
2.4.3	Ingresos generados por el tránsito.....	67
2.4.4	Tarifas por tipo de buque	70
2.5	Economía del Agua	72
2.5.1	El agua como recurso económico, escasez, valor y costo de oportunidad....	72
2.5.2	Tarifación del agua en infraestructuras estratégicas	73
2.5.3	Impacto económico de la escasez hídrica en el Canal de Panamá.....	74
2.5.4	Instrumentos económicos para la gestión eficiente del recurso hídrico.....	74
2.6	Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)	75
2.6.1	Principios y objetivos de la GIRH.....	75
2.6.2	Aplicación de GIRH en contextos de sequía	76
2.6.3	Herramientas tecnológicas para la gestión hídrica.....	77
2.7	Estrategias de Mitigación y Adaptación	78
2.7.1	Medidas estructurales: embalses, trasvases, plantas de tratamiento.....	78
2.7.2	Medidas no estructurales: políticas públicas, educación, monitoreo	79
2.7.3	Innovaciones tecnológicas aplicables al Canal de Panamá	80
2.8	Régimen de Precipitaciones y Comportamiento Fluvial en la Cuenca	82
2.8.1	Características climáticas de la región canalera	82
2.8.2	Cuencas hidrográficas que alimentan el Canal	83
2.8.3	Análisis de precipitaciones en los años críticos	84
2.8.4	Implicaciones hidrológicas para la operación del Canal.....	85
Capítulo 3: Marco metodológico.....		86
3.1	Tipo de investigación	87
3.2	Diseño de investigación.....	87
3.3	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	89
3.4	Análisis documental.....	91
3.5	Entrevista con expertos	95
3.6	Población y muestra	98
3.6.1	Análisis de los resultados de la encuesta	101
Capítulo 4: PLAN DE GESTIÓN.....		127

4.1	Objetivo principal	127
4.2	Fundamentación.....	128
4.3	Recomendaciones.....	129
4.4	Plan de acción.....	130
	Conclusiones	133
	Anexos.....	135
	Bibliografía.....	142

Índice de ilustraciones

Ilustración 1- Logo de la ACP	17
Ilustración 2-Organigrama ACP	19
Ilustración 3-Cambio anualmente de las temperaturas	33
Ilustración 4-Características del Océano Pacífico en ambas condiciones.....	39
Ilustración 5-Años de sequía	42
Ilustración 6-Manejo del agua dulce del Canal de Panamá.....	46
Ilustración 7-Nivel operativo de los lagos	57
Ilustración 9-Tipo de buques que pasan por el Canal	65

Índice de tablas y gráficas

Tabla 1- Cálculo de muestra	100
Gráfico 2- Sexo.....	102
Gráfico 3- Edad.....	104
Gráfico 4- Puesto en el Canal	105
Gráfico 5- Años trabajando	107
Gráfico 6- Impactos operativos	108
Gráfico 7- Operatividad sequia	109
Gráfico 8- Restricciones de calado	111
Gráfico 9- Restricciones número de tránsitos.....	112
Gráfico 10-Cuenta con gestión?.....	114
Gráfico 11- Plan estratégico	115
Gráfico 12- Ha sido efectivo el plan?	116
Gráfico 13- Preparación personal	117
Gráfico 14- Elementos para preparación.....	119
Gráfico 15-Técnicas o prácticas.....	121
Gráfico 16-Importancia de la estrategia	122
Gráfico 17-Nuevas medidas.....	124
Gráfico 18-De acuerdo en capacitarse	125
Gráfico 19-Recomendación del personal	126

Introducción

El Canal de Panamá no solo representa una de las infraestructuras más relevantes para el comercio internacional, también es una obra que depende por completo del agua dulce para su funcionamiento diario, a diferencia de otros canales artificiales, su sistema de esclusas utiliza enormes volúmenes de agua provenientes de cuencas naturales que, al verse afectadas por la variabilidad climática, comprometen directamente la operación y los ingresos que este genera, durante los últimos años, eventos como las sequías del 2015, 2020 y 2023-2024 han evidenciado con fuerza los límites del sistema, provocando restricciones operativas, disminución de tránsitos y fuertes impactos económicos, tanto a nivel nacional como internacional, esta realidad pone sobre la mesa la urgencia de analizar el agua como recurso económico, así como de repensar las estrategias de gestión, mitigación y adaptación necesarias para asegurar la viabilidad del canal en un escenario climático cada vez más incierto.

Entender la relación entre el agua, la economía y la operación del Canal implica abordar varios ejes, desde la valoración económica del recurso hídrico y la aplicación de tarifas estratégicas, hasta la implementación de medidas estructurales y tecnológicas para enfrentar su escasez, dentro de ese marco, la Gestión Integrada de Recursos Hídricos se plantea como una herramienta útil para coordinar esfuerzos entre sectores, planificar con enfoque de cuenca y mejorar la respuesta frente a eventos extremos, así, el trabajo desarrolla un análisis amplio sobre el comportamiento fluvial en la región canalera, examina los impactos económicos de

la escasez hídrica y propone un conjunto de acciones que pueden ayudar a proteger no solo el funcionamiento del Canal, sino también su capacidad para seguir siendo una fuente clave de ingresos y desarrollo para Panamá en las próximas décadas.

Capítulo 1: Fundamentación

1.1 Antecedentes y descripción del proyecto

Como panameños elegir tema de tesis para la maestría comercio y logística internacional “Las sequías y medidas de mitigación, para la protección de los ingresos del Canal de Panamá” no fue una decisión casual. Fue una elección

completamente conectada con nuestra identidad, realidad nacional y aspiraciones profesionales, en el ámbito del comercio y la logística internacional.

El Canal de Panamá no es solo un camino interoceánico; es un soporte estratégico de la economía de Panamá y un emblema de nuestra habilidad para conectar al mundo. No obstante, su funcionamiento no está libre de debilidades, y una de las más esenciales, aunque frecuentemente infravalorada es la dependencia del recurso de agua. En años recientes, hemos observado cómo los cambios climáticos, especialmente las sequías intensificadas por fenómenos como El Niño, han puesto en riesgo el funcionamiento del canal, pudiendo impactar, tanto en el tráfico marítimo como en las entradas del país.

Como profesionales jóvenes, observar cómo un elemento natural puede impactar de manera tan directa en las finanzas nacionales y en la estabilidad logística mundial generó en mí una combinación de inquietud y entusiasmo. Nos motivó a profundizar en cómo hemos manejado históricamente estas crisis, qué acciones se han implementado desde planes de gestión del agua hasta modificaciones en la planificación de tránsito y cómo dichas acciones.

Ubicado en la región centroamericana, vulnerable al clima, Panamá es un foco de cambio climático. Desde la década de 1970, las temperaturas promedio en Panamá han aumentado entre 1 °C y 3 °C, en promedio (Grupo Banco Mundial, 2021a). El último informe del IPCC afirma que el aumento de las temperaturas también ha incrementado la variabilidad climática y la intensidad de El Niño y La Niña en toda la región centroamericana (IPCC, 2021). Esto ha provocado fenómenos

meteorológicos de lluvia más extremos e impredecibles en Panamá, como ciclones tropicales e inundaciones, que amenazan la economía panameña, su infraestructura y diversos medios de vida. El cambio climático también ha provocado una disminución de las precipitaciones en los últimos años y períodos prolongados de sequía. Por ejemplo, a finales de 2015 y principios de 2016, debido a un fenómeno extremo de El Niño, Panamá experimentó el período más seco en 100 años (EFE Servicios, 2019). Estos períodos de sequía han aumentado notablemente en frecuencia e intensidad en las últimas décadas (EIU, 2020).

La sequía histórica de 2019 también fue resultado de una reducción del 20% en las precipitaciones en comparación con los promedios históricos y una disponibilidad de agua críticamente reducida para la población y el Canal.

La disminución de la precipitación promedio seguirá provocando cambios significativos en los cursos de agua y la disponibilidad de agua (IPCC, 2021).

El impacto del cambio climático también es claramente visible en las costas marinas de Panamá. Tanto las costas continentales de Panamá como las de sus islas se ven amenazadas por el aumento del nivel del mar, la erosión costera y el aumento de la salinidad en los estuarios. Además, las aguas de sus costas del Pacífico y el Atlántico están experimentando la acidificación de los océanos, el calentamiento de las aguas y enfrentando la contaminación, así como prácticas pesqueras destructivas, todo lo cual amenaza la rica biodiversidad y los ecosistemas únicos de la zona (Grupo Banco Mundial, 2021a). El cambio climático y otras preocupaciones ambientales representan una presión apremiante para la seguridad y la calidad del

agua en Panamá. Para afrontar este desafío, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible elaboró la Estrategia Nacional de Cambio Climático 2050, la hoja de ruta del país para la transición hacia una economía baja en carbono, garantizando al mismo tiempo el desarrollo social y mejorando las estrategias de adaptación y mitigación. (Ministerio de asuntos exteriores de Países Bajos, 2022)

Desde 1899, con la instalación de estaciones como la del río Chagres en Alhajuela, se han registrado datos fluviales en Panamá. El Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá (IMHPA) actualmente opera una red de 288 estaciones, de las cuales 78 son hidrológicas, y 10 híbridas que registran simultáneamente precipitaciones y niveles fluviales con telemetría automática en intervalos de hasta 15 minutos. (Quinchía, 2024)

En la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá, la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) documenta valores de precipitación desde principios del siglo XX. El promedio histórico anual en esta cuenca se sitúa en aproximadamente 2 659 mm, con márgenes entre 1 500 mm en la vertiente Pacífico y más de 3 300 mm en la vertiente Atlántico.

En el año fiscal 2019 (1 octubre 2018 – 30 septiembre 2019), la precipitación total registrada fue de 2 035 mm, es decir, un déficit de –24 % respecto al promedio histórico, convirtiéndose en uno de los cinco años más secos en 70 años. (Adex Perú, 2024)

Antecedentes de la empresa

El Canal de Panamá es una de las construcciones de ingeniería más relevantes del siglo XX y un punto clave en el comercio marítimo global. Su origen se inicia desde el siglo XIX, momento en el que comenzaron los primeros esfuerzos por crear un paso interoceánico. En 1881, Francia, bajo la dirección de Ferdinand de Lesseps, comenzó la edificación del canal. Sin embargo, el proyecto no prosperó debido a factores técnicos, financieros y de salud pública. Luego, en 1904, los Estados Unidos recuperaron la obra, luego de negociar el Tratado Hay–Bunau Varilla con Panamá, justo después de su separación de Colombia. La edificación se concluyó en 1914, y a partir de ese momento, el canal posibilitó disminuir considerablemente las rutas marítimas entre el océano Atlántico y el Pacífico.

A lo largo de casi cien años, el Canal fue gestionado por Estados Unidos, hasta que el 31 de diciembre de 1999, en virtud de los Tratados Torrijos-Carter suscritos en 1977, fue oficialmente transferido a Panamá. Desde aquel momento, la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) se ha ocupado de su funcionamiento y gestión. En 2016, se puso en marcha la expansión del Canal, denominada Canal Neopanamax, que facilita el tránsito de embarcaciones de gran tamaño, fortaleciendo a Panamá como un núcleo logístico de referencia mundial. No obstante, en años recientes, retos como el cambio climático y las sequías han puesto de manifiesto la fragilidad del Canal ante la escasez de agua, un recurso vital para su operación.

Ilustración 1: Logo de la Autoridad del Canal de Panamá.



Ilustración 1- Logo de la ACP

Fuente: Autoridad del Canal de Panamá

1.1.1 Misión

Contribuir de forma sostenible a la prosperidad de Panamá, a través de nuestro valioso equipo humano, conectando la producción con los mercados globales para aportar valor a nuestros clientes.

1.1.2 Visión

Líder en conectividad global e impulsor del progreso de Panamá

1.1.3 Valores

- Honestidad
- Lealtad
- Transparencia
- Responsabilidad
- Competitividad
- Confiabilidad

1.1.4 Conductas

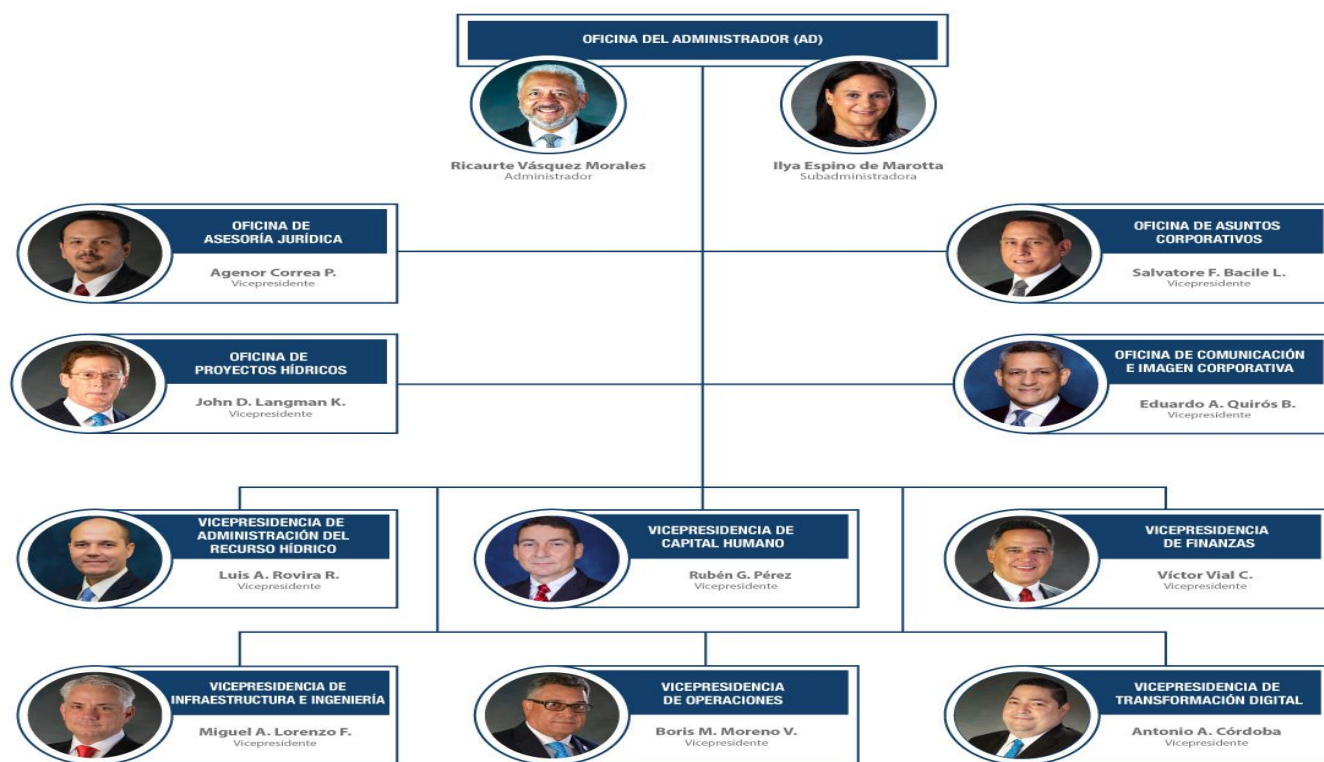
1. El servicio público exige lealtad a la Constitución, a las leyes y a los reglamentos de la Autoridad, por encima del beneficio personal.

2. No se deberán poseer intereses financieros que estén en conflicto con el desempeño de las funciones del cargo.
3. No se deberá participar en transacciones u operaciones financieras utilizando información de la Autoridad que no es pública, ni permitir el uso impropio de esa información para beneficio de intereses particulares.
4. No se solicitará y aceptará regalo ni artículo de valor monetario, proveniente de persona o entidad que pretenda una actuación oficial para hacer negocios con la Autoridad, o para realizar actividades reguladas por ésta; o cuyos intereses puedan ser afectados sustancialmente por el desempeño o no de los deberes del empleado.
5. Los deberes del cargo se realizarán honestamente.
6. No se harán compromisos ni promesas, sin autorización legal, para dar a entender que se compromete a la Autoridad.
7. No se utilizará el cargo público para ganancia o provecho propio.
8. En el ejercicio del cargo se actuará imparcialmente y no se dará tratamiento preferencial a ninguna persona, natural o jurídica.
9. Se protegerá y conservará la propiedad de la Autoridad y sólo se utilizará para actividades legalmente autorizadas.
10. No se buscarán ni llevarán a cabo trabajos o actividades fuera del empleo que estén en conflicto con los deberes y responsabilidades del cargo e intereses de la Autoridad.
11. Se deberá denunciar cualquier despilfarro, fraude, abuso o acto corrupto.

12. Se deberán cumplir de buena fe las obligaciones legales, incluyendo las financieras, de manera que se dé una imagen que no afecte desfavorablemente a la Autoridad.

13. Se deberá evitar cualquier acción que aparente ser contraria a la ley o las normas éticas. (Autoridad del Canal de Panamá, 2004)

1.1.5 Organigrama



El recurso humano de la Autoridad del Canal de Panamá está distribuido como se muestra en la ilustración 2.

Fuente: Autoridad del Canal de Panamá.

Ilustración 2-Organigrama ACP

1.1.5 Descripción del proyecto

El trabajo de graduación tiene como objetivo investigar las sequías ocurridas en los años 2015, 2019 y 2023–2024, y analizar las medidas de mitigación implementadas para proteger la economía de Panamá, mediante la salvaguarda de los ingresos generados, por el Canal de Panamá. A través, del análisis de fuentes oficiales, informes económicos y documentación técnica, se evaluará cómo las estrategias adoptadas permitieron mitigar el impacto de la escasez hídrica en la operación del Canal y su repercusión en la economía nacional.

1.2 Planteamiento del problema.

1.2.1 Enunciado del problema

El Canal de Panamá, inaugurado en 1914 es un eje crítico para el comercio marítimo mundial, pues reduce significativamente las rutas entre los océanos Atlántico y Pacífico. Su funcionamiento depende de volúmenes sustanciales de agua dulce, principalmente de los lagos Gatún y Alajuela, para accionar sus esclusas. Cualquier déficit hídrico repercute directamente en su operatividad y capacidad de tránsito de buques. (Hajarath & Reddy Vummadi, 2025)

En los últimos años, Panamá ha enfrentado una intensificación en la frecuencia e intensidad de las sequías producto, tanto de la variabilidad climática natural como el fenómeno de El Niño, como del cambio climático global, que ha provocado un incremento sostenido de las temperaturas y una alteración en los patrones de lluvia. Las sequías registradas en los periodos 2015–2016, 2019 y 2023–2024 han representado un desafío sin precedentes para la Autoridad del Canal de Panamá (ACP). Según la ACP, en 2023 el país experimentó su peor sequía en más de un

siglo de registros, con precipitaciones entre 30 % y 50 % por debajo del promedio histórico y temperaturas que alcanzaron niveles récord. (Tandon, 2024)

Durante la última década, tres importantes episodios de sequía en 2015, 2019 y 2023/2024 han sido particularmente significativos:

1. **2015:** El fenómeno de El Niño causó una reducción en el nivel de los lagos, forzando reducciones en el calado máximo (de 12 m a 11.89 m) y limitando el acceso de grandes buques Neopanamax. Las medidas se impusieron debido a que los niveles de agua en los lagos que alimentan el canal han descendido debido a la sequía causada por el fenómeno de El Niño. El administrador del canal en aquel entonces Jorge Quijano, afirmó que junio y la primera quincena de julio fueron los más secos en 102 años. (Deutsche Welle, 2015)
2. **2019:** Durante este año, la región experimentó una sequía significativa causada por variaciones climáticas naturales, que redujo considerablemente la disponibilidad hídrica en la cuenca del Canal de Panamá. Esta disminución afectó directamente la operación del Canal, limitando el calado permitido para los buques y reduciendo el número de tránsitos diarios, lo que generó impactos económicos importantes. Aunque la pandemia de COVID-19 cobró mayor atención global en 2020, el fenómeno climático adverso de 2019 destacó la vulnerabilidad del Canal ante eventos hidrológicos extremos y la necesidad urgente de implementar medidas de mitigación para proteger sus ingresos y garantizar su operatividad.

3. **2023–2024:** El episodio más intenso, con precipitaciones hasta un 50 % por debajo del promedio entre mayo y diciembre, generando niveles críticos en Gatún y Alajuela . Las restricciones obligaron la reducción de tránsitos de 36–38 a 22–24 barcos por día, provocando demoras, congestión, desvíos internacionales y pérdidas estimadas entre 500 y 700 millones de USD.

La interrupción de la principal ruta comercial entre Asia y Estados Unidos se produjo en un momento precario. Los ataques a buques comerciales en el Mar Rojo por parte de los rebeldes hutíes de Yemen desviaron las embarcaciones del corredor crucial para el suministro de bienes de consumo y energía.

La combinación está teniendo efectos de gran alcance en el comercio mundial al retrasar los envíos y aumentar los costos de transporte. Algunas compañías habían planeado desviar sus rutas hacia el Mar Rojo, una ruta clave entre Asia y Europa, para evitar retrasos en el Canal de Panamá, según los analistas. (THE ASSOCIATED PRESS, 2024)

Estas recurrentes sequías evidencian una vulnerabilidad estructural del Canal frente a condiciones hidrológicas extremas. No basta con medidas operativas como restricciones; se requieren soluciones integrales y sostenibles.

En este contexto, nuestra investigación abordará de forma detallada los tres periodos secos 2015, 2019 y 2023/2024 analizando su impacto operacional, económico y social. Además, evaluará las medidas aplicadas por la ACP ya que hasta ahora no se ha llevado a cabo un estudio comparativo completo que posibilite valorar la eficacia de estas estrategias en cuanto a su habilidad para mitigar el

posible impacto económico de las sequías. y propondrá soluciones que fortalezcan la resiliencia hídrica del Canal, sin comprometer el desarrollo sostenible y los derechos de las comunidades afectadas

1.2.2 Formulación del problema

¿Cómo afectan las sequías recurrentes a la operatividad y rentabilidad del Canal de Panamá, y qué soluciones pueden implementarse para mitigar sus impactos?

Hipótesis 1 (H1):

Las sequías prolongadas en Panamá tienen un impacto negativo directo en la capacidad operativa del Canal de Panamá, reduciendo el tránsito de buques y generando pérdidas económicas.

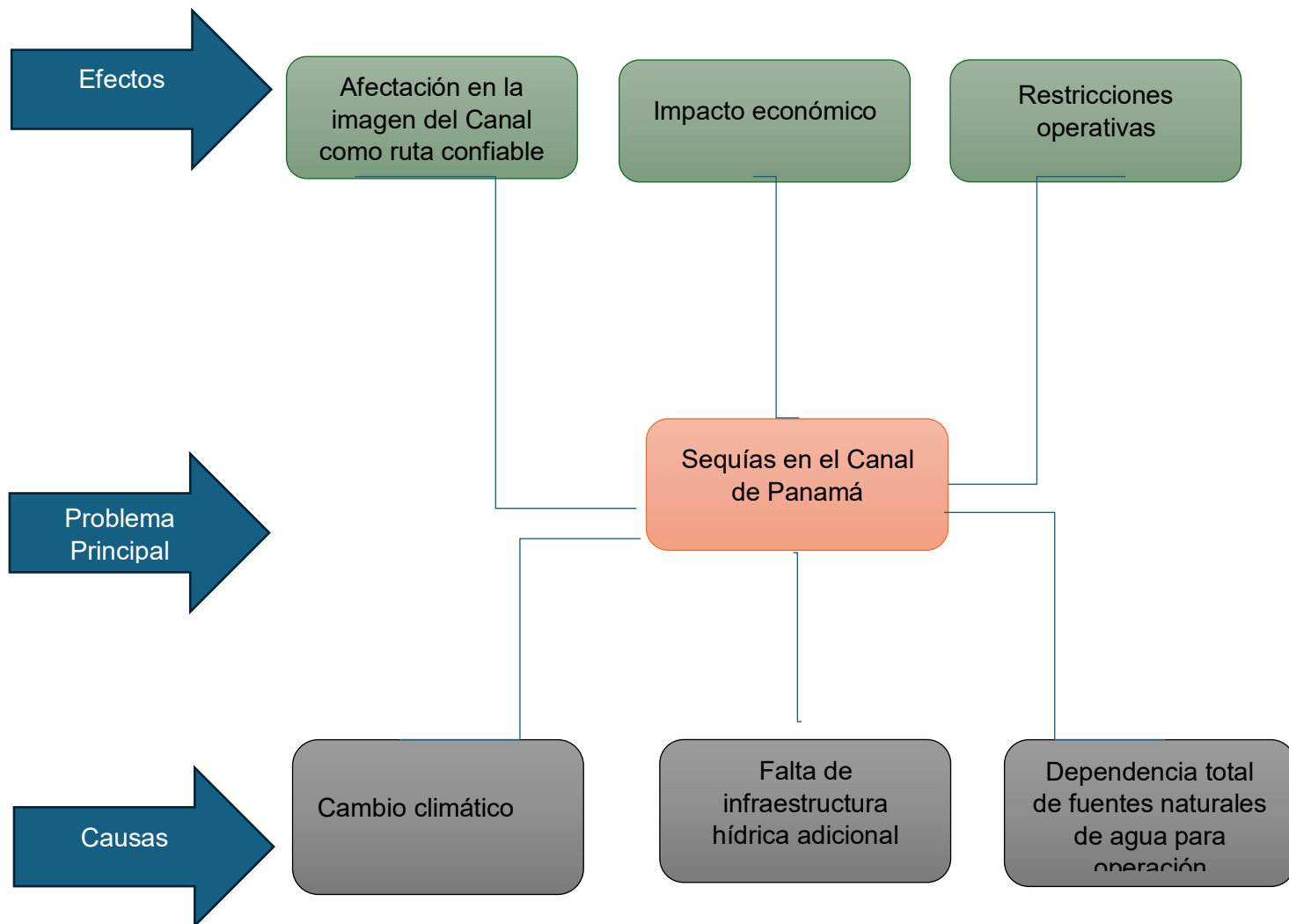
Hipótesis 2 (H2):

La falta de infraestructuras hídricas complementarias agrava los efectos de la sequía en la gestión del agua utilizada para el funcionamiento del Canal.

Hipótesis3 (H3):

La implementación de estrategias de gestión integrada de recursos hídricos mejora significativamente la resiliencia del Canal ante eventos de sequía y contribuye a mantener su rentabilidad.

1.2.3 Árbol del problema



1.3 Justificación del proyecto

Las sequías representan un desafío significativo para el Canal de Panamá, ya que afectan la disponibilidad de agua en el Lago Gatún, esencial para el funcionamiento de las esclusas. La reducción en los niveles de agua limita la cantidad de barcos que pueden transitar, lo que impacta directamente los ingresos del canal.

Nuestra investigación contribuirá al análisis de patrones climáticos y la estimación de futuras sequías, permitiendo una planificación más eficiente. Ya con esto en mente podremos estudiar mejores estrategias de ahorro y gestión del recurso hídrico y se podrán mejorar los métodos de conservación.

Por otra parte, una evaluación del impacto financiero permitirá el diseño de políticas más sólidas para proteger los ingresos del canal, sin comprometer el comercio internacional.

Además, aportará conocimiento sobre el equilibrio entre la operación del canal y la conservación de ecosistemas cercanos, promoviendo un desarrollo más sostenible.

El Canal de Panamá enfrenta un desafío significativo debido a las sequías, que han reducido los niveles de agua en el Lago Gatún, esencial para el funcionamiento de las esclusas. Este problema se ha intensificado en los últimos años debido al cambio climático y al fenómeno de El Niño, que han provocado una disminución en las precipitaciones. La reducción del nivel de agua ha obligado a limitar el número de barcos que pueden cruzar el canal, afectando el comercio global, esto aumenta los costos operativos ya que empiezan a haber más restricciones generando costos también para las navieras, lo que impacta la competitividad del canal.

Dado que el cambio climático ha intensificado la frecuencia y severidad de las sequías, es imperativo desarrollar estrategias efectivas de mitigación. Esta investigación busca analizar los efectos de las sequías en el canal y proponer soluciones sostenibles que garanticen su operatividad a largo plazo.

La investigación no solo aportará conocimiento técnico sobre la gestión hídrica del canal, sino que también servirá como base para el diseño de políticas públicas que optimicen el uso del recurso y aseguren la estabilidad económica del país. Con esta investigación, se espera contribuir al debate sobre la sostenibilidad del canal y fortalecer las estrategias de adaptación ante el cambio climático.

1.3.1 Relevancia del tema

El Canal de Panamá es una de las estructuras comerciales más clave a nivel mundial, uniendo los océanos Atlántico y Pacífico y favoreciendo el desplazamiento de miles de embarcaciones anualmente. No obstante, su funcionamiento se basa en la disponibilidad de agua, lo que lo expone a eventos climáticos severos como las sequías.

El cambio climático ha intensificado, tanto la frecuencia como la severidad de las sequías en Panamá, impactando los niveles de agua en los embalses que sustentan el río. La reducción del agua disponible puede provocar limitaciones en la navegación y perjudicar los ingresos económicos de la nación, transformando este asunto en un asunto de seguridad hídrica y financiera (Cota, 2024)

Esta investigación es significativa, ya que favorece la creación de estrategias para atenuar los impactos de las sequías en el canal, garantizando su operación eficaz y su efecto beneficioso en la economía del país. Además, proporciona un estudio acerca de la administración sustentable del agua y su vínculo con la resistencia al clima, lo cual puede funcionar como punto de partida para investigaciones futuras y políticas gubernamentales.

1.3.2 Viabilidad, factibilidad y pertinencia.

Esta investigación es factible, puesto que disponemos de acceso a fuentes de datos fiables, tales como investigaciones hidrológicas, datos climáticos históricos y publicaciones científicas relacionadas con el Canal de Panamá y la administración del agua. Adicionalmente, el análisis puede llevarse a cabo mediante técnicas documentales y entrevistas a especialistas en el campo.

La viabilidad de la investigación radica en la existencia de instrumentos metodológicos apropiados para valorar el efecto de las sequías en el canal y sugerir tácticas de mitigación. Hay modelos de pronóstico del clima, simulaciones de administración del agua e historiales de políticas aplicadas en otras naciones, lo que simplifica la ejecución del estudio sin requerir inversiones significativas o experimentos complicados.

En última instancia, la investigación es apropiada, dado que aborda un problema presente que impacta el comercio global y la economía del país. La disminución de los niveles de agua en el canal repercute directamente en los ingresos del país, siendo esencial el desarrollo de estrategias de mitigación para asegurar su funcionamiento. Además, la investigación ayuda en la elaboración de políticas públicas enfocadas en la sostenibilidad del recurso acuático, lo que potencia la resistencia climática de Panamá.

1.4 Objetivos:

1.4.1 Objetivo general

Evaluar de manera comparativa la efectividad de las estrategias y medidas de mitigación adoptadas por la Autoridad del Canal de Panamá durante las sequías de

2015, 2019 y 2023–2024, con el fin de determinar su impacto en la estabilidad y protección de los ingresos operativos del Canal.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la relación entre la variabilidad climática (El Niño, cambio climático, etc.) y la frecuencia o severidad de las sequías que afectan la operación del canal.
- Analizar el impacto económico que las sequías han tenido en los ingresos del Canal de Panamá en los últimos años.
- Revisar y clasificar las medidas de mitigación existentes, tanto locales como internacionales, que han sido eficaces frente a eventos similares en infraestructuras hídricas estratégicas.
- Proponer estrategias de mitigación sostenibles (tecnológicas, de gestión hídrica y políticas) que contribuyan a garantizar el funcionamiento óptimo del canal durante eventos de sequía prolongada.

1.5 Alcance, proyección y límite del proyecto

Esta investigación analiza el impacto de las sequías en el Canal de Panamá y las estrategias de mitigación necesarias para garantizar su operatividad y protección de ingresos. Se enfocará en el período comprendido entre 2015, 2019 y 2023–2024, utilizando datos históricos sobre precipitaciones, niveles hídricos y afectaciones económicas. Además, se revisarán políticas de gestión hídrica aplicadas en otras regiones con problemas similares para identificar soluciones adaptables a Panamá.

Los resultados de esta investigación pueden contribuir al diseño de estrategias de sostenibilidad hídrica aplicables al canal en un contexto de cambio climático.

Asimismo, pueden servir como referencia para la toma de decisiones gubernamentales y la planificación de políticas públicas enfocadas en la resiliencia climática y la seguridad hídrica del país. A largo plazo, los hallazgos podrían extenderse a otros sectores dependientes del agua, como el abastecimiento urbano y la producción energética.

Este estudio se centrará exclusivamente en la afectación de las sequías sobre el Canal de Panamá, sin profundizar en otros efectos climáticos como tormentas o variaciones de temperatura. Asimismo, la investigación se basará en datos secundarios y modelos de predicción hidrológica, por lo que no incluirá mediciones directas en campo ni experimentos sobre infraestructura hídrica.

1.6 Impacto, beneficios y/o resultados esperados

Las sequías han representado una creciente amenaza para la operatividad del Canal de Panamá, afectando su capacidad de tránsito y, en consecuencia, los ingresos económicos del país. Esta investigación contribuirá a la identificación de estrategias de mitigación que permitan garantizar la disponibilidad de agua en el canal, minimizando los efectos negativos de la variabilidad climática. Además, los hallazgos podrán servir como referencia para otras regiones con infraestructuras dependientes del recurso hídrico.

Los principales beneficios de la investigación incluyen la generación de conocimiento sobre la relación entre sequías y la gestión hídrica del canal, así como la propuesta de soluciones sostenibles para la conservación del agua. Adicionalmente, los resultados podrán apoyar la formulación de políticas públicas y

estrategias gubernamentales orientadas a la adaptación climática, fortaleciendo la resiliencia hídrica de Panamá y asegurando la estabilidad económica del país.

Resultados esperados

- Evaluar el impacto de las sequías en la operatividad y rentabilidad del Canal de Panamá.
- Identificar estrategias efectivas de mitigación aplicadas en otras regiones con problemas similares.
- Proponer soluciones adaptadas a las condiciones ambientales y económicas de Panamá.
- Servir como base para futuras investigaciones sobre la sostenibilidad hídrica y la gestión del cambio climático en infraestructuras estratégicas.

Capítulo 2: Marco teórico

2.1 Cambio Climático y Variabilidad Climática

2.1.1 Definición y causas del cambio climático

El cambio climático es un fenómeno global que se refiere a alteraciones a largo plazo en las condiciones climáticas de la Tierra, incluyendo variaciones en la temperatura, precipitaciones, patrones atmosféricos y fenómenos meteorológicos extremos. Según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), se trata de “una modificación en el estado del clima que puede identificarse mediante pruebas estadísticas por cambios en la media o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante décadas o más” (IPCC, s.f.)

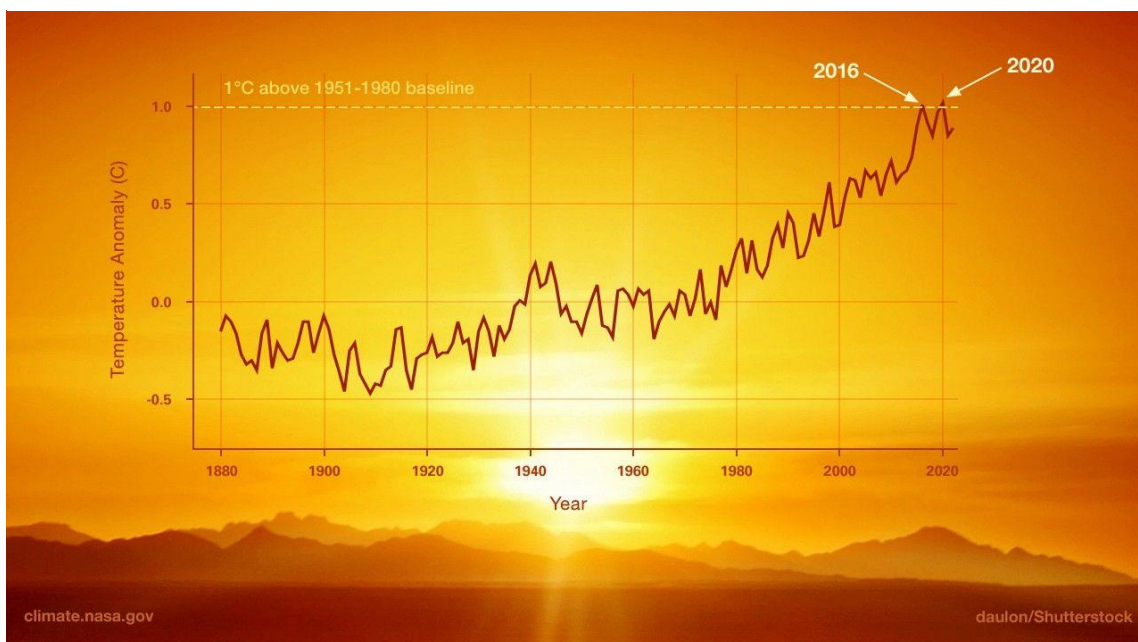
Aunque la Tierra ha experimentado cambios climáticos a lo largo de millones de años, como eras glaciales y periodos interglaciares, el fenómeno actual ha llamado la atención científica por su ritmo acelerado y su clara vinculación con la actividad humana. Desde mediados del siglo XIX, el proceso industrial ha impulsado la quema masiva de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), lo que ha incrementado la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, especialmente dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Esta acumulación intensifica el efecto invernadero natural, atrapando calor que normalmente escaparía hacia el espacio, y provocando un aumento sostenido en la temperatura global promedio. (EPA, 2021)

La NASA explica que el cambio climático no solo implica “calentamiento global”, sino también alteraciones en el régimen de lluvias, cambios en los ecosistemas, derretimiento de glaciares y aumento del nivel del mar. La organización destaca que, si bien los cambios climáticos naturales han existido siempre, “las actividades

humanas han sido el principal impulsor del cambio climático observado desde el siglo XIX. También explica que El calentamiento global es el calentamiento a largo plazo de la superficie terrestre observado desde la era preindustrial (entre 1850 y 1900) debido a las actividades humanas, principalmente la quema de combustibles fósiles, que aumenta los niveles de gases de efecto invernadero que retienen el calor en la atmósfera terrestre. Este término no es intercambiable con el de «cambio climático».

Desde la era preindustrial, se estima que las actividades humanas han incrementado la temperatura media global de la Tierra en aproximadamente 1 grado Celsius (1,8 grados Fahrenheit), cifra que actualmente aumenta a un ritmo de más de 0,2 grados Celsius (0,36 grados Fahrenheit) por década. La actual tendencia al calentamiento es, sin duda, resultado de la actividad humana desde la década de

Ilustración 3-Cambio anualmente de las temperaturas



1950 y se mantiene a un ritmo sin precedentes durante milenios. (Cermak, Alicia, 2022).

Fuente: <https://science.nasa.gov/climate-change/what-is-climate-change/>

El impacto de este fenómeno es amplio y transversal. A nivel ambiental, se evidencian la pérdida de biodiversidad, la acidificación de los océanos y el retroceso de los casquetes polares. En el plano económico y social, se observan mayores riesgos para la agricultura, inseguridad alimentaria, migraciones climáticas, daños a infraestructuras y afectaciones directas a la salud humana. Por ejemplo, el aumento de temperaturas intensifica las olas de calor, modifica la distribución de enfermedades infecciosas, y compromete los recursos hídricos, como ha ocurrido en el caso del Canal de Panamá, cuyo funcionamiento depende directamente de la disponibilidad de agua dulce y se ha visto afectado por sequías prolongadas agravadas por estas alteraciones climáticas

Desde el punto de vista legal y político, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) define el cambio climático como “un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables” (Naciones Unidas, 1992)

Actualmente, existe un amplio consenso científico sobre la existencia del cambio climático y su origen principalmente humano. Más del 97 % de los científicos climáticos coinciden en que el calentamiento global observado en el último siglo es

consecuencia de las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero) por actividades humanas El IPCC, en sus informes más recientes, afirma que es "inequívoco" que la influencia humana ha calentado la atmósfera, el océano y la tierra. (Evans, 2021)

En conclusión, el cambio climático es una transformación compleja, profunda y prolongada de los sistemas climáticos de la Tierra. Aunque en parte responde a causas naturales, su manifestación actual está directamente vinculada a las actividades humanas modernas, y sus impactos, ya se hacen evidentes en fenómenos extremos, estrés hídrico, pérdida de biodiversidad y alteraciones económicas globales. Comprender su definición y origen es el primer paso para desarrollar medidas de adaptación y mitigación eficaces, especialmente en regiones estratégicas como Panamá, donde el cambio climático representa no solo una amenaza ambiental, sino también una preocupación geopolítica y económica de primer orden.

2.1.2 El fenómeno de El Niño y su impacto en Centroamérica

El Niño es un fenómeno climático que consiste en un incremento anómalo de la temperatura superficial del océano Pacífico en su región ecuatorial oriental. Este calentamiento ocurre de manera irregular y está relacionado con una alteración en la dirección y fuerza de los vientos alisios, que normalmente soplan de este a oeste. Cuando estos vientos se debilitan, las aguas cálidas acumuladas en el Pacífico occidental se desplazan hacia el este, impidiendo el ascenso de aguas frías profundas ricas en nutrientes, fenómeno conocido como surgencia o afloramiento.

Como consecuencia, las temperaturas superficiales del mar aumentan significativamente en la costa de países como Perú y Ecuador.

Históricamente, pescadores peruanos fueron los primeros en observar la aparición de estas aguas inusualmente cálidas, especialmente alrededor de la época navideña, motivo por el cual lo denominaron "El Niño", en referencia al Niño Jesús. Aunque originalmente hacía alusión al calentamiento costero, el término fue adoptado posteriormente para describir alteraciones climáticas de mayor escala. Actualmente, se identifica a El Niño como una perturbación climática capaz de modificar, tanto las condiciones oceánicas como atmosféricas a nivel global.

Durante un episodio de El Niño, los cambios en la presión atmosférica y en la dirección del viento provocan un desplazamiento masivo de aguas cálidas hacia el este, profundizando la termoclina —la capa que separa las aguas cálidas de la superficie de las aguas frías profundas— y limitando el afloramiento en la zona costera del Pacífico oriental. Esta situación tiene efectos perjudiciales sobre el ecosistema marino, ya que reduce la disponibilidad de nutrientes esenciales para la cadena alimenticia marina, lo que causa la migración o muerte de diversas especies, y afecta gravemente la pesca artesanal e industrial.

Además de los efectos sobre el mar, El Niño genera modificaciones en los patrones de precipitación. Por ejemplo, en regiones como Ecuador y el norte de Perú se producen intensas lluvias e inundaciones, mientras que, en zonas del Pacífico occidental, como Indonesia y Australia, suelen presentarse sequías severas. Estas alteraciones provocan impactos sociales, económicos y ambientales considerables,

tales como destrucción de infraestructura, pérdidas agrícolas, desabastecimiento hídrico y desplazamientos poblacionales.

Los fenómenos de El Niño pueden tener intensidades variables. En eventos moderados, los cambios térmicos y climáticos tienden a ser locales o regionales; sin embargo, en episodios intensos, como los ocurridos en 1982-83 y 1997-98, los aumentos de temperatura del mar pueden superar los 7 °C, afectando patrones climáticos en diversas partes del mundo. Durante estos eventos históricos se registraron inundaciones en América del Sur, sequías en el sudeste asiático, alteraciones de los monzones en la India, y tormentas inusuales en América del Norte. Estos episodios también fueron responsables del colapso de pesquerías, incendios forestales y brotes epidémicos asociados a condiciones extremas como la humedad o la sequía prolongada.

Por su parte, el evento de El Niño de 1997-98 fue el primero que pudo ser monitoreado con instrumentos científicos desde su inicio hasta su culminación. Sus efectos incluyeron sequías en países del sudeste asiático como Indonesia, Filipinas y Malasia, mientras que en Perú las precipitaciones fueron tan intensas que causaron severas inundaciones. En Estados Unidos, el invierno fue particularmente húmedo en California, mientras que el Medio Oeste experimentó un aumento inusitado de las temperaturas, al punto de que dicho periodo fue conocido como “el año sin invierno”.

Además, los impactos de El Niño trascienden la región del Pacífico. En la India y el sudeste asiático, por ejemplo, los eventos intensos del fenómeno tienden a debilitar los monzones, esenciales para la agricultura y la seguridad alimentaria en esas

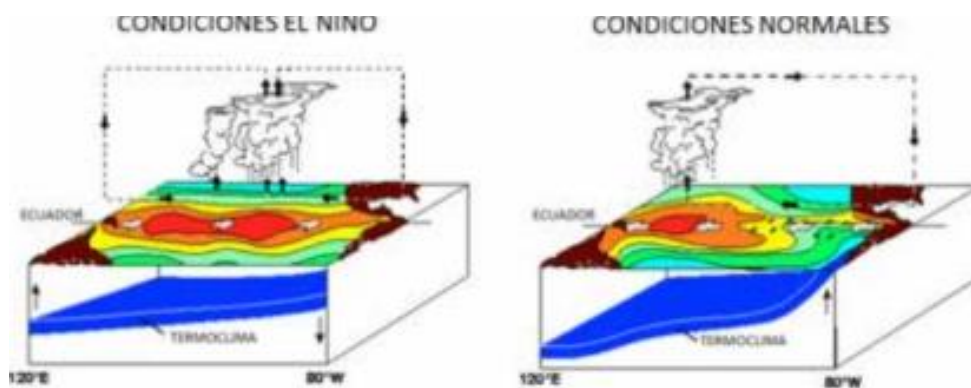
zonas. Igualmente, en el África subsahariana, los años marcados por El Niño han coincidido con una intensificación de las lluvias durante la estación húmeda, lo que también ha generado impactos socioeconómicos significativos.

Por último, las consecuencias de los fenómenos de El Niño se extienden también al ámbito de la salud pública. Las inundaciones y sequías que genera este fenómeno climático pueden propiciar condiciones propicias para la proliferación de enfermedades. Las aguas estancadas provocadas por las lluvias e inundaciones pueden contribuir a la propagación de enfermedades como el cólera, el dengue y la malaria, mientras que las sequías prolongadas pueden aumentar el riesgo de incendios forestales y, con ellos, la prevalencia de afecciones respiratorias. (Evers, 2025)

Según el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), El Niño genera una disminución de lluvias y un aumento sostenido de las temperaturas en gran parte de Centroamérica, lo que conlleva consecuencias devastadoras en el sector agrícola, hídrico y social. Por ejemplo, durante el episodio 2015–2016, más de 3.5 millones de personas resultaron afectadas por la pérdida de cosechas y la inseguridad alimentaria, principalmente en zonas rurales dependientes de la agricultura de subsistencia.

Asimismo, el fenómeno genera un retraso y acortamiento de las temporadas lluviosas, así como olas de calor que afectan directamente los ciclos de cultivos como el maíz, el frijol, el arroz y el café, provocando pérdidas de hasta el 60 % en cosechas de subsistencia.

Ilustración 4- Características del Océano Pacífico en ambas condiciones



(Jiménez, Otero, Salazar, Witkouski, & Chavarría, 2015)

En Panamá y la región centroamericana, el impacto hidrológico también es considerable. Según un estudio publicado en Scientific Reports, El Niño está asociado a una disminución del caudal de los ríos, reducción de la humedad del suelo y cambios significativos en los patrones de sedimentación. En la cuenca del Canal de Panamá, estos cambios afectan directamente la capacidad de almacenamiento de agua en los lagos artificiales (Gatún y Alhajuela), lo cual puede comprometer la operatividad del Canal durante años de eventos intensos de El Niño. (Devin, Goldsmith, Harmon, Espinosa, & Harmon, 2020).

En el ámbito ecológico y agrícola, El Niño también altera la distribución de especies y plagas. Un artículo de la revista científica Insects (MDPI) documenta cómo los cambios en temperatura y precipitación derivados del ENSO afectan la presencia de especies del género *Anastrepha*, importantes plagas en la agricultura de Panamá y otras zonas de Centroamérica. Durante los eventos de El Niño, estas especies tienden a expandirse en nuevas áreas debido al estrés hídrico y los cambios en el

microclima, lo que agrava aún más los desafíos agroecológicos de la región (Degracia, Jiménez, Alvarado, Valdespino, & Altamiranda-Saavedra, 2023)

Desde el punto de vista climático, diversos estudios han identificado una relación estadísticamente significativa entre los eventos de El Niño y la reducción de precipitaciones en el istmo centroamericano. Investigaciones publicadas en la revista *Climate Dynamics* explican que existe una fuerte covariabilidad entre los eventos ENSO y los patrones de precipitación de invierno en México y Centroamérica. Esta relación se intensifica especialmente cuando El Niño ocurre entre los meses de julio y septiembre, provocando sequías más intensas en las zonas de mayor vulnerabilidad (Zeng, Mariotti, Hui Wang, Sánchez, & Jha, 2017)

2.1.3 Tendencias climáticas recientes en Panamá

En las últimas décadas, Panamá ha comenzado a experimentar cambios significativos en su clima, reflejo directo de las alteraciones globales provocadas por el cambio climático. Según el *Climate Knowledge Portal* del Banco Mundial, el país presenta un aumento sostenido en la temperatura media anual, que actualmente ronda los 27 °C, acompañado de precipitaciones promedio que alcanzan entre 1 900 y 2 900 mm anuales, dependiendo de la región. No obstante, lo que anteriormente se percibía como un clima relativamente estable, ha mostrado en años recientes una tendencia hacia mayor inestabilidad, especialmente en las variables de temperatura, precipitación y duración de las estaciones (World Bank, 2023)

Un aspecto notable de estas tendencias climáticas es el incremento en las temperaturas mínimas y máximas. De acuerdo con Latin American Post, el Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá (IMHPA) ha documentado un aumento

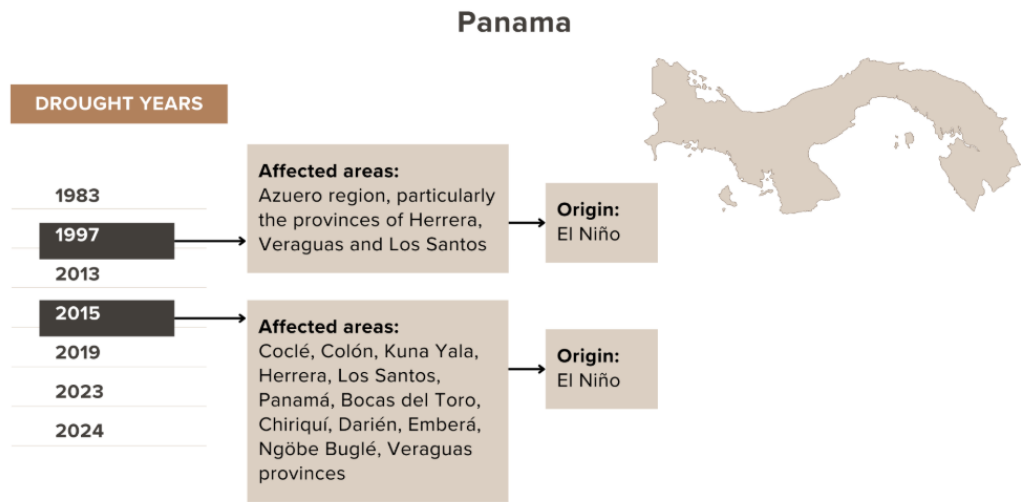
sostenido de la temperatura nocturna, lo cual incide directamente en el bienestar térmico de la población y en el consumo energético por la necesidad de sistemas de enfriamiento. Estos aumentos no son aislados: los modelos climáticos utilizados por el Ministerio de Ambiente de Panamá (MiAmbiente), específicamente bajo el escenario RCP8.5, proyectan un incremento de entre 1.5 y 2.5 °C hacia finales de siglo, con los mayores aumentos concentrados en la región del Caribe Oriental y el centro del país. Además, durante eventos extremos recientes, como en julio de 2023, se registraron temperaturas de hasta 42 °C en provincias como Chiriquí, Coclé y Panamá Oeste, lo que generó alertas por calor extremo y aumentó el riesgo de enfermedades relacionadas con la exposición al calor (Latin American Post, 2024)

La variabilidad en las precipitaciones también se ha acentuado. Si bien el total anual de lluvia no ha disminuido drásticamente, su distribución temporal se ha tornado más errática, con lluvias intensas en cortos períodos y prolongaciones de la estación seca, especialmente en zonas como el Arco Seco y la Península de Azuero. La Tercera Comunicación Nacional de Panamá sobre Cambio Climático reportó una disminución de entre 2.8 % y hasta 4.3 % en algunas proyecciones de precipitación para el año 2050 (Ministerio de Ambiente(MIAMBIENTE), 2018)

Esto se ha visto reflejado con mayor claridad en años recientes: en octubre de 2023, por ejemplo, se registró un déficit del 43 % en las lluvias dentro de la cuenca del Canal, afectando la capacidad de los lagos Gatún y Alhajuela para sostener operaciones normales, y obligando a la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) a reducir el calado de tránsito y limitar el número de barcos diarios (Anderson, 2025)

En términos hidrológicos, la reducción de precipitaciones y la mayor frecuencia de sequías prolongadas han puesto en evidencia una creciente vulnerabilidad del sistema hídrico panameño. Esta situación afecta no solo al Canal, sino también a las cuencas hidrográficas que abastecen a poblaciones rurales y urbanas, reduciendo el caudal de ríos, disminuyendo los niveles de los acuíferos y aumentando la competencia por el uso del agua. Según el portal climático de la FAO, Panamá ha experimentado en los últimos años un aumento en el número e intensidad de sequías, fenómeno atribuido no solo a las tendencias climáticas, sino también al fenómeno de El Niño, que exagera la aridez durante la temporada seca (FAO, 2023)

Ilustración 5-Años de sequía



(FAO, 2023)

Además, la incidencia de fenómenos extremos como lluvias torrenciales, tormentas localizadas, deslizamientos e inundaciones ha aumentado. A pesar de que Panamá no se encuentra en la trayectoria directa de huracanes, los efectos indirectos de estos sistemas tropicales han generado impactos significativos. Tal como lo documenta El Faro del Canal, el incremento en la frecuencia de lluvias intensas en cortos períodos de tiempo ha saturado suelos, colapsado drenajes urbanos y generado interrupciones en servicios básicos (Cárdenas, 2024)

2.2 Hidrología del Canal de Panamá

2.2.1 Funcionamiento hídrico del Canal: Lagos Gatún y Alajuela

El Canal de Panamá gestiona sus recursos hídricos, a través de los Lagos Gatún y Alajuela, que actúan como embalses complementarios esenciales para la navegación, el suministro humano y la generación hidroeléctrica. Según la Autoridad del Canal de Panamá (2023), el Lago Gatún recibe un promedio de 7 hm³ diarios provenientes de lluvias y afluentes, pero la demanda combinada incluyendo transbordos, evaporación, consumo humano e industria asciende a unos 10 hm³ diarios, dejando un déficit de 3 hm³/día, equivalente al volumen de 1 200 piscinas olímpicas. Durante los años más secos, como en 2023, este déficit obligó a recurrir al lago Alajuela y a aplicar medidas operacionales, como la reducción de tránsitos y calados.

El embalse de Alajuela, construido en 1935 sobre el río Chagres, funciona como una reserva reguladora. Cuando el lago Gatún se encuentra por debajo de los niveles operativos mínimos, se transfieren volúmenes desde Alajuela para

compensar el déficit hídrico y mantener los niveles adecuados para garantizar la operatividad del Canal. Esta interrelación es fundamental para asegurar la disponibilidad de agua durante las estaciones secas prolongadas.

Para mejorar la eficiencia hídrica, la ACP ha implementado varios mecanismos de ahorro. Destaca el uso de tinas de reutilización de agua en las esclusas Neopanamax, que permiten reciclar hasta el 60 % del agua por tránsito, lo que equivale a un ahorro diario de 1 Mm³, cantidad equivalente al consumo conjunto de agua de Colón, Panamá y Panamá Oeste durante la sequía.

Además, la ACP opera una completa red de 55 estaciones hidrometeorológicas y sistemas de monitoreo en tiempo real, para prever fluctuaciones del clima, ajustar el uso del agua, definir restricciones de operación y gestionar tarifas de agua fresca. Esta infraestructura permite responder rápidamente a eventos climáticos adversos, como el fenómeno El Niño, prolongando así la resistencia del sistema hídrico ante condiciones extremas. El embalse de Alajuela (Madden), construido en 1935, funciona como reservorio regulador, proporcionando aproximadamente el 45 % del agua total que requiere el Canal para su operación y abastecimiento urbano. En secas prolongadas, transfiere agua a Gatún para mantener niveles mínimos operativos y asegurar el paso diario de barcos y suministro de agua potable para más de 2,5 millones de habitantes de Panamá y Colón. (Canal de Panamá, 2024)

En conjunto, el Canal de Panamá ha desarrollado un modelo integrado de manejo hídrico que combina infraestructura, tecnología, conservación ambiental y mecanismos regulatorios. La interacción operativa entre Gatún y Alajuela, junto con las estrategias avanzadas de ahorro y monitoreo, permiten asegurar la operatividad

del Canal, proteger el suministro urbano y sostener ecosistemas, incluso en condiciones adversas. No obstante, el reto de garantizar su sustentabilidad a largo plazo requiere reforzar los embalses, ampliar la resiliencia social y fortalecer las políticas hídricas ante la amenaza creciente del cambio climático.

2.2.2 Requerimientos de agua para la operación de esclusas

El Canal de Panamá opera su sistema de esclusas utilizando una cantidad significativa de agua dulce, aproximada a 101.000 m³ (26,7 millones de galones) por ciclo de esclusaje tradicionales, mientras que, en las Neopanamax, que incluyen sistema de tinas de reutilización de agua, se recicla hasta el 60 % del agua por esclusaje, reduciendo el consumo efectivo de agua nueva a alrededor de 84.000 m³ por paso de buque. Este sistema de ahorro incluye tres tinas por cámara un total de 18 en la vía ampliada y permite evitar que la expansión del Canal aumente sustancialmente la demanda hídrica. Adicionalmente, el rellenado por gravedad y las estrategias complementarias (cross-filling, doble tráfico, suspensión de generación hidroeléctrica en condiciones críticas) permiten operar con mayor eficacia y garantizar la sostenibilidad hídrica aún durante temporadas de sequía prolongadas. Los expertos de la ACP establecen que sin estas tecnologías habría un consumo diario tres veces mayor, comprometiendo las reservas de los lagos Gatún y Alajuela de manera seria.

Las cámaras de las esclusas de Miraflores, Pedro Miguel y Gatún, se llenan del agua procedente de los lagos Miraflores y Gatún, mediante gravedad con un sistema de tuberías y válvulas en la parte baja y superior de cada esclusa.

El agua entra a las cámaras, a través de 20 alcantarillas en el piso de cada cámara. Para soltar el agua de la esclusa, las válvulas de la parte superior se cierran y las de la parte baja se abren.

El mismo principio de llenado aplica en la esclusa de Cocolí y Miraflores, sin embargo, las alcantarillas corren paralelas a la cámara y también llenan las tinas de reutilización de agua mediante el principio de vasos comunicantes. (Autoridad del Canal de Panamá, 2020)

Ilustración 6-Manejo del agua dulce del Canal de Panamá



Fuente: Autoridad del Canal de Panamá

• 2.2.3 Vulnerabilidad hídrica del sistema canalero

La vía acuática más reconocida de América enfrenta un grave problema de escasez de agua.

A diferencia del Canal de Suez, que depende del agua de mar, el Canal de Panamá utiliza agua dulce proveniente del lago Gatún, cuyo nivel ha descendido de manera alarmante.

Durante un recorrido por el lago Gatún, Nelson Guerra, hidrólogo de la Autoridad del Canal de Panamá, muestra una regla oxidada situada bajo una torre en el extremo oeste del lago.

“El nivel del agua, según se observa en la regla, es de 81,20 pies”, comenta. “Sin embargo, debería estar aproximadamente 1,5 metros más alto de lo que está actualmente”.

El funcionamiento del Canal de Panamá está estrechamente ligado a las lluvias, las cuales últimamente han sido escasas.

La combinación de la falta de precipitaciones y el fenómeno climático de El Niño han provocado que este sea el segundo año más seco en los 110 años desde que el canal comenzó a operar.

El mes de octubre pasado fue el más árido registrado en toda la historia del canal. En la zona que rodea al canal ha llovido un 41% menos de lo normal, y esta sequía amenaza con afectar seriamente el tránsito de mercancías, cuyo valor anual es de aproximadamente 270 mil millones de dólares, que atraviesan esta ruta estratégica entre el Atlántico y el Pacífico.

Como consecuencia, se han tenido que implementar medidas estrictas para conservar el agua, lo que ha limitado la cantidad de barcos que pueden cruzar el

canal cada día. Esto ocurre porque para operar las esclusas se requiere agua proveniente del lago Gatún.

Es fundamental hallar una solución para evitar que la ya frágil estabilidad del comercio global, que este año ha mostrado signos de tensión, se vea aún más comprometida. El volumen de carga que pasa por el Canal de Panamá ha disminuido un 49% en comparación con su máximo histórico.

José Cervantes, director general de la sucursal panameña de la naviera Agunsa, explica que sus operaciones cotidianas han sufrido impactos. Dos millones de toneladas de mercancías que incluyen desde productos textiles hasta alimentos—han experimentado retrasos debido a las interrupciones en el canal.

Según Cervantes, la dificultad radica en que no existen alternativas eficientes. Antes de la crisis actual en el Mar Rojo, algunos barcos que transportaban mercancías desde Asia optaban por el Canal de Suez. Ahora, con esa ruta menos confiable, ha aumentado la demanda por transporte terrestre, ya sea por ferrocarril o carretera, a través de Panamá.

Sin embargo, Cervantes señala que la necesidad de descargar y volver a cargar la mercancía entre barcos, trenes y camiones genera un aumento significativo en los costos logísticos. “Y esos costos, al final, suelen trasladarse al consumidor final”, añade. Si las lluvias regresan en mayo, como se espera, el canal planea incrementar la cantidad de barcos que pueden atravesar sus esclusas, pero esta es solo una solución temporal.

Los cambios observados en los patrones de lluvia representan un claro aviso sobre el impacto profundo que el cambio climático podría tener no solo en el comercio mundial, sino también en la viabilidad a largo plazo del Canal de Panamá. (Fleury, 2024)

En 2017, el Departamento de Justicia de Estados Unidos dio a conocer que el Canal de Panamá estaba catalogado como uno de los objetivos estratégicos clave para posibles ataques terroristas. Ante esta información, el exgeneral retirado Rubén Darío Paredes afirmó que: dado que el Canal es el mayor activo físico del continente, siempre estará expuesto a riesgos de ataque.

Paredes destacó que los puntos vulnerables del Canal son notorios y fácilmente demostrables, especialmente en lo que respecta a sus cuerpos de agua. Explicó que el Canal depende totalmente del agua del lago Gatún para su funcionamiento, por lo que, si este se quedara sin agua, el Canal quedaría inoperante. Según él, las zonas más sensibles se encuentran en los rebosaderos, ya que si fueran dañados con explosivos podrían secarse, afectando el suministro necesario para las esclusas.

Además, señaló que la presa Madden constituye otro punto crítico. En caso de que esta presa fuera destruida, el agua acumulada se precipitaría súbitamente hacia el lago Gatún, lo que podría causar un desbordamiento y la inundación de las esclusas, especialmente las más antiguas, dejando el Canal fuera de servicio.

Estas declaraciones surgieron tras la revelación de la detención en Nueva York y Michigan de dos hombres vinculados con Hezbolá, una organización islámica chií

considerada terrorista por Estados Unidos y otros países. Se informó que Ali Kourani y Samer El Debek recibieron entrenamiento militar, incluyendo el manejo de armas como lanzagranadas propulsados por cohetes y ametralladoras, en apoyo a las operaciones del grupo.

Por su parte, el Ministerio de la Presidencia de Panamá emitió un comunicado para contradecir el informe estadounidense, indicando que, en julio de 2014, ya se había alertado sobre la posible entrada de Samer El Debek al país y que, tras tomar acciones inmediatas, “ni entonces ni después se registró la entrada al país de ninguno de los dos ciudadanos”.

Frente a estos hechos, Paredes manifestó que desconoce si el Ministerio de Seguridad estaba activamente desarrollando planes para proteger el Canal, realizando un inventario de los puntos más sensibles de la vía acuática y estableciendo sistemas de vigilancia efectivos para prevenir cualquier posible ataque. (Redacción/Nación, 2017)

2.3 Impacto de las Sequías en el Canal de Panamá

2.3.1 Sequía de 2015: efectos del fenómeno de El Niño

Durante el año 2015, Panamá vivió una de las temporadas más secas desde que se tiene registro hidrometeorológico, lo cual ha sido atribuido con claridad a los efectos del fenómeno de El Niño. En un lapso de siete meses, las lluvias se redujeron drásticamente, acumulando un déficit del 58% respecto al promedio histórico para esa época del año. Esta notable escasez de precipitaciones marcó el

registro más bajo desde 1925, año en que se comenzaron a recopilar datos sistemáticos sobre lluvias en el país.

La magnitud de la sequía podía observarse de forma tangible en entornos como el de la Isla Barro Colorado, en el Canal de Panamá. Normalmente, para el mes de abril se pueden ver las raíces y troncos de los árboles en la orilla, pero a medida que avanza el invierno y se intensifican las lluvias, estos suelen quedar sumergidos. Sin embargo, en 2015, el paisaje se mantuvo estático incluso hasta agosto, mostrando la misma escena que en abril: los troncos aún al descubierto, sin rastro del aumento de los niveles de agua esperado para esa fecha. Este fenómeno visual evidenciaba la gravedad de la sequía y su impacto sobre los ecosistemas que dependen del régimen hídrico estacional.

El detonante principal de esta situación fue el calentamiento anómalo de las aguas del Océano Pacífico tropical, característico del fenómeno de El Niño. Dicho calentamiento altera los patrones de circulación atmosférica en la región y tiene como consecuencia directa la disminución de las lluvias sobre gran parte de Centroamérica. Esta alteración climática, no sólo afectó los ecosistemas y la biodiversidad, sino también aspectos críticos para el país como la disponibilidad de agua potable y la generación de energía hidroeléctrica, que sigue siendo uno de los pilares del suministro eléctrico nacional.

El impacto de la sequía en 2015 fue tan severo que el Gobierno panameño declaró Estado de Emergencia, lo que dio paso a medidas especiales adoptadas por diversas entidades, entre ellas la Autoridad del Canal de Panamá (ACP). Esta institución se vio obligada a implementar restricciones operativas, especialmente

dirigidas a limitar el tránsito de embarcaciones de gran calado, en previsión de que los niveles del Lago Gatún fuente principal del agua utilizada en el sistema de esclusas del Canal no logran recuperarse antes del mes de septiembre. Tales medidas buscaban evitar una disrupción mayor en las operaciones canalera y, por ende, mitigar el impacto económico en la principal fuente de ingresos del país.

Este episodio, sin embargo, no fue un hecho aislado. El Niño ya había dejado huellas similares en el país en años anteriores, especialmente en 1982 y 1997. No obstante, según lo expresado en su momento por Steve Paton, director del programa de monitoreo del Instituto Smithsonian en Panamá, la sequía de 2015 fue más prolongada que las anteriores, extendiéndose al menos dos meses más allá de los periodos secos registrados en los eventos previos. Paton advirtió entonces que se esperaba que Panamá enfrentara una etapa extensa de déficit hídrico, alertando sobre la necesidad de adoptar una visión de largo plazo en la gestión del recurso hídrico nacional. (Gallimore, 2015)

A diez años de ocurrido este evento, la sequía de 2015 permanece como un referente crítico en la historia ambiental del país, no sólo por la magnitud de sus efectos, sino por haber demostrado con claridad la vulnerabilidad del Canal de Panamá ante los fenómenos climáticos extremos. El Niño de ese año no solo desafió la capacidad de respuesta institucional, sino que también puso sobre la mesa la urgencia de diversificar las fuentes de agua, invertir en sistemas de monitoreo más robustos y adoptar medidas de mitigación más agresivas frente al cambio climático.

Durante este período Panamá experimentó la sequía más intensa en un siglo, originada, por el fenómeno meteorológico de El Niño. Este evento extremo causó un déficit acumulado de lluvias del 58 % respecto al promedio histórico, afectando profundamente la disponibilidad hídrica de los embalses fundamentales para la operación del Canal de Panamá. En particular, el Lago Gatún y el Lago Alajuela, dos reservorios artificiales que abastecen de agua dulce al sistema de esclusas, registraron niveles considerablemente inferiores a los óptimos para la época, con déficits aproximados de 1,2 metros y 2,3 metros, respectivamente.

Estas bajas reservas hídricas se debieron no solo a la prolongada ausencia de precipitaciones la última significativa ocurrió a finales de noviembre de 2015, sino también a factores climáticos asociados, como la evaporación acelerada por altas temperaturas y la influencia constante de fuertes vientos, que exacerbaban la pérdida de agua. La temporada seca, que se extiende aproximadamente hasta abril y se caracteriza por cielos despejados y sol intenso, se prolongó y profundizó como consecuencia directa de El Niño, fenómeno recurrente cada dos o tres años producto del calentamiento anormal del Océano Pacífico.

metros para finales de abril, afectaron a un número considerable de embarcaciones y se estimó que ocasionaron pérdidas en los ingresos por peajes cercanas a los 15 millones de dólares

Operacionalmente, cada tránsito requiere aproximadamente 202,000 metros cúbicos de agua dulce, lo que enfatiza la magnitud del recurso necesario para mantener la funcionalidad del Canal. Este aspecto cobra especial relevancia durante eventos extremos como la sequía de 2015-2016, que no solo pone en riesgo

la eficiencia operativa, sino que también impacta la competitividad internacional de la ruta interoceánica. En ese contexto, los principales clientes del Canal Estados Unidos y China, con el transporte de contenedores como el negocio predominante, continuaron operando bajo estas condiciones adversas. Además, la apertura de las esclusas ampliadas permitió la entrada de nuevos mercados, incluyendo grandes cruceros turísticos y embarcaciones de gas natural licuado (GNL), que se vieron también afectados por las restricciones.

Un aspecto adicional y menos visible pero crítico fue la degradación de las áreas de captación que alimentan las cuencas hídricas del Canal, especialmente la cuenca del río Chagres. La pérdida de biomasa vegetal, documentada mediante imágenes satelitales, redujo la capacidad de infiltración y retención de agua en el suelo, agravando el estrés hídrico sobre los embalses. Este deterioro ecosistémico, vinculado a la sequía prolongada, evidenció la vulnerabilidad ambiental que afecta directamente la sostenibilidad del Canal y subrayó la importancia de integrar la gestión ambiental y comunitaria en las estrategias de adaptación al cambio climático. (Panamá America, 2019)

Ya en 2025 permanece como un referente crítico para el país y para la Autoridad del Canal. Más allá del impacto económico inmediato, la crisis hídrica reveló la necesidad imperante de fortalecer los sistemas de monitoreo, diversificar las fuentes de agua y adoptar tecnologías e infraestructuras resilientes que permitan mitigar futuros episodios extremos. La experiencia obtenida ha impulsado la reconsideración de políticas y prácticas para proteger el funcionamiento de la vía interoceánica frente a los desafíos climáticos emergentes, confirmando que la

adaptación y la gestión integral del recurso hídrico son elementos fundamentales para garantizar la seguridad operacional y económica del Canal de Panamá en las próximas décadas.

2.3.2 Sequía de 2019: Condiciones de baja pluviosidad y efectos moderado

Durante el año 2019, Panamá enfrentó una sequía severa vinculada al fenómeno climático de El Niño que provocó un descenso abrupto en el nivel del lago Gatún, uno de los principales embalses que alimentan el Canal de Panamá. Esta situación obligó a las autoridades del Canal a establecer un nuevo ajuste en la profundidad máxima permitida para los buques que transitan por las esclusas ampliadas, afectando especialmente a los grandes barcos Neopanamax, que son los más frecuentes y cuya carga proviene mayoritariamente de Estados Unidos y China, los principales usuarios de esta vía interoceánica.

Las restricciones en el calado implicaron que estos buques debieron navegar con cargas reducidas para adaptarse a los niveles bajos de agua, lo que generó una disminución en los ingresos por peajes. Sin embargo, en términos relativos, el impacto económico de estas limitaciones se estimó en alrededor de 15 millones de dólares para ese año, cifra modesta en comparación con los miles de millones generados normalmente por la vía. No obstante, esta crisis hídrica expuso las crecientes dificultades que enfrenta Panamá, para satisfacer la demanda de agua dulce no solo para el Canal, sino también para abastecer a más de dos millones de habitantes en la capital y en la provincia de Colón, en un contexto de cambio climático que intensifica la frecuencia y severidad de fenómenos extremos.

Los embalses clave mostraron niveles por debajo de lo esperado: el Lago Gatún presentó un déficit de aproximadamente 1,4 metros, mientras que el lago Alajuela, más pequeño, tuvo una caída aún más significativa de cerca de 2,2 metros. Estos descensos fueron el resultado no solo de meses prolongados sin lluvias, sino también de una elevada evaporación impulsada por temperaturas altas y vientos constantes, lo que representó la temporada seca más intensa en la historia registrada del Canal. Las autoridades comunicaron que, desde abril de ese año, el calado máximo para las embarcaciones Neopanamax se ajustó gradualmente, alcanzando un límite de 13,41 metros, una reducción notable respecto a los niveles normales de hasta 15,2 metros en condiciones óptimas.

A pesar de la adversidad, el Canal implementó medidas de ahorro hídrico, como el uso intensivo de sistemas de reciclaje de agua en las esclusas ampliadas, que permiten reducir hasta un 60 % el consumo de agua por operación, y la suspensión temporal de la generación hidroeléctrica en el cauce del canal para conservar el recurso. Además, se promovieron programas de reforestación en la cuenca hidrográfica que alimenta los embalses, con más de 7,000 hectáreas recuperadas, buscando mitigar los impactos de futuras sequías.

La crisis también afectó a comunidades indígenas ubicadas a lo largo de los afluentes del lago Gatún, que dependen del turismo y de la navegación en pequeñas embarcaciones. La bajada del nivel de agua dificultó el acceso y la maniobrabilidad de las lanchas en sus ríos, afectando sus medios de vida y el flujo de visitantes.

Finalmente, expertos destacaron que, aunque Panamá es una nación con alta precipitación anual, las variaciones extremas en el clima han llevado a episodios

más severos y frecuentes de sequía, que requieren un manejo integral y adaptativo del recurso hídrico. La experiencia de 2019 reafirmó la necesidad de continuar fortaleciendo las estrategias, para garantizar la sostenibilidad del Canal y la seguridad hídrica nacional ante los desafíos del cambio climático.

Ilustración 7-Nivel operativo de los lagos



Fuente: Panamá América

2.3.3 Sequía de 2023–2024: Crisis hídrica histórica y consecuencias económicas

Durante el año 2023, el Canal de Panamá enfrentó una crisis sin precedentes derivada de una sequía extrema vinculada al fenómeno de El Niño, cuya prolongada duración intensificó, la ya de por sí desafiante estación seca del país. La severidad de esta situación obligó a las autoridades del Canal a adoptar medidas extraordinarias que alteraron significativamente su operación.

Entre las principales acciones adoptadas se destacaron la reducción progresiva del número de tránsitos diarios, la disminución del calado permitido para las embarcaciones lo cual obligó a muchos buques a reducir su carga y la modificación de la tarifa variable que se aplica por el uso de agua dulce. Estas decisiones, necesarias para salvaguardar los niveles críticos de los lagos artificiales que alimentan el sistema de esclusas, han tenido repercusiones económicas directas que se reflejaron en el ejercicio fiscal 2024 (de octubre 2023 a septiembre 2024).

Uno de los efectos más visibles fue la congestión en el acceso al Canal, con registros de hasta 160 embarcaciones esperando tránsito, en su mayoría sin reserva previa. Aunque la situación fluctuó a lo largo de los meses, aún en diciembre se reportaban decenas de buques en fila, afectando especialmente a navíos graneleros, gaseros y quimiqueros, cuyas operaciones dependen de rutas eficientes y cronogramas estrictos.

En términos económicos, el administrador del Canal, Ricaurte Vásquez, advirtió que los ingresos podrían verse reducidos en aproximadamente 200 millones de dólares debido a las restricciones operativas. A pesar de que se aplicó una reducción de cerca del 50 % en la tarifa variable por uso de agua, como intento de compensación a los usuarios, algunas navieras comenzaron a explorar rutas alternativas, más largas y costosas, ante los cuellos de botella generados.

Desde el punto de vista hidrológico, 2023 fue uno de los años más secos desde que se tiene registro. Según el área técnica del Canal, la precipitación acumulada en la cuenca hidrográfica durante el periodo enero a diciembre fue un 25,6 % inferior al

promedio de los últimos 73 años. Octubre se consolidó como el mes más seco desde que existen mediciones oficiales, registrando un déficit de lluvias del 41 %.

La situación tuvo un efecto dramático sobre el lago Gatún, la principal fuente de agua para las operaciones del Canal. A finales del año, su nivel había descendido hasta los 81 pies PLD, muy por debajo de los 88 pies PLD que normalmente se esperan en esa época. Este descenso es particularmente crítico considerando que la estación seca inicia en diciembre, lo que limita aún más la posibilidad de una recuperación inmediata de los embalses.

En respuesta a esta crisis, se abrió nuevamente el debate sobre la necesidad de diversificar y reforzar la capacidad hídrica del país. Una de las propuestas en análisis es la construcción de un nuevo embalse, cuya aprobación y ejecución dependerán de decisiones del Ejecutivo panameño. Mientras tanto, el Canal continúa implementando estrategias de mitigación y eficiencia, como el uso optimizado de las esclusas con tinajas de ahorro de agua, ajustes operativos en el tránsito y la búsqueda de soluciones estructurales a largo plazo para garantizar la sostenibilidad de su operación ante un clima cada vez más impredecible. (Mosos, 2023).

Económicamente hablando durante el año fiscal 2023 y principios del 2024, el Canal de Panamá enfrentó uno de los impactos económicos más severos de su historia reciente como resultado directo de la crisis hídrica ocasionada por la prolongada sequía asociada al fenómeno de El Niño. La falta de lluvias y la consecuente escasez de agua en los embalses obligaron a reducir de forma progresiva el número

de tránsitos diarios, pasando de un promedio histórico de 38 embarcaciones a solo 24, con efectos adversos que superaron ampliamente las proyecciones iniciales.

Ricaurte Vásquez, administrador del Canal, reportó que solo en el primer trimestre del año fiscal que comprende de octubre de 2023 a septiembre de 2024 se registraron 791 tránsitos menos y un 20 % menos de carga movilizada en comparación con el mismo periodo del año anterior. Esta caída operativa representó una pérdida estimada de aproximadamente 100 millones de dólares por mes únicamente en ingresos por concepto de peajes, una cifra que contrasta fuertemente con las expectativas iniciales.

Las proyecciones económicas realizadas a mediados de 2023 estimaban un impacto negativo de entre 150 y 200 millones de dólares para el cierre del año fiscal. Sin embargo, ante la continuidad de la sequía y la reducción sostenida en el volumen de operaciones, la nueva estimación indica que la disminución en ingresos podría situarse entre 500 y 700 millones de dólares, lo que representa un golpe considerable para las finanzas de la ruta interoceánica y del país.

Una estrategia paliativa adoptada por la Autoridad del Canal fue el uso del sistema de subastas para asignar cupos de tránsito prioritarios, una práctica que permitió recuperar parcialmente los ingresos perdidos. Durante los meses más críticos, algunos clientes llegaron a pagar entre tres y cuatro millones de dólares por un solo cruce expedito. No obstante, esta fuente de ingresos extraordinarios mostró signos de desaceleración a medida que la fila de espera comenzó a disminuir, lo que provocó también una caída en el valor de dichas subastas.

Este escenario reveló una creciente preocupación en la comunidad naviera internacional, que empezó a cuestionar la fiabilidad del Canal como ruta segura y predecible. Como resultado, varias empresas optaron por desviar sus embarcaciones hacia rutas alternas, más extensas y costosas, lo cual, según diversos expertos, podría traducirse en un aumento en los costos logísticos y en los precios finales para el consumidor global.

A pesar del panorama crítico, Vásquez destacó que gracias a una gestión más eficiente del recurso hídrico y a un episodio de lluvias significativas en noviembre tras el octubre más seco en la historia del Canal, fue posible garantizar un mínimo de 24 tránsitos diarios hasta al menos abril de 2024. Esta cifra, sin embargo, representaba todavía una reducción del 36 % respecto a la operatividad habitual.

Ante la persistencia del fenómeno de El Niño y el agravamiento de los patrones climáticos extremos vinculados al cambio climático, las autoridades reiteraron la necesidad urgente de desarrollar nuevas fuentes hídricas para garantizar la sostenibilidad del Canal. Se puso nuevamente sobre la mesa la discusión sobre la construcción de embalses adicionales, propuesta que requiere aprobación y acción del Gobierno Nacional.

Además del impacto en la vía interoceánica, la crisis también puso en evidencia la vulnerabilidad de la población panameña, ya que los lagos Gatún y Alajuela principales fuentes de agua para el Canal también abastecen a más del 50 % de la población del país. Vásquez subrayó que la problemática hídrica no puede seguir tratándose como una cuestión exclusiva del Canal, sino que debe abordarse como un tema nacional prioritario en el diseño de políticas públicas, especialmente

considerando las proyecciones de crecimiento poblacional para las próximas décadas. (Associated Press, 2014)

2.3.4 Comparación de impactos operativos y financieros entre los tres eventos

Análisis comparativo

Gravedad climática y duración

- 2015 fue la sequía más prolongada y severa registrada hasta entonces, con un impacto fuerte sobre los ecosistemas y embalses.
- 2019 presentó una severidad operativa considerable pero menor en duración e impacto financiero.
- 2023–2024 se consolida como la crisis más crítica, tanto por el descenso drástico del Lago Gatún, como por su duración y consecuencias económicas.

Impactos operativos

- En 2015, las restricciones se enfocaron en calado y tránsito anticipado.
- En 2019, las medidas se centraron en ajustes finos como el calado, sin grandes alteraciones de tránsito diario.
- En 2023–2024, se implementó la reducción directa de tránsitos diarios, generando cuellos de botella logísticos globales, afectando el volumen de carga en un 20%.

Impactos financieros

- 2015 y 2019 generaron pérdidas estimadas en 15 millones USD cada una.

- 2023–2024 rompió toda previsión, con pérdidas proyectadas de hasta 700 millones USD, además de impactos colaterales como la pérdida de confianza de navieras y mayores costos logísticos globales.

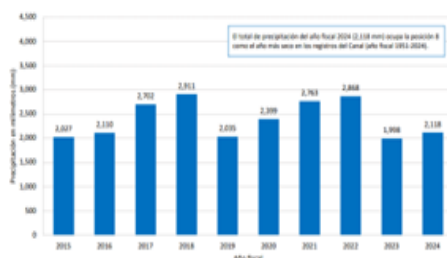
Capacidad de adaptación institucional

- Las sequías de 2015 y 2019 sirvieron como experiencias de aprendizaje, evidenciando la necesidad de diversificación hídrica.
- En 2023–2024, se aplicaron estrategias más agresivas: subastas, tarifas diferenciadas, eficiencia operativa, y propuestas de nueva infraestructura (embalses).

Lecciones y transformaciones

- La sequía de 2015 marcó un hito de conciencia ambiental y operativa.
- La de 2019 reafirmó la vulnerabilidad y la necesidad de adaptación tecnológica.
- La de 2023–2024 ha planteado un punto de inflexión que obligará al Estado panameño a tomar decisiones estructurales para la sostenibilidad del Canal y del abastecimiento de agua potable.

Ilustración 8-Gráfico precipitaciones



Fuente: Autoridad del canal de Panamá

2.4 El tránsito de buques en el Canal de Panamá

2.4.1 Tipos de buques que transitan el Canal

Según datos difundidos por BNAmericas en 2015, basados en cifras de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), en ese entonces la mayoría del tráfico que transitaba, por el Canal estaba compuesto principalmente por buques graneleros y portacontenedores, los cuales representaban una parte considerable del comercio marítimo mundial aproximadamente un 3% del total global.

Los graneleros encabezaban la lista, abarcando cerca del 27,9% del total de tránsitos por la vía interoceánica, seguidos muy de cerca por los portacontenedores, que constituían el 24,2%. En tercer lugar, se encontraban los buques frigoríficos, especializados en el transporte de carga perecedera, con un 8,4% de participación.

En ese contexto, el Canal de Panamá se encontraba en plena ejecución de un ambicioso proyecto de ampliación valorado en 5.000 millones de dólares. Esta iniciativa contemplaba la construcción de un tercer juego de esclusas, con miras a permitir el paso de embarcaciones de mayor tamaño los buques Neopanamax a partir del primer trimestre de 2016, fecha que marcó un hito importante en la historia operativa del canal.

Por su parte, el entonces presidente Juan Carlos Varela manifestó que Panamá debía comenzar a prepararse para una nueva etapa de desarrollo canalero, la cual, según sus proyecciones, podría incluir la planificación y eventual construcción de un cuarto juego de esclusas hacia el año 2030.

Hoy, diez años después, esta información forma parte del contexto histórico del proceso de modernización del Canal, y resulta fundamental para comprender cómo la infraestructura canalera ha evolucionado frente a los cambios en el comercio global, las exigencias técnicas de la navegación moderna y las presiones climáticas que afectan su sostenibilidad operativa. (BN Americas, 2015).

A continuación, en la siguiente ilustración, se presentan actualizado los diferentes tipos de buques que transitan por el Canal de Panamá, junto con el porcentaje que representa cada uno según la cantidad total de tránsitos registrados. Esta clasificación permite comprender la composición del tráfico marítimo que utiliza esta vía interoceánica y su relevancia en términos comerciales y estratégicos.

Ilustración 8-Tipo de buques que pasan por el Canal



Fuente: Autoridad del canal de Panamá

2.4.2 Número de buques por año

Durante el año 2023, la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) enfrentó una de las crisis hídricas más severas en la historia de la vía interoceánica, causada por una intensa sequía asociada al fenómeno de El Niño. Esta situación obligó a reducir

gradualmente el número de tránsitos diarios para conservar el agua almacenada en el lago Gatún, que alcanzó niveles históricamente bajos. En un primer momento, se establecieron restricciones escalonadas: 24 tránsitos en noviembre, 22 en diciembre, 20 en enero y hasta 18 en febrero, limitando la circulación a 6 buques Neopanamax y 16 panamax por día. Sin embargo, tras un leve repunte en las lluvias durante noviembre de 2023 y gracias a estrictas medidas de ahorro, la ACP pudo reajustar el volumen de cruces diarios y estabilizarlo en 24 buques a partir de enero de 2024. Esto representó un tránsito anual estimado de alrededor de 8,760 buques.(Autoridad del canal de Panamá, 2023)

Ya en el 2025, el panorama ha mostrado señales de recuperación. Según cifras oficiales de la ACP, durante el mes de abril de este año se registró un promedio de 34 tránsitos diarios, sumando un total de 1,021 buques en el mes, cifra superior a los 33.7 cruces diarios de marzo, pero aún por debajo del máximo operativo de 36 tránsitos por día permitido en los primeros cuatro meses del año. Esto demuestra que, si bien el Canal ha logrado aumentar su capacidad operativa tras el levantamiento de las restricciones, aún se mantiene una gestión cautelosa ante la posibilidad de nuevos eventos climáticos extremos.

Cabe mencionar que, a pesar de una reducción en las tarifas de peaje durante 2025, el volumen de tránsitos no ha alcanzado su máximo potencial. Esta estrategia busca incentivar el uso del Canal tras las fuertes afectaciones que provocaron largas esperas y aumentos tarifarios entre finales de 2023 y principios de 2024, durante la etapa más crítica de la sequía.

A nivel geopolítico, el Canal también ha estado en el centro de la atención internacional. El expresidente de EE.UU., Donald Trump, manifestó en su momento que los barcos estadounidenses debían tener paso libre, tanto por el Canal de Panamá como por el de Suez, lo que generó tensiones diplomáticas entre ambos países en relación con las prioridades de tránsito y los costos aplicados a embarcaciones con bandera estadounidense.

En paralelo, la ACP ha anunciado planes de expansión e infraestructura para reforzar su capacidad y adaptarse a las nuevas demandas logísticas. Entre los proyectos destacados para este año se encuentra la licitación de un gasoducto de GLP (gas licuado de petróleo), que permitirá a los buques descargar en un extremo del Canal y a otros recoger la carga en el extremo opuesto, aumentando así la eficiencia del tránsito y la diversificación de servicios ofrecidos.

Con estas medidas, el Canal de Panamá continúa reestructurando su operatividad, equilibrando los desafíos climáticos con la presión del comercio internacional, mientras trabaja en fortalecer su resiliencia ante futuras contingencias. (Reuters, 2025)

2.4.3 Ingresos generados por el tránsito

De acuerdo con datos actualizados del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), los ingresos por peajes del Canal de Panamá experimentaron una caída significativa durante el primer semestre de 2024. Entre enero y junio de ese año, los ingresos por este concepto disminuyeron en un 11,7 %, reflejando el impacto directo de las restricciones de tránsito impuestas por la prolongada sequía que afectó los niveles de los lagos del sistema hídrico canalero. A pesar de este retroceso, el

informe también señala que la economía nacional continuó mostrando un crecimiento del 2,2 % hasta junio, aunque a un ritmo más moderado que en años anteriores.

En cuanto al detalle por mes, el Canal registró ingresos mensuales por peajes que oscilaron entre los \$266 millones en febrero y los \$299.5 millones en abril, sumando un total de \$1.514,7 millones entre enero y junio de 2024. De ese monto, \$674.5 millones correspondieron a buques panamax, mientras que \$840.1 millones provinieron de embarcaciones Neopanamax que utilizaron las esclusas ampliadas. Para julio, los ingresos acumulados ascendieron a \$1.814,1 millones, con una distribución similar entre ambos tipos de buques.

El número de naves que cruzaron el Canal también sufrió una contracción notable. Hasta julio de 2024, transitaban 6,432 buques, lo que representa una disminución del 22,7 % en comparación con el mismo periodo del año anterior. En ese mismo lapso, el tonelaje total medido bajo el Sistema Universal de Arqueo del Canal (CP/SUAB) alcanzó 234,2 millones de toneladas, lo que equivale a una caída del 20,4 %.

Sin embargo, a pesar del panorama negativo, el administrador de la ACP, Ricaurte Vásquez, expresó en distintas comparecencias públicas, como en el Foro de Inversionistas de Latinex, que se esperaba cerrar el año fiscal 2024 (que abarca de octubre 2023 a septiembre 2024) con utilidades netas de aproximadamente \$3,500 millones, basándose en un promedio estimado de 24 tránsitos diarios y un volumen total de 430 millones de toneladas. Durante los primeros nueve meses de ese

mismo periodo fiscal, por la vía interoceánica pasaron 8,227 embarcaciones, con un tonelaje acumulado de 303,8 millones de toneladas.

El impacto de la sequía obligó a revisar las proyecciones financieras y a implementar una serie de estrategias económicas y operativas para enfrentar la crisis. Entre ellas, se destacó la subasta de cupos de tránsito durante los días en que se limitaron, tanto el calado como el número de cruces diarios, lo que permitió maximizar ingresos en medio de las restricciones. Además, se rediseñó la estructura tarifaria para reflejar el valor del agua dulce utilizada en las esclusas, similar al modo en que otros países valorizan recursos como el petróleo o los minerales. Este nuevo enfoque permitió ajustar los precios según las esclusas utilizadas y mejorar la rentabilidad del sistema, sin sacrificar competitividad internacional.

Más recientemente, la ACP también introdujo un nuevo modelo de asignación de cupos a largo plazo (LoTSA), iniciando con buques gaseros. Este mecanismo brinda mayor previsibilidad a las navieras al permitirles planificar sus tránsitos con anticipación, fortaleciendo la confiabilidad del Canal como ruta estratégica.

Por otro lado, la Asamblea Nacional aprobó el 27 de agosto de 2025 el presupuesto del Canal para el año fiscal 2025, el cual contempla ingresos totales de \$5,623 millones, lo que representa un aumento de \$847 millones respecto al año anterior, y una utilidad neta proyectada de \$3,761 millones. Dentro de este presupuesto, se estima un aporte directo al Estado panameño de \$2,789 millones, reafirmando la importancia del Canal como motor económico nacional, incluso frente a los desafíos climáticos que han marcado los últimos años. (Rodríguez, 2024)

2.4.4 Tarifas por tipo de buque

Con la implementación del nuevo esquema de peajes en el año 2016, a raíz de la expansión del Canal de Panamá, se actualizaron las tarifas aplicables a prácticamente todos los tipos de buques que utilizan esta vía interoceánica. Esta propuesta fue aprobada por el Consejo de Gabinete tras un proceso de consulta con clientes y usuarios del canal.

Una de las novedades fue la creación de un nuevo segmento tarifario denominado “Conglomerado Marítimo Interno”. Este grupo incluye embarcaciones dedicadas al turismo local, al suministro de combustible marino y al trasbordo de contenedores sin incidencia directa en el comercio internacional. Las tarifas para este segmento comenzaron a aplicarse de inmediato, mientras que para el resto de la industria naviera entraron en vigor a partir del 1 de abril de 2016.

A continuación, se detallan algunos ejemplos de las tarifas fijadas ese año para diversos tipos de embarcaciones:

Portacontenedores:

- Un buque con capacidad de 10.000 TEUs y un 80% de ocupación pagaría aproximadamente US\$780.000.
- Con la misma capacidad, pero con una ocupación del 40%, el costo sería de US\$640.000.

Esclusas existentes (Panamax):

- Un buque Panamax con capacidad de 4.700 TEUs al 80% de utilización abonaría US\$394.800.

Nuevas esclusas (Neopanamax):

- Un Neopanamax con la misma capacidad (4.700 TEUs) y el mismo nivel de utilización (80%) tendría un peaje de US\$432.400.

Graneleros:

- Una nave granelera de 49.000 toneladas de peso muerto, con el 60% de su carga compuesta por granos, pagaría US\$128.710 por las esclusas Panamax.
- Un granelero de 165.000 toneladas DWT, cargado con 139.000 toneladas métricas de carbón, abonaría US\$252.000 al cruzar por las esclusas Neopanamax.

Graneles líquidos:

- Un buque petrolero tipo Aframax de 46.136 CP/SUAB transportando 60.000 toneladas métricas, pagaría US\$238.892. Este monto se compone de US\$221.892 correspondientes a las tarifas por bandas de CP/SUAB y US\$17.000 por las toneladas métricas transportadas, según el sistema de peajes de las esclusas Neopanamax.

Buques gaseros (LNG):

- Un buque LNG con capacidad de 150.000 m³, completamente cargado, pagaría un peaje de US\$335.400, calculado con base en las tarifas, por metro cúbico aplicables a buques en carga.

Pasajeros:

- Buques de pasajeros que utilicen las esclusas Panamax pagarían US\$138 por litera, mientras que los que atravesasen las nuevas esclusas pagarían US\$148 por litera.

Portavehículos / RoRo:

- Un buque RoRo de 25.000 toneladas CP/SUAB con un 45% de utilización tendría un peaje de US\$128.750.
- Un portavehículo de 55.000 toneladas CP/SUAB al 35% de ocupación pagaría US\$238.700.

Por último, el segmento de Conglomerado Marítimo Interno, que comprende embarcaciones que operan dentro del sistema logístico sin competir en el comercio internacional (como servicios de trasbordo, turismo local y suministro de combustible), quedó oficialmente establecido con la publicación de su estructura tarifaria en la Gaceta Oficial en ese mismo año. (Mundo Marítimo, 2015)

2.5 Economía del Agua**2.5.1 El agua como recurso económico, escasez, valor y costo de oportunidad**

El agua, más allá de ser vital para la vida, representa un recurso con valor económico tangible e intangible, sin embargo, no siempre se le reconoce como tal, sobre todo cuando su disponibilidad es abundante o aparentemente estable, lo cual genera una falsa percepción de gratuidad o bajo costo, algo que no se sostiene cuando surgen eventos climáticos extremos o sequías prolongadas, como ha ocurrido en los últimos años en la cuenca del Canal de Panamá, donde las

fluctuaciones en las precipitaciones han evidenciado las consecuencias de no tener una valoración adecuada del recurso, ya que su escasez afecta de forma directa la capacidad operativa del Canal, restringe el número de tránsitos diarios y, con ello, reduce los ingresos fiscales que representan una parte importante del presupuesto nacional (Autoridad del Canal de Panamá, 2024) así, cada metro cúbico de agua que se usa en las esclusas deja de estar disponible para el consumo humano, la agricultura o la conservación ecológica, lo que ilustra con claridad el concepto de costo de oportunidad, es decir, el sacrificio de ciertos beneficios al priorizar un uso frente a otros posibles (Mendoza, O., & Rodríguez, J, 2022).

2.5.2 Tarifación del agua en infraestructuras estratégicas

Establecer tarifas sobre el uso del agua no es solo una cuestión técnica, también responde a la necesidad de incentivar una gestión más consciente y eficiente del recurso, particularmente en infraestructuras que, como el Canal de Panamá, dependen directamente del agua dulce para operar, ya que por cada tránsito se utilizan millones de galones provenientes de los lagos artificiales que funcionan como embalses reguladores, por eso, cuando la disponibilidad hídrica se ve comprometida, ajustar las tarifas puede ser una forma de reflejar el verdadero valor del recurso, especialmente en temporadas secas o cuando el fenómeno de El Niño altera los patrones de lluvia (Autoridad del Canal de Panamá, 2020), de esta manera, la tarifación no solo cubre los costos de operación y mantenimiento, sino que también introduce un componente de escasez, permitiendo priorizar el uso en función de su rentabilidad y su impacto económico, algo que resulta especialmente

relevante en contextos donde cada gota cuenta y donde el agua tiene que competir entre múltiples demandas. (Global Water Partnership, 2000).

2.5.3 Impacto económico de la escasez hídrica en el Canal de Panamá

Cuando los embalses como Gatún o Alajuela descienden por debajo de los niveles mínimos, las restricciones no se hacen esperar, lo primero que ocurre es una reducción en el calado permitido, lo que obliga a los barcos más grandes a reducir su carga o buscar rutas alternativas, lo que a su vez disminuye el volumen de mercancía que transita por el Canal y, por tanto, los ingresos por peajes, según datos de la Autoridad del Canal, durante el período 2023-2024, se reportó una pérdida de más de 200 millones de dólares debido a ajustes operativos por sequía (Autoridad del Canal de Panamá, 2024) además, este tipo de situaciones no solo afectan a Panamá como país, también repercuten en el comercio internacional, ya que los tiempos de espera aumentan, las cadenas logísticas se encarecen y los exportadores pierden competitividad, lo que demuestra que la escasez de agua no es solo un problema ambiental, sino también económico, estratégico y geopolítico, por eso, garantizar la disponibilidad hídrica debe ser una prioridad de Estado, no solo desde el punto de vista técnico, sino también desde una visión económica de largo plazo (Rodríguez, A., & Vargas, F, 2019).

2.5.4 Instrumentos económicos para la gestión eficiente del recurso hídrico

Frente a estos retos, han surgido distintas herramientas económicas que permiten una gestión más inteligente del agua, entre ellas están los mercados de agua, que permiten negociar derechos de uso en función de la demanda, los subsidios dirigidos a sectores que requieren apoyo para implementar tecnologías ahorradoras, y los esquemas tarifarios progresivos, donde quien consume más,

paga más, lo que busca desincentivar el desperdicio y fomentar un uso más equitativo y sostenible, este tipo de instrumentos, han sido aplicados en varios países con buenos resultados, siempre y cuando exista un marco normativo sólido, transparencia en la asignación de derechos y participación ciudadana, en el caso del Canal, si bien ya se aplican tarifas diferenciadas, aún hay margen para fortalecer la relación entre tarifas y condiciones hídricas, lo que podría permitir una gestión más dinámica y adaptable al cambio climático (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2017), además, integrar instrumentos económicos con herramientas tecnológicas como sensores, modelos predictivos y sistemas de información en tiempo real puede mejorar la toma de decisiones, optimizando así el uso del recurso y reduciendo el riesgo de crisis operativas.

2.6 Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)

2.6.1 Principios y objetivos de la GIRH

La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, conocida como GIRH, se ha convertido en uno de los marcos más completos para abordar la problemática del agua, especialmente en contextos como el panameño, donde distintos sectores dependen críticamente de una fuente compartida, este enfoque propone que el agua no debe gestionarse como un bien aislado, sino dentro de una lógica integral que considere a los ecosistemas, las comunidades y los distintos usos del recurso, sus principios giran en torno a la administración, por cuenca hidrográfica y no por límites políticos, a la participación activa de todos los actores involucrados y a la necesidad de ajustar las decisiones ante los efectos del cambio climático, esto implica, por ejemplo, que los planes de manejo hídrico deben contemplar no solo la oferta disponible, sino también la demanda proyectada, el comportamiento del clima y la resiliencia de los sistemas naturales, además, la GIRH promueve la equidad en el

acceso, algo particularmente relevante en zonas donde el agua debe dividirse entre consumo humano, agricultura, generación eléctrica e industrias estratégicas como la operación del Canal de Panamá, Según (Global Water Partnership, 2000) uno de los pilares clave es fomentar el diálogo entre sectores, ya que muchas veces las políticas de agua fallan no por falta de recursos técnicos, sino por ausencia de coordinación o conflictos entre intereses divergentes, por eso, el objetivo último de este enfoque no es solo conservar el agua, sino lograr que su uso beneficie al conjunto de la sociedad, sin comprometer su disponibilidad para las futuras generaciones.

2.6.2 Aplicación de GIRH en contextos de sequía

Cuando se presentan episodios de sequía, el enfoque GIRH muestra todo su potencial, ya que permite anticiparse a la crisis y organizar las respuestas de forma ordenada, en lugar de reaccionar con medidas aisladas, por ejemplo, en la cuenca del Canal de Panamá, donde los años 2015 y 2023 estuvieron marcados por una notable reducción en las lluvias, la aplicación de principios de gestión integrada permitió identificar los sectores críticos, establecer prioridades de uso y activar protocolos de ahorro con base en criterios técnicos y sociales, así, se garantiza que el tránsito de buques no comprometa el abastecimiento de agua potable para la población, además, la GIRH en estos casos facilita la implementación de planes de contingencia que integran alertas tempranas, reasignación temporal de caudales, restricciones operativas escalonadas y campañas públicas para fomentar el uso racional del agua, todo esto con el respaldo de información hidrometeorológica en tiempo real y modelos de simulación que permiten prever escenarios y minimizar

impactos, como señala el (Banco Mundial, 2021) una de las grandes ventajas de la GIRH es que no solo se enfoca en distribuir el agua cuando hay escasez, sino que promueve la construcción de resiliencia para que los sistemas sociales y económicos puedan adaptarse mejor a la variabilidad climática, esto incluye revisar políticas de largo plazo, modificar estructuras tarifarias, invertir en infraestructura flexible y fortalecer las capacidades institucionales de las entidades responsables de gestionar el recurso, algo que en Panamá todavía está en proceso de consolidación, pero que ha mostrado avances importantes.

2.6.3 Herramientas tecnológicas para la gestión hídrica

La GIRH no puede aplicarse de forma efectiva, sin el respaldo de tecnologías que permitan entender, monitorear y gestionar los sistemas hídricos de manera dinámica, hoy en día, herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los sensores remotos, los modelos hidrológicos distribuidos y las plataformas de datos en tiempo real forman parte del núcleo operativo de muchas instituciones responsables de la gestión del agua, en el caso del Canal de Panamá, se utilizan modelos que simulan los aportes de lluvia, el comportamiento de las cuencas y la evolución de los niveles de los embalses, lo que facilita tomar decisiones más precisas sobre la programación de tránsitos, la operación de las esclusas y la activación de alertas ante escenarios de sequía prolongada, además, estas tecnologías no solo sirven para observar lo que ya está ocurriendo, también permiten generar proyecciones y estimar los efectos de distintas decisiones, lo cual es clave cuando hay que elegir entre múltiples usos del agua bajo condiciones de incertidumbre, por ejemplo, saber cuánta agua estaría disponible si se reduce el

tránsito de buques en un 10 % o si se aplica una medida de restricción en ciertos sectores urbanos, así se pueden comparar escenarios y elegir el que represente menos impactos sociales o económicos, según la (IPCC, 2021) la incorporación de inteligencia artificial, análisis predictivo y plataformas colaborativas en la gestión del agua es una de las vías más efectivas para mejorar la eficiencia y la equidad, siempre y cuando estas herramientas estén acompañadas por marcos normativos claros, personal capacitado y voluntad política para integrar la tecnología, en las decisiones reales, en Panamá, iniciativas como el Sistema de Monitoreo Integrado de la ACP, han demostrado que cuando se combina el conocimiento técnico con la tecnología y la gobernanza adecuada, es posible manejar un recurso tan complejo como el agua de forma mucho más estratégica y sostenible.

2.7 Estrategias de Mitigación y Adaptación

2.7.1 Medidas estructurales: embalses, trasvases, plantas de tratamiento

Las medidas estructurales representan una de las primeras líneas de defensa frente a la variabilidad climática y los eventos de sequía prolongada, en el caso del Canal de Panamá, estas infraestructuras permiten almacenar grandes volúmenes de agua en temporadas lluviosas y regular su uso durante los meses secos, los embalses de Gatún y Alajuela son piezas fundamentales dentro de este sistema, ya que garantizan el caudal necesario para el tránsito de buques y, al mismo tiempo, abastecen de agua potable a gran parte de la población del área metropolitana, estas reservas actúan, como pulmones hídricos que amortiguan los efectos de la escasez y permiten cierta flexibilidad operativa ante fluctuaciones en las

precipitaciones, sin embargo, su capacidad es finita y depende de una gestión eficiente y anticipada, por eso, en los últimos años se han discutido alternativas complementarias como el trasvase desde otras cuencas vecinas, una estrategia que, aunque controvertida, podría aportar volúmenes adicionales para suplir la creciente demanda, además, el desarrollo de plantas de tratamiento y sistemas de reutilización de aguas residuales también se posiciona como una medida cada vez más prioritaria, ya que permite aprovechar fuentes no convencionales y reducir la presión sobre los embalses principales, según la Autoridad del Canal de Panamá (Autoridad del Canal de Panamá, 2020), se han iniciado estudios para implementar tecnologías de tratamiento avanzadas que permitan reincorporar agua tratada en procesos no potables como limpieza de esclusas o riego, con lo cual se libera agua dulce para usos más críticos, estas medidas estructurales, si bien implican inversiones significativas, ofrecen beneficios duraderos al mejorar la resiliencia hídrica del sistema canalero frente a los impactos del cambio climático y la variabilidad estacional.

2.7.2 Medidas no estructurales: políticas públicas, educación, monitoreo

Más allá de la infraestructura física, las estrategias de mitigación y adaptación también deben incluir acciones de tipo no estructural que, aunque menos visibles, son igual de importantes, para garantizar la sostenibilidad del agua a largo plazo, una de las más relevantes es la formulación de políticas públicas coherentes, integradas y adaptativas que alineen los intereses de los distintos actores que intervienen en el uso del recurso hídrico, esto implica, por ejemplo, establecer marcos normativos claros sobre las prioridades de uso durante eventos de escasez,

definir tarifas que reflejen el valor real del agua y crear incentivos para la conservación y la eficiencia, en el contexto panameño, donde el Canal representa un bien estratégico, estas decisiones deben tomar en cuenta, tanto la dimensión económica como la social y ambiental, por otro lado, la educación ambiental juega un papel vital al transformar los hábitos individuales y colectivos de consumo, fomentar la cultura del ahorro y generar conciencia sobre la importancia de cuidar el recurso, programas educativos en escuelas, campañas de comunicación pública y alianzas con medios y organizaciones comunitarias son herramientas poderosas para cambiar la relación de la sociedad con el agua, finalmente, los sistemas de monitoreo y alerta temprana constituyen una herramienta preventiva que permite anticipar eventos críticos, ajustar la operación en tiempo real y evitar impactos mayores, mediante estaciones meteorológicas automáticas, modelos de simulación y plataformas de datos abiertos, se puede tener un panorama actualizado del estado de las cuencas, los niveles de los embalses y las proyecciones climáticas, lo cual permite tomar decisiones basadas en evidencia y con mayor margen de anticipación, según la (CEPAL, 2018), combinar medidas estructurales con enfoques institucionales y educativos es la única forma de construir una gestión del agua verdaderamente resiliente y sostenible en el tiempo.

2.7.3 Innovaciones tecnológicas aplicables al Canal de Panamá

El avance tecnológico ha abierto una nueva etapa en la gestión del recurso hídrico, y el Canal de Panamá, como infraestructura estratégica a nivel mundial, no puede quedarse atrás, uno de los campos con mayor potencial es la aplicación de inteligencia artificial y aprendizaje automático para mejorar la predicción climática y

la planificación operativa, mediante algoritmos que analizan series históricas de datos meteorológicos e hidrológicos, es posible anticipar patrones de lluvia, identificar tendencias de sequía y ajustar las decisiones de manejo de agua con semanas o incluso meses de antelación, esto representa una ventaja significativa frente a modelos tradicionales, ya que permite optimizar el uso de los embalses, minimizar riesgos y reducir los impactos sobre el tránsito de buques, además, las tecnologías avanzadas de tratamiento y purificación también se están posicionando como herramientas clave, con métodos como la ósmosis inversa, la desinfección con ozono y los sistemas de biorreactores, se puede obtener agua de alta calidad a partir de fuentes no convencionales, lo cual amplía el abanico de opciones disponibles durante eventos de escasez, por otra parte, el uso de sensores inteligentes y plataformas integradas de gestión permiten tener un control preciso y en tiempo real sobre el uso del recurso, identificando fugas, variaciones inesperadas o consumos excesivos antes de que generen problemas mayores, según un informe del (Global Water Partnership, 2000) el uso de estas innovaciones tecnológicas no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también fortalece la transparencia y la capacidad de respuesta ante eventos extremos, en el caso del Canal, esto podría traducirse en una operación más estable, menor dependencia de decisiones reactivas y una mejor comunicación con los actores nacionales e internacionales que dependen de su funcionamiento, sin duda, apostar por la tecnología es apostar por una gestión hídrica más inteligente, más resiliente y mejor adaptada a los desafíos del futuro.

2.8 Régimen de Precipitaciones y Comportamiento Fluvial en la Cuenca

2.8.1 Características climáticas de la región canalera

La franja geográfica que alberga el Canal de Panamá se caracteriza por un clima tropical húmedo, marcado por dos estaciones bien diferenciadas, la temporada lluviosa que suele extenderse de mayo a diciembre, y la seca que abarca de enero a abril, durante la cual la disminución de precipitaciones puede ser abrupta y prolongada, esta dinámica estacional responde principalmente a los patrones de circulación atmosférica en la región intertropical, aunque también se ve fuertemente influenciada por fenómenos oceánicos-atmosféricos como El Niño y La Niña, cuando se presenta El Niño, generalmente se observa una reducción en las lluvias y un aumento en la temperatura superficial del mar en el Pacífico oriental, lo que altera la formación de nubes y provoca temporadas secas más intensas, como ocurrió en los años 2015 y 2023, en contraste, durante eventos de La Niña, las precipitaciones tienden a ser superiores al promedio, lo cual puede resultar favorable para la recuperación de los embalses, aunque también conlleva riesgos de inundaciones y escorrentía excesiva que puede erosionar las cuencas, según el (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2017) la región canalera ha registrado una creciente variabilidad climática en las últimas dos décadas, con episodios extremos más frecuentes y marcados, lo que ha elevado la urgencia de contar con sistemas de monitoreo más robustos y planes de contingencia hídrica adaptados a este nuevo escenario.

2.8.2 Cuencas hidrográficas que alimentan el Canal

El funcionamiento del Canal de Panamá depende directamente del aporte hídrico de dos principales cuencas, la del Lago Gatún y la del Lago Alajuela, ambas situadas en la región central del país y con una gran capacidad de captación pluvial gracias a su localización geográfica y su cobertura boscosa, el Lago Gatún es la principal reserva de agua para las operaciones de las esclusas del Atlántico y constituye también una vía de tránsito para los barcos, mientras que el Lago Alajuela, alimentado por el río Chagres, se encarga de suplir el sistema desde el lado Pacífico y abastecer de agua potable a gran parte de la ciudad de Panamá, sin embargo, el comportamiento hidrológico de estas cuencas es altamente sensible a las variaciones en las precipitaciones, cuando las lluvias disminuyen por debajo del promedio, como ha ocurrido en varias ocasiones recientes, los niveles de estos lagos descienden rápidamente, afectando tanto la navegación como el suministro urbano, estudios realizados por (Autoridad del Canal de Panamá, 2024) muestran que, a pesar de una recuperación temporal durante ciertos años húmedos, las tendencias de largo plazo apuntan a una mayor irregularidad en los aportes, lo que obliga a tomar decisiones operativas con mucha mayor cautela, especialmente en la temporada seca, además, la deforestación en ciertas zonas de la cuenca y la expansión urbana también, han alterado los patrones de escurrimiento, reduciendo la capacidad natural de retención de agua del ecosistema, lo cual agrava el problema de la disponibilidad.

2.8.3 Análisis de precipitaciones en los años críticos

En los últimos años, el Canal ha enfrentado eventos climáticos que han puesto a prueba su capacidad operativa, los años 2015, 2020 y el bienio 2023-2024 se destacan como períodos particularmente críticos debido a los bajos niveles de precipitación registrados, en 2015, bajo la influencia de un episodio fuerte de El Niño, las lluvias cayeron hasta un 30% por debajo del promedio histórico según reportes del Servicio Meteorológico Nacional, lo cual forzó a la ACP a limitar el calado de los buques y a restringir los tránsitos diarios, una situación similar se repitió en 2020, aunque con menor severidad, no obstante, fue durante 2023 y 2024 que se registraron las condiciones más adversas en décadas, con acumulados anuales de lluvia que quedaron muy por debajo del umbral necesario para mantener los niveles óptimos en los embalses, en diciembre de 2023, el nivel del Lago Gatún cayó por debajo de los 24 metros, obligando a la ACP a implementar un calendario de tránsito restringido, reduciendo significativamente el número de buques que podían pasar diariamente, (Autoridad del Canal de Panamá, 2024), estas restricciones se tradujeron en una pérdida económica estimada en más de 300 millones de dólares, sumado al impacto logístico global que implicó el desvío de rutas comerciales hacia canales alternativos o la espera prolongada en puertos de origen, estas situaciones evidencian la fragilidad del sistema hídrico del Canal frente a la intensificación del cambio climático y subrayan la necesidad urgente de reforzar, tanto la capacidad de almacenamiento, como las estrategias de manejo predictivo.

2.8.4 Implicaciones hidrológicas para la operación del Canal

El correcto funcionamiento del Canal de Panamá depende de un delicado equilibrio entre las lluvias que alimentan sus cuencas, la esorrentía que fluye hacia los embalses y la capacidad de almacenamiento de estos para mantener el flujo operativo, cada tránsito de buque por las esclusas utiliza aproximadamente 200 millones de litros de agua dulce, lo que significa que cualquier déficit sostenido en las precipitaciones puede rápidamente comprometer el volumen disponible, cuando las lluvias son insuficientes durante la temporada húmeda, los embalses no logran llenarse por completo, dejando al sistema vulnerable, ante los meses secos, esto obliga a la ACP a tomar medidas restrictivas como: el racionamiento de agua para el consumo humano, la reducción del calado permitido o la disminución del número de transitos por día, estas decisiones, aunque necesarias, tienen repercusiones, tanto económicas como políticas, ya que el Canal representa no solo una fuente de ingresos significativa para el Estado panameño, sino también un eslabón clave en la cadena de comercio marítimo internacional, según expertos del (Banco Mundial, 2021) una gestión hídrica eficiente y anticipada, basada en pronósticos climáticos de mediano y largo plazo, será clave para mantener la competitividad del Canal en un escenario cada vez más impredecible, además, resulta indispensable integrar los aspectos hidrológicos, en los modelos económicos y logísticos de planificación, entendiendo que el agua, ya no puede ser tratada como un insumo abundante, sino como un recurso estratégico, que requiere ser gestionado con la misma rigurosidad que cualquier otro factor de producción.

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

Este estudio es de tipo aplicado y descriptivo, con un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos. Lo consideramos una investigación aplicada, porque no solo queremos analizar el impacto de las sequías sobre el Canal de Panamá, sino también aportar ideas útiles que puedan servir, para mejorar su gestión hídrica y planificación a futuro. La idea es que los resultados no se queden solo en lo académico, sino que puedan tener una aplicación real.

Es descriptiva, porque buscamos mostrar de forma clara cómo las sequías han afectado la operación y la rentabilidad del canal en los últimos años. Esto incluye aspectos como la disminución de los niveles en los embalses, la reducción del tránsito de barcos, y las pérdidas económicas generadas por estas situaciones.

El enfoque mixto nos permite ver el problema desde dos ángulos. Por un lado, lo cuantitativo nos ayudará a analizar cifras concretas: niveles de lluvia, cantidad de tránsitos, tonelaje y variaciones en los ingresos. Por otro lado, lo cualitativo nos permitirá interpretar documentos técnicos, políticas públicas y opiniones de expertos, para entender cómo se está manejando el problema y qué más se podría hacer.

3.2 Diseño de investigación

El diseño de esta investigación es de tipo aplicado y descriptivo, con un enfoque mixto que combina herramientas, tanto del método cuantitativo como cualitativo. Este diseño nos permite analizar el impacto de las sequías desde diferentes ángulos, entendiendo no solo sus efectos directos sobre el Canal de Panamá, sino

también las posibles estrategias de respuesta desde la gestión del agua y la planificación estratégica.

El estudio se enfoca en analizar cómo las sequías, han afectado la operatividad y la rentabilidad del Canal, tomando como base tres períodos específicos en los que se presentaron eventos climáticos extremos: los años 2015, 2019 y el período 2023-2024. En esos años se registraron reducciones significativas en las precipitaciones que impactaron el funcionamiento del canal, tanto en lo operativo (número de tránsitos, restricciones de calado) como en lo económico (caída en ingresos, medidas de contingencia).

Para abordar esta temática, se emplea un enfoque cuantitativo que permite analizar datos como los niveles de embalses, las precipitaciones, la cantidad de tránsitos de buques y los ingresos reportados, por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP). Al mismo tiempo, se recurre al enfoque cualitativo, para interpretar documentos técnicos, informes institucionales, declaraciones públicas y políticas adoptadas en esos años, lo cual ayuda a contextualizar las respuestas aplicadas ante cada evento de sequía.

En conjunto, este diseño de investigación nos brinda una visión integral del problema, permitiéndonos no solo describir lo ocurrido, sino también identificar qué estrategias podrían implementarse, para mejorar la resiliencia del Canal de Panamá frente a futuros escenarios de escasez hídrica.

Este tipo de muestra es adecuado en investigaciones aplicadas con enfoque cualitativo o mixto, ya que permite profundizar en el análisis a partir de experiencias especializadas y documentación institucional confiable. Entre las fuentes consultadas se incluyen informes técnicos de la ACP, estudios académicos, reportes climáticos, notas de prensa especializadas y entrevistas con profesionales del sector hídrico y logístico.

Gracias a esta estrategia, fue posible acceder a información precisa y contextualizada, tanto desde la perspectiva técnica, como desde el punto de vista económico y ambiental, lo cual fortalece el análisis general del estudio.

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para esta investigación se planea utilizar diversas técnicas e instrumentos de recolección de datos, acordes al enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo) del estudio. El objetivo es obtener una visión integral del impacto de las sequías en el Canal de Panamá y de las respuestas institucionales ante este fenómeno.

a) Análisis documental

Se prevé realizar un análisis documental de fuentes secundarias, como informes de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), reportes meteorológicos e hidrológicos, estudios económicos y documentos normativos relacionados con la gestión del agua. Esta técnica permitirá contextualizar los eventos de sequía ocurridos en los años 2015, 2019 y 2023-2024, así como identificar las acciones implementadas en respuesta a dichos eventos.

Entre los documentos a consultar se incluyen planes estratégicos, informes operativos, publicaciones académicas y marcos regulatorios, tanto nacionales como internacionales. El análisis documental será clave para sustentar la parte descriptiva de la investigación y para apoyar el análisis cualitativo de las políticas y estrategias aplicadas.

b) Entrevistas semiestructuradas

Se contempla aplicar entrevistas semiestructuradas a expertos en gestión hídrica, climatología, economía del agua y logística portuaria, así como a funcionarios técnicos y administrativos del Canal de Panamá. Estas entrevistas estarán orientadas a obtener opiniones calificadas, sobre el impacto de las sequías, la efectividad de las medidas adoptadas y las posibles mejoras en la gestión del recurso hídrico.

Las entrevistas seguirán una guía temática flexible, que permita adaptar las preguntas a cada perfil profesional, fomentando respuestas profundas y relevantes para el análisis cualitativo.

c) Encuestas

Adicionalmente, se planea aplicar encuestas a personal técnico y operativo del Canal de Panamá, con el fin de conocer sus percepciones sobre los riesgos asociados a la sequía y las estrategias institucionales implementadas. Las encuestas incluirán preguntas cerradas, con escalas de opinión tipo Likert, y estarán dirigidas a evaluar el nivel de conocimiento, experiencia y evaluación interna sobre las medidas de mitigación aplicadas.

Los resultados esperados permitirían complementar la información documental y cualitativa, aportando datos medibles que fortalezcan el componente cuantitativo del estudio.

3.4 Análisis documental

Año	Precipitaciones (comparado con promedio 2501-2924mm)	Estado de Embalses promedio en m ³ /s(promedio de 182)	Restricciones Operativas	Tonelaje Transportado (millones de toneladas)	Ingreso anual(millones de dolares)	Medidas Implementadas
2015	2309mm (14.87% menos que el promedio)	Nivel: 113 Estado: Críticos	Restricción de calado y reducción de tránsitos	340.8	2610	Restricción de calado, eliminación de asistencia para buques grandes
2017	2503mm (7.72% menos que el promedio)	Nivel: 146 Estado: Normal	Ninguna	403.8	2886	Mantenimiento regular
2019	2551mm (5.96% menos que el promedio)	Nivel: 123 Estado: Bajos	Restricción de calado	469.6	3,366	Ajustes operativos para eficiencia
2021	2605mm (3.97% menos que el promedio)	Nivel: 190 Estado: bueno	Ninguna	516.7	3,959	Mantenimiento regular
2023	2312mm (14.76% menos que el promedio)	Nivel: 102 Críticos	Restricción de calado y tránsitos, Optimización y ahorro de agua en esclusas, Sistema de reservas y priorización	511.1	4,968	Subieron los peajes, así que cobraron más por cada barco, Pasaron buques más grandes, que pagan más.

Fuentes: (Canal de Panamá, 2015, 2017, 2019, 2021, 2023) (Autoridad del Canal de Panamá, 2015, 2017, 2019, 2021, 2023) (Extreme Weather Watch, -)

1. Contexto Climático y Hídrico

La información muestra que los años 2015 y 2023 presentan las precipitaciones más bajas, con reducciones del 14.87% y 14.76% respecto al promedio (2501–2924 mm). Esto coincide con niveles críticos de los embalses: 113 m³/s en 2015 y apenas 102 m³/s en 2023, por debajo del promedio de 182 m³/s. En contraste, 2021 fue el año con mejores condiciones hídricas (2605 mm de lluvia y nivel de embalses de 190 m³/s). (Pinzon, Ishizaki, Sasaki, & Nakaegawa, 2021)

2. Restricciones Operativas y Respuesta Técnica

En 2015 y 2019 enfrentaron restricciones operativas por sequía: principalmente limitaciones de calado (profundidad máxima permitida) y en 2015, reducción de tránsitos.

Para 2023, la respuesta fue mucho más sofisticada y estratégica:

Se redujo el número diario de tránsitos de 36–38 a 32 buques en julio, y luego a 20 buques en febrero 2024.

El calado máximo fue ajustado gradualmente a 13.41 m, afectando la carga que podía transportar cada buque.

Se implementó un sistema obligatorio de reservas, con subastas de espacios para transitar, dando prioridad a buques de contenedores, más rentables y urgentes. En cambio, 2017 y 2021 no requirieron restricciones, lo que refleja un entorno más favorable.

3. Evolución del Tonelaje Transportado

A pesar de restricciones severas en 2023, el tonelaje transportado (511.1 millones de toneladas) fue casi igual al de 2021, cuando no hubo restricciones (516.7 millones), y muy superior al de 2015 (340.8 millones), lo que muestra mejoras en eficiencia.

El canal ha podido compensar reducciones de volumen, a través de mejor planificación y tránsito de buques más grandes y rentables.

4. Ingresos Anuales: Crecimiento Sostenido

El ingreso anual del Canal ha aumentado constantemente: de \$2,610 millones en 2015 a un máximo de \$4,968 millones en 2023, un crecimiento del 90% en ocho años.

Este incremento es particularmente notable en 2023, a pesar de condiciones hídricas críticas, gracias al aumento de tarifas y al tránsito de buques de mayor valor (NeoPanamax).

5. Gestión Estratégica y Adaptación

Las medidas adoptadas en 2023 reflejan un avance significativo en la capacidad adaptativa de la Autoridad del Canal:

- Ajustes tarifarios estratégicos (mayores peajes).
- Mayor control operativo y selección de tránsitos, mediante reservas.
- Innovación en ahorro de agua.

Esto contrasta con 2015, cuando la respuesta fue más limitada (restricciones simples).

Las nuevas esclusas NeoPanamax, inauguradas en 2016, integran sistemas de ahorro de agua (basins) que reutilizan hasta un 60% del agua en cada ciclo. En 2023, estas herramientas fueron clave para mantener operaciones bajo presión extrema.

Además, la ACP implementó medidas como el cross-filling entre cámaras y el tránsito simultáneo de buques cortos en una misma esclusa, reduciendo significativamente el uso total de agua.

6. Efecto Económico: Más Ingresos con Menos Agua

A pesar de operar con restricciones y con niveles críticos de agua, el Canal generó en 2023 su ingreso anual más alto en la década: \$4,968 millones, un incremento del 25.5% frente a 2019, y casi el doble que en 2015.

Este aumento se debió a:

- Subidas en los peajes (tarifas progresivas por tonelada y tipo de buque).
- Tránsito de buques más grandes y valiosos.
- Una estructura tarifaria más eficiente, que aplicaba recargos por condiciones hídricas extremas (como la "tarifa por agua dulce" introducida desde 2020).
- Aunque el tonelaje transportado en 2023 (511.1 millones de toneladas) fue apenas menor que el de 2021 (516.7 millones), los ingresos fueron significativamente mayores, lo que evidencia un modelo financiero sólido.

7. Análisis general

Entre los años 2015 y 2023, el Canal de Panamá enfrentó variaciones significativas en sus condiciones operativas, principalmente influenciadas por cambios en la precipitación y niveles de embalses. En 2015 y 2023, años marcados por sequías severas con precipitaciones muy por debajo del promedio (-14.87 % y -14.76 %, respectivamente) y estados críticos de embalses (113 y 102 m³/s), se implementaron fuertes restricciones de calado y reducción de tránsitos, lo que en

2015 redujo el tonelaje transportado a 340.8 millones de toneladas y los ingresos a \$2,610 millones. No obstante, en 2023, a pesar de condiciones similares, los ingresos alcanzaron un récord de \$4,968 millones gracias a medidas estratégicas como la implementación de sistemas de reservas, subastas, priorización de buques más grandes y un aumento de peajes, lo que compensó las limitaciones hídricas y permitió mantener un alto tonelaje de 511.1 millones de toneladas. En contraste, los años 2017 y 2021 registraron mejores condiciones hídricas (146 y 190 m³/s), sin restricciones operativas y con mantenimientos regulares, permitiendo una operación fluida con ingresos de \$2,886 millones y \$3,959 millones, respectivamente. El 2019, con lluvias moderadamente bajas (-5.96 %) y niveles bajos de embalses (123 m³/s), exigió ajustes operativos y restricciones de calado, pero aun así logró un alto tonelaje (469.6 millones de toneladas) e ingresos de \$3,366 millones.

3.5 Entrevista con expertos

En entrevista a Ilya Espino de Marotta, primera jefa de sostenibilidad de la publicada para el medio Context/Fundación Thomson Reuters la ingeniera Ilya Espino de Marotta, nombrada en enero de 2024 como la primera directora de sostenibilidad de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), abordó con franqueza los enormes desafíos que enfrenta actualmente la vía interoceánica debido a los efectos del cambio climático, en particular la escasez de agua. Desde su posición, Marotta tiene la responsabilidad de reducir la huella de carbono del canal y, simultáneamente, asegurar la disponibilidad de recursos hídricos tanto para la operación de las esclusas como para el consumo humano de millones de panameños.

Durante la entrevista, Espino de Marotta destacó que el Canal de Panamá está viviendo una transformación profunda en su relación con el agua. A diferencia de décadas anteriores, en las que las sequías extremas eran un fenómeno esporádico (una vez cada 15 o 20 años), la nueva realidad climática muestra un patrón de escasez creciente: se registraron años secos en 2016, 2019 y 2023, afectando significativamente el lago Gatún, principal embalse de agua dulce del canal. El 2023 fue particularmente alarmante, con la menor cantidad de lluvia registrada en octubre desde 1950, a lo cual se sumaron temperaturas récord intensificadas por el fenómeno de El Niño, que incrementaron la evaporación del lago.

Cada tránsito por las esclusas del canal consume cerca de 193 millones de litros de agua dulce del lago Gatún. Esta misma fuente también abastece a aproximadamente el 50% de la población panameña, lo que ha puesto a la ACP en una posición complicada: garantizar, tanto la sostenibilidad económica del canal como el acceso a agua potable para millones de personas. "Cuando pensamos en cuántas personas toman agua de los lagos, le damos prioridad al consumo humano", afirmó Espino de Marotta. Sin embargo, también advirtió que el canal representa una columna vertebral de la economía nacional, aportando alrededor del 3% del PIB de Panamá en 2022.

Las restricciones al tránsito de embarcaciones iniciadas en 2023 la primera vez en más de un siglo de historia que se toman medidas de este tipo, por motivos climáticos redujeron el número de cruces diarios de 36 a 24 barcos. Esto no solo afectó el comercio mundial (el canal maneja aproximadamente el 3% del tráfico

marítimo global, o 270 mil millones de dólares anuales en carga), sino que también generó pérdidas mensuales estimadas en 100 millones de dólares para la ACP.

Ante esta situación, Espino de Marotta explicó que la ACP ha implementado diversas estrategias de mitigación. Entre ellas, el llenado cruzado de esclusas, que reutiliza el agua entre cámaras y permite ahorrar lo equivalente a seis tránsitos por día, y las maniobras en tándem, que permiten a dos barcos compartir una esclusa. También se ha suspendido la asistencia hidráulica a los capitanes, lo que representa un ahorro adicional. A esto se suman acciones de restauración forestal en la cuenca hidrográfica, reconociendo el “efecto esponja” de los bosques para conservar y regular el flujo de agua, sobre todo en años extremos de lluvia o sequía.

Además, la ACP lidera programas de incentivos para las comunidades rurales que habitan en la cuenca, ofreciendo pagos anuales por hectárea para conservar los bosques y promover prácticas sostenibles. Esto busca conectar la conservación ambiental con beneficios económicos concretos, lo cual es esencial para el compromiso comunitario, según Espino de Marotta y otros funcionarios de la entidad.

No obstante, reconoció que estas medidas no son suficientes ante la magnitud del problema. Por ello, la ACP ha planteado la necesidad urgente de construir un nuevo embalse en el río indio, a unos 120 km del canal. Este megaproyecto, estimado en 1.200 millones de dólares, implicaría perforar un túnel de ocho kilómetros para transferir agua desde el nuevo embalse al Lago Gatún. Según los cálculos presentados por Espino de Marotta, esta obra permitiría añadir entre 11 y 15

tránsitos adicionales por día y garantizar la disponibilidad de agua potable y operativa hasta el año 2075.

Sin embargo, el proyecto enfrenta desafíos sociales y políticos, ya que afectaría a cerca de 2.500 personas y requeriría el consentimiento libre, previo e informado de unas 230 comunidades ribereñas del río Indio. Aunque legalmente la ACP no necesita autorización para proceder, Espino de Marotta enfatizó que no se debe avanzar sin primero dialogar con las comunidades, asegurando que estas serán escuchadas y atendidas en un proceso transparente. Reconoció que la ACP no tiene una presencia histórica significativa en esa zona, por lo que será necesaria una estrategia intensa de comunicación para generar confianza y entendimiento.

La entrevista concluye reflejando la gran tensión entre las necesidades estratégicas del país y los derechos y preocupaciones de las comunidades locales. Según Espino de Marotta, el canal debe redefinirse para operar bajo condiciones de mínima disponibilidad hídrica, y eso solo será posible con inversión, innovación tecnológica y gobernanza sensible a las nuevas realidades sociales y ambientales del siglo XXI (Marotta, 2024)

3.6 Población y muestra

Población:

La población objetivo de esta investigación está conformada por personal técnico y administrativo de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), así como por expertos en áreas clave relacionadas con la problemática estudiada, como hidrología, climatología, economía del agua y logística portuaria. Estas personas, por su

experiencia profesional y su relación directa con la operación del canal y la gestión de recursos hídricos, cuentan con conocimientos fundamentales para comprender el impacto de las sequías sobre el funcionamiento de la vía interoceánica.

También se considera como parte de la población a instituciones productoras de datos e informes relevantes, como el Instituto de Meteorología e Hidrología, universidades, centros de investigación y organismos internacionales que han documentado eventos climáticos extremos y su repercusión en la región canalera.

Muestra:

La muestra utilizada en este estudio es de tipo intencional y por conveniencia, ya que se seleccionaron personas clave y fuentes institucionales directamente vinculadas con el tema de investigación. La elección no se basa en criterios estadísticos de representatividad, sino en la relevancia de la información que pueden aportar para comprender tanto los efectos de las sequías como las respuestas técnicas y estratégicas que se han considerado o implementado.

Se aplicaron encuestas que permitieron conocer de forma directa la opinión de los colaboradores de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP). Por tanto, se utilizó un método probabilístico que permite estimar la tendencia general de la opinión dentro de esta institución.

La población objeto de estudio en esta investigación está conformada por el personal de la ACP, cuya plantilla se estima en aproximadamente 9,000 personas. Se consideraron empleados con edades comprendidas entre los 18 y 65 años, sin distinción de sexo, nivel educativo ni cargo. Participaron colaboradores desde el

nivel técnico hasta posiciones gerenciales, lo cual permitió obtener una visión amplia y representativa de la percepción interna sobre la temática abordada.

El muestreo parte una vez determinada la población, en este caso, los trabajadores de la ACP. A partir de esta población se extrajo una muestra que permite realizar inferencias estadísticas confiables y llegar a conclusiones bien fundamentadas.

Se aplicaron encuestas que permitieron conocer de forma directa la opinión de los colaboradores de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP). Por tanto, se utilizó un método probabilístico que permite estimar la tendencia general de la opinión dentro de esta institución.

La población objeto de estudio en esta investigación está conformada por el personal de la ACP, cuya plantilla se estima en aproximadamente 9,000 personas. Se consideraron empleados con edades comprendidas entre los 18 y 65 años, sin distinción de sexo, nivel educativo ni cargo. Participaron colaboradores desde el nivel técnico hasta posiciones gerenciales, lo cual permitió obtener una visión amplia y representativa de la percepción interna sobre la temática abordada. El muestreo

Total de la población (N) (Si la población es infinita, dejar la casilla en blanco)	9000
Nivel de confianza o seguridad (1-α) (El nivel de confianza puede ser al 95% o 99%)	95%
Precisión (d)	3
Varianza (s²) (De la variable cuantitativa que se supone que existe en la población)	250
TAMAÑO MUESTRAL (n)	105
EL TAMAÑO MUESTRAL AJUSTADO A PÉRDIDAS	
Proporcion esperada de pérdidas (R)	15%
MUESTRA AJUSTADA A LAS PÉRDIDAS	124

Gráfico 1-Cálculo de muestra

partió de la delimitación de esta población. A partir de ella, se calculó que el tamaño muestral ideal debía ser de al menos 123 personas para garantizar una representatividad estadística adecuada. Sin embargo, debido al corto tiempo disponible para la recolección de datos, no se logró alcanzar este número, sin embargo, no es mucha la diferencia. Aun así, los resultados obtenidos permiten identificar tendencias generales y aportar conclusiones relevantes para el análisis.

3.6.1 Análisis de los resultados de la encuesta

Resumen de procesamiento de

casos

		N	%
Casos	Válido	94	93.1
	Excluido	7	6.9
	Total	101	100.0

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

Estadísticas de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
.802	25

Con relación a los resultados que se presentarán más adelante el Alfa de Cronbach de 0.802 indica que la escala o el cuestionario que está evaluando tiene una buena consistencia interna. En otras palabras, los ítems o preguntas que componen esa escala están bastante relacionados entre sí y miden de manera coherente el mismo concepto o constructo. Sugiere que la herramienta es confiable para obtener datos

consistentes. La herramienta estadística utilizada fue Excel versión 365 y Spss. Versión 21.

Encuesta dirigida a trabajadores del Canal de Panamá

1. ¿Cuál es tu sexo?

Pregunta	Porcentaje	Encuestado
Masculino	63,3%	67
Femenino	33,7%	34

101 respuestas

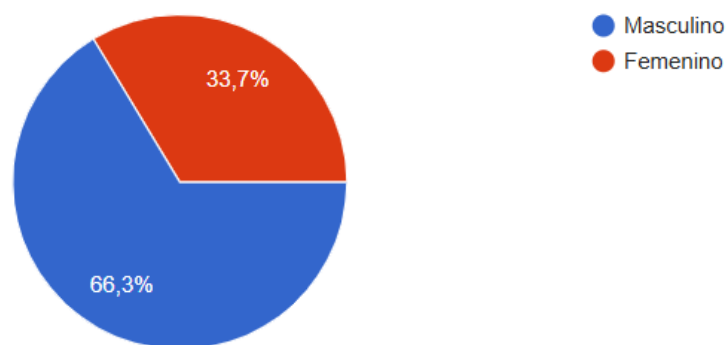


Gráfico 2- Sexo

Análisis:

La participación de esta encuesta fue de 101 personas. En la primera pregunta de la encuesta, correspondiente al sexo de los participantes, se obtuvo un total de 101 respuestas. De estas, el 66.3 % corresponde al sexo masculino y el 33.7 % al sexo femenino. Este resultado evidencia una notable predominancia de hombres entre los encuestados, lo cual puede estar vinculado a la composición actual de los

sectores profesionales asociados al Canal de Panamá, como lo son la logística, la ingeniería, el transporte marítimo y la administración de recursos hídricos, donde históricamente se ha observado una mayor participación masculina. Sin embargo, la representación femenina, aunque minoritaria, es significativa y sugiere una creciente inclusión de mujeres en áreas técnicas y estratégicas del sector. Esta distribución por sexo resulta relevante al momento de interpretar los datos de percepción y conocimiento relacionados con las sequías y las medidas de mitigación en el Canal, ya que puede influir en la forma en que los participantes valoran los impactos climáticos, las soluciones propuestas y la gestión institucional. Por tanto, esta variable no solo permite caracterizar demográficamente a la muestra, sino que también abre la posibilidad de explorar, en etapas posteriores del análisis, si existen diferencias perceptivas o valorativas entre hombres y mujeres respecto al tema central del estudio

2. ¿En qué rango de edad se encuentra?

Pregunta	Porcentaje	Encuestado
18 a 25 años	13,9%	14
26 a 35 años	26,7%	27
36 a 45 años	33,7%	34
46 a 55 años	15,8%	16
Mas de 55 años	9,9%	10

101 respuestas

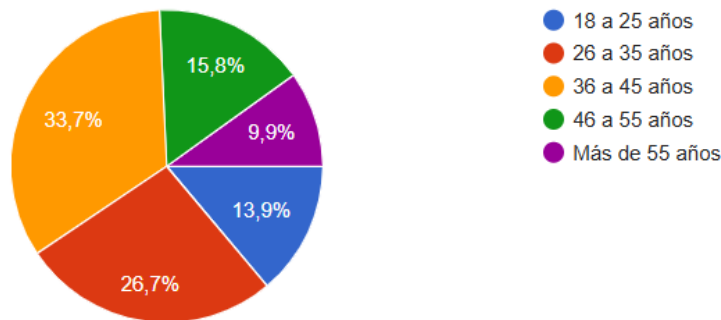


Gráfico 3-Edad

Análisis:

En la distribución por rangos de edad de los 101 encuestados, se observa una clara concentración en los grupos de personas entre 26 y 45 años. El 33.7 % de los participantes se encuentra en el rango de 36 a 45 años, seguido por un 26.7 % entre los 26 y 35 años. Esta mayoría relativa representa una población en edad productiva activa, que probablemente se encuentra vinculada directamente al entorno laboral y profesional relacionado con la operación, logística o gestión del Canal de Panamá. Este dato es significativo, ya que se trata de una cohorte que, por su formación o experiencia, tiene mayor probabilidad de comprender y valorar el impacto de fenómenos como las sequías, sobre infraestructuras estratégicas.

Los grupos etarios de 18 a 25 años (13.9 %) y de 46 a 55 años (15.8 %) tienen una presencia menor, pero relevante aportando una visión más diversa en términos de trayectoria y perspectiva generacional. Por su parte, el grupo de personas mayores de 55 años representa solo el 9.9 %, lo cual puede interpretarse como una baja

participación de jubilados o profesionales senior, quizás por menor exposición directa a entornos digitales o al tema específico del estudio.

3. ¿Puesto que ocupa en el Canal?

Pregunta	Porcentaje	Encuestado
Gerencia	0%	0
Supervisor	9,9%	10
Personal técnico	21,8%	22
Personal administrativo	34,7%	35
Personal operativo	27,7%	28
Investigador	4%	4
Aseo	1%	1
Practicante	1%	1

101 respuestas

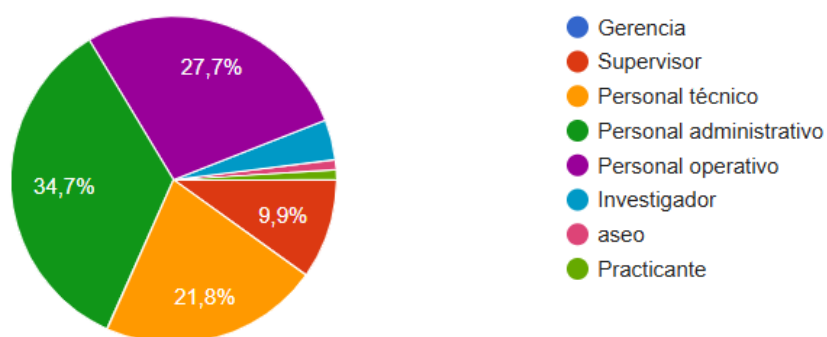


Gráfico 4-Puesto en el canal

Análisis:

La encuesta aplicada al personal de la ACP revela una participación mayoritaria de los niveles operativos y administrativos, lo que proporciona una visión desde la base de la estructura organizativa, sobre los efectos de las sequías y las medidas de mitigación implementadas. Esta composición de la muestra permite comprender cómo se perciben los desafíos climáticos desde quienes ejecutan las operaciones diarias del Canal.

El hecho de que más del 60 % de los encuestados pertenezcan a áreas administrativas y operativas sugiere que las medidas de mitigación han tenido un impacto directo en la rutina laboral, lo cual puede influir en su percepción sobre la efectividad y sostenibilidad de dichas acciones.

Además, la presencia de investigadores y practicantes, aunque mínima, indica una apertura institucional hacia la inclusión de nuevas perspectivas y enfoques académicos.

En conjunto, los resultados de la encuesta reflejan una conciencia generalizada sobre la gravedad del problema hídrico y una disposición a participar en soluciones, aunque, evidencian la necesidad de fortalecer la comunicación y coordinación entre los distintos niveles jerárquicos de la ACP para enfrentar de manera integral los efectos del cambio climático, sobre el Canal de Panamá.

4. ¿Cuántos años lleva trabajando en el Canal de Panamá?

Pregunta	Porcentaje	Encuestado
Menos de 1 año	5,9%	6
1 a 3 años	16,8%	17
4 a 6 años	37,6%	38
7 a 10 años	24,8%	25
11 a 15 años	8,9%	9
Mas de 15 años	5,9%	6

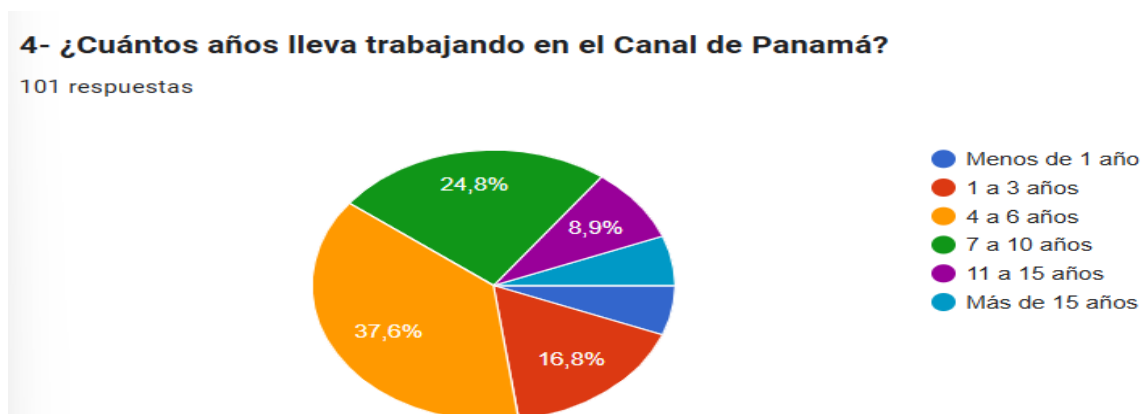


Gráfico 5- Años trabajando

Análisis

La mayoría de los encuestados tiene una experiencia laboral que les permite haber vivido directamente al menos dos eventos de sequía importantes, lo que fortalece la validez de sus respuestas. Esta experiencia acumulada es clave para evaluar la efectividad de las medidas de mitigación implementadas por la ACP. Además, la presencia de personal nuevo y veterano permite contrastar percepciones entre

quienes, han vivido transformaciones institucionales y quienes se integran en un contexto, ya marcado por la crisis climática.

5. ¿Ha experimentado personalmente impactos operativos debido a sequías en el Canal de Panamá, durante los últimos años (2015, 2019, 2023)?

Pregunta	Porcentaje	Encuestado
Si	81,2%	82
No	2%	2
No estoy seguro	16,8%	17

101 respuestas

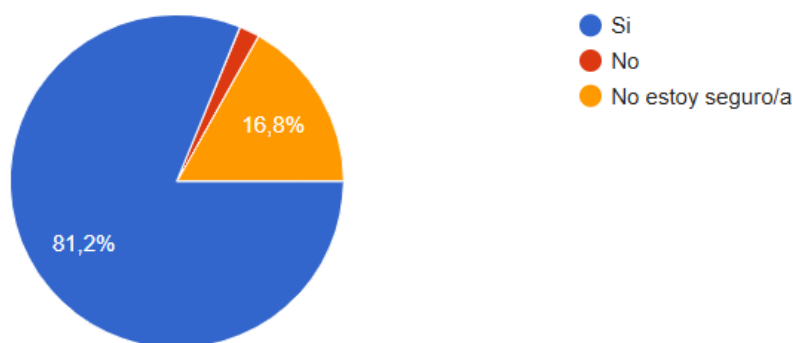


Gráfico 6-Impactos operativos

Análisis

Los resultados reflejan una percepción ampliamente compartida sobre los efectos operativos de las sequías, en el Canal de Panamá. Más del 80 % del personal encuestado reconoce haber sido afectado, lo que valida la importancia del tema abordado en la tesis. Esta percepción generalizada sugiere que las medidas de mitigación y adaptación no solo deben diseñarse desde una perspectiva técnica o

económica, sino también considerando el impacto humano y operativo en el día a día de quienes trabajan en la ACP.

6. En su opinión, ¿Qué tan afectada se ha visto la operatividad del Canal durante los períodos de sequía?

Pregunta	Porcentaje	Encuestado
Muy afectada	19,8%	20
Afectada	28,7%	29
Regular	39,6%	40
Poco afectada	11,9%	12
Nada afectada	0%	0

101 respuestas

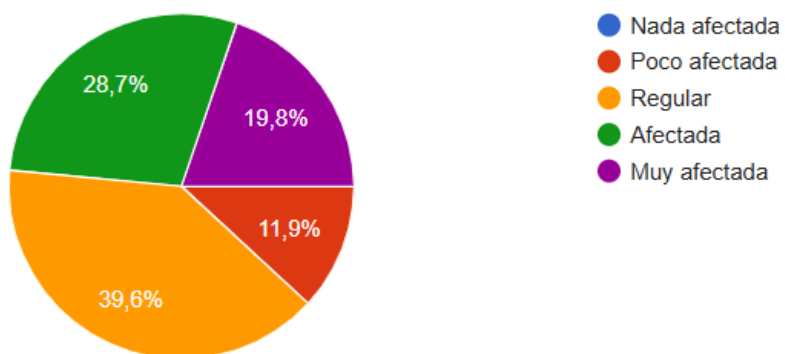


Gráfico 7-operatividad sequía

Análisis

Los resultados muestran que existe una percepción generalizada entre el personal de la ACP de que las sequías, han afectado la operatividad del Canal, aunque con distintos niveles de intensidad. La mayoría reconoce un impacto moderado, mientras que, una parte significativa lo percibe como severo. Esta diversidad de opiniones puede estar relacionada con el área de trabajo de cada encuestado, el nivel de exposición a las operaciones críticas o el grado de conocimiento sobre las medidas de mitigación aplicadas. En conjunto, estos datos validan la importancia del tema abordado en la tesis y refuerzan la necesidad de seguir fortaleciendo la resiliencia operativa del Canal, frente a eventos climáticos extremos.

7- ¿Considera que las restricciones en el calado de los buques han limitado el tránsito, por el canal durante las sequías?

Pregunta	Porcentaje	Encuestado
Muchísimo	14,9%	15
Mucho	44,6%	45
Regular	30,7%	31
Poco	7,9%	8
Nada	2%	2

101 respuestas

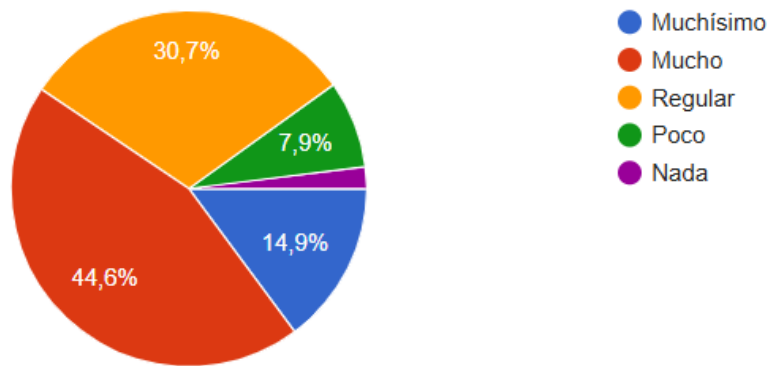


Gráfico 8-Restricciones de calado

Análisis

Los resultados reflejan una percepción generalizada de que las restricciones en el calado de los buques una de las principales medidas adoptadas, durante las sequías ha tenido un impacto considerable en el tránsito por el Canal de Panamá. Más del 59 % de los encuestados considera que estas restricciones, han limitado el tránsito de forma significativa, lo que, valida su inclusión como una variable crítica en el análisis de la operatividad del Canal, durante eventos de escasez hídrica. Esta percepción sugiere que el personal está consciente de las implicaciones técnicas y económicas de estas decisiones operativas

7. ¿Considera que las restricciones en el número de tránsitos durante sequías han impactado significativamente los ingresos del Canal?

Pregunta	Porcentaje	Encuestado
Muchísimo	15,8	16
Mucho	47,5	48
Regular	30,7	31
Poco	5,9	6
Nada	0	0

8- ¿Considera que las restricciones en el número de tránsitos durante sequías han impactado significativamente los ingresos del Canal?

101 respuestas

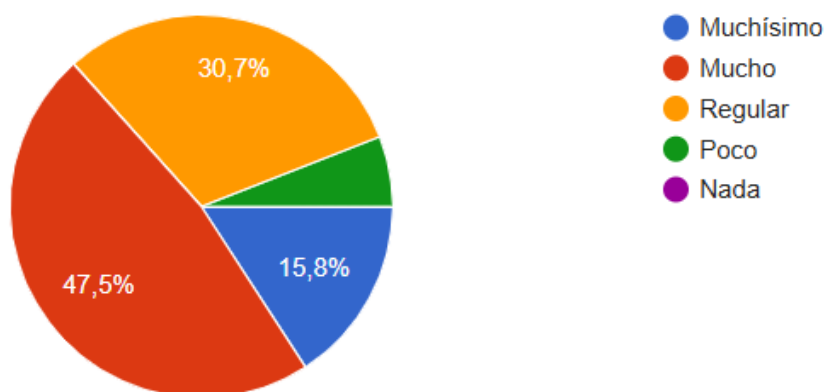


Gráfico 9-restricciones número de tránsitos

Análisis

Los resultados evidencian una percepción generalizada de que las restricciones en el número de tránsitos, durante las sequías, han tenido un efecto negativo significativo sobre los ingresos del Canal de Panamá. Más del 63 % de los encuestados considera que el impacto ha sido alto, lo que valida los datos

económicos presentados en la tesis sobre pérdidas millonarias durante los eventos de sequía. Esta percepción también demuestra que el personal está consciente de la relación directa entre las decisiones operativas y la sostenibilidad financiera del Canal.

9. ¿La Autoridad del Canal de Panamá (ACP) cuenta con una gestión hídrica adecuada, para enfrentar sequías?

Pregunta	Porcentaje	Encuestado
Totalmente de acuerdo	27,7%	28
De acuerdo	47,5%	48
Indiferente	14,9%	15
En desacuerdo	5,9%	6
Totalmente en desacuerdo	4%	4

101 respuestas

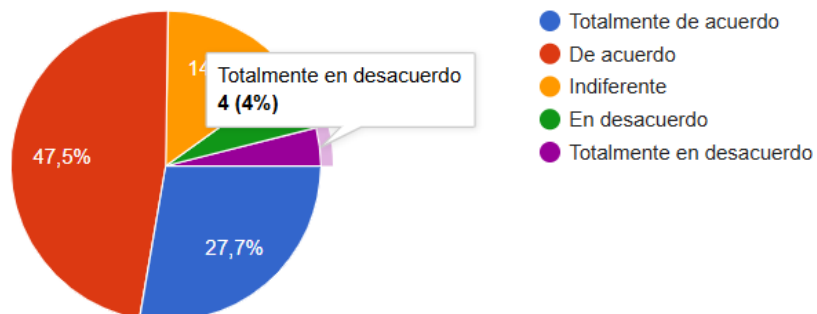


Gráfico 10-Cuenta con gestión?

Los resultados muestran una percepción predominantemente positiva sobre la gestión hídrica de la ACP frente a las sequías. Más de tres cuartas partes del personal encuestado confía en la capacidad institucional, para enfrentar estos desafíos, lo cual es coherente con los resultados documentados en tu tesis, donde se destacan medidas como: el uso de tecnologías de ahorro de agua, ajustes tarifarios estratégicos y planificación operativa eficiente.

Esta percepción de confianza institucional es clave para la implementación exitosa de futuras estrategias de adaptación y sostenibilidad hídrica, ya que el respaldo del personal fortalece la legitimidad y efectividad de las decisiones operativas.

10. Conoce el plan estratégico del canal para mitigar el impacto de las sequías y así proteger los ingresos del Canal de Panamá

Pregunta	Porcentaje	Encuestado
muchísimo	9,9%	10
Mucho	53,5%	54
Regular	29,7%	30

Poco	5,9%	6
Nada	1%	1

101 respuestas

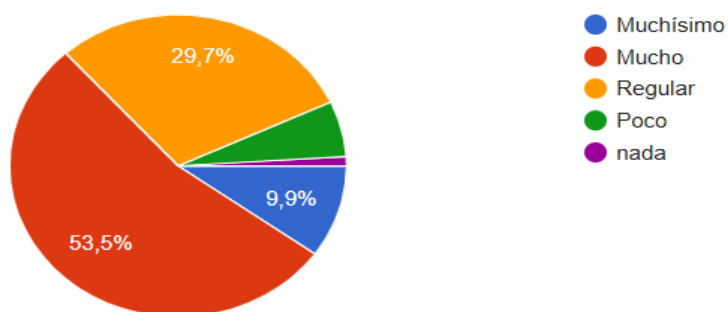


Gráfico 11-Plan estratégico

Análisis

La mayoría del personal encuestado tiene un conocimiento significativo sobre el plan estratégico del Canal para enfrentar las sequías, lo cual es positivo y coherente con la percepción favorable sobre la gestión hídrica institucional (como se vio en la pregunta 9). Sin embargo, el hecho de que casi un tercio tenga un conocimiento solo “regular” y un pequeño grupo “poco o nada” sugiere que aún hay margen para fortalecer la comunicación interna y la capacitación sobre las estrategias de mitigación.

Esto es especialmente importante considerando que el éxito de estas estrategias depende no solo de su diseño técnico, sino también de su comprensión y apropiación por parte de quienes las ejecutan.

11. El plan estratégico del canal para mitigar los efectos de la sequía ha sido efectivo

Pregunta	Porcentaje	Encuestado
Totalmente de acuerdo	11,9%	12
De acuerdo	58,4%	59
Indiferente	25,7%	26
En desacuerdo	3%	3
Totalmente en desacuerdo	1%	1

101 respuestas

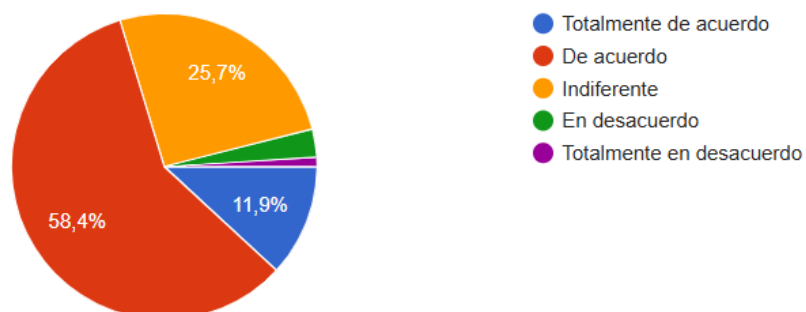


Gráfico 12- Ha sido efectivo el plan?

Análisis

Los resultados muestran que existe una amplia percepción de que el plan estratégico del Canal ha sido efectivo, para enfrentar las sequías, lo cual está en línea con los datos documentados en tu tesis: a pesar de las condiciones hídricas críticas en 2023, el Canal logró mantener su operatividad y alcanzar ingresos récord gracias a medidas como subastas, tarifas diferenciadas, ahorro de agua y priorización de buques.

La presencia de un grupo “indiferente” sugiere que aún hay espacio para mejorar la comunicación interna y la visibilidad de los logros del plan, especialmente entre el personal operativo y administrativo.

12. ¿Qué tan preparado considera que está el personal técnico y operativo para enfrentar eventos de sequía?

Pregunta	Porcentaje	Encuestado
Muy preparado	21,8%	22
Preparada	61,4%	62
Medianamente preparado	14,9%	15
Poco preparado	0%	0
Nada preparado	2%	2

101 respuestas

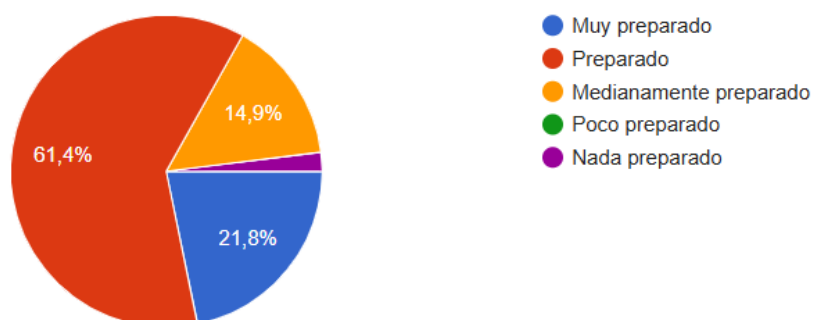


Gráfico 13-Preparacion personal

Análisis

Los resultados reflejan una percepción ampliamente positiva sobre el nivel de preparación del personal técnico y operativo del Canal de Panamá, frente a eventos de sequía. Esta percepción es coherente con los logros documentados en tu tesis, donde se destaca la implementación exitosa de medidas operativas complejas durante la crisis hídrica de 2023–2024.

La confianza en el recurso humano es un pilar clave para la resiliencia institucional. No obstante, el grupo que considera una preparación “medianamente adecuada” sugiere que aún hay espacio para reforzar la formación continua, especialmente ante un escenario climático cada vez más incierto.

13. Cuáles son los elementos que se consideran de preparación para un evento de sequía: En donde 1: totalmente en desacuerdo, 2: en desacuerdo, 3: indiferente, 4: de acuerdo y 5 es totalmente de acuerdo

Numeración	Reciclaje del agua que se usa en el canal	Sistemas de monitoreo climático y alerta tempranas	Incremento del costo de los peajes	Restricción de calado	Reducción de tránsito
1. Totalmente en desacuerdo	4	1	1	0	1
2.En desacuerdo	5	2	6	5	3
3. Indiferente	3	9	14	10	6

4. De acuerdo	59	47	53	49	44
5. Totalmente de acuerdo	32	42	28	37	47

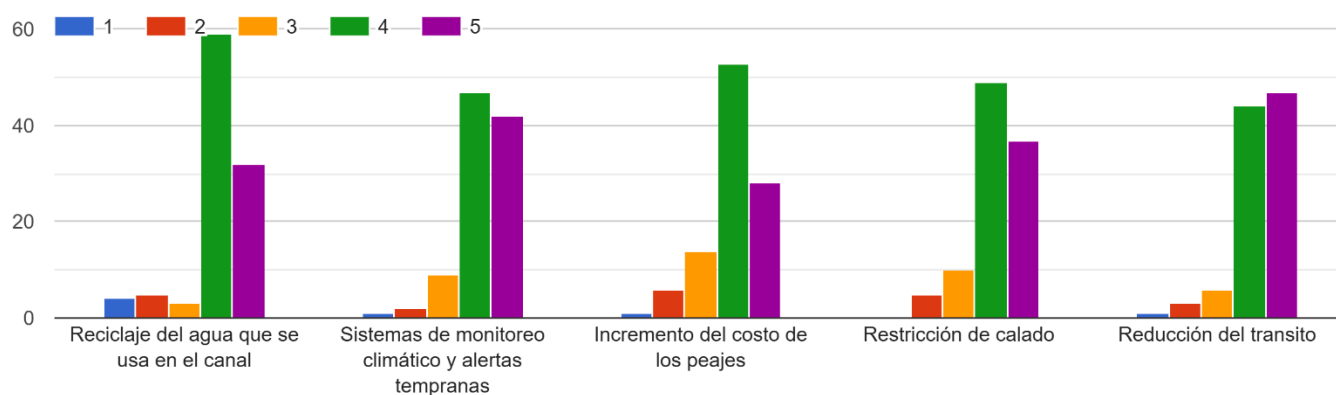


Gráfico 14-Elementos para preparación

Análisis

El personal del Canal de Panamá muestra un alto nivel de alineación con las estrategias institucionales, para enfrentar las sequías. Existe un consenso claro sobre la efectividad de las medidas técnicas (reciclaje de agua, monitoreo climático) y operativas (restricción de calado, reducción de tránsito). Aunque el incremento de peajes es menos popular, sigue siendo reconocido como parte del conjunto de herramientas necesarias, para proteger los ingresos del Canal, en contextos de escasez hídrica.

Este respaldo generalizado refuerza la legitimidad de las acciones adoptadas por la ACP y sugiere que el personal está preparado y comprometido con la sostenibilidad operativa del Canal.

14. ¿Cuáles tecnologías o prácticas para ahorrar agua o gestionar el agua durante las sequías se han implementado, en su área de trabajo? En dónde 1: totalmente en desacuerdo, 2: en desacuerdo, 3: indiferente, 4: de acuerdo y 5 es totalmente de acuerdo

Numeración	Programación optimizada de tránsitos	Sensores de nivel y caudal en embalses y esclusas	Software de modelación hidrológica y predicción de sequías	Drones para monitoreo de cuencas y cuerpos de agua	Recolección y reutilización de aguas pluviales
1. Totalmente en desacuerdo	7	2	1	2	4
2. En desacuerdo	3	3	0	3	1
3. Indiferente	16	11	11	9	5
4. De acuerdo	53	48	48	53	51
5. Totalmente de acuerdo	22	38	42	35	41

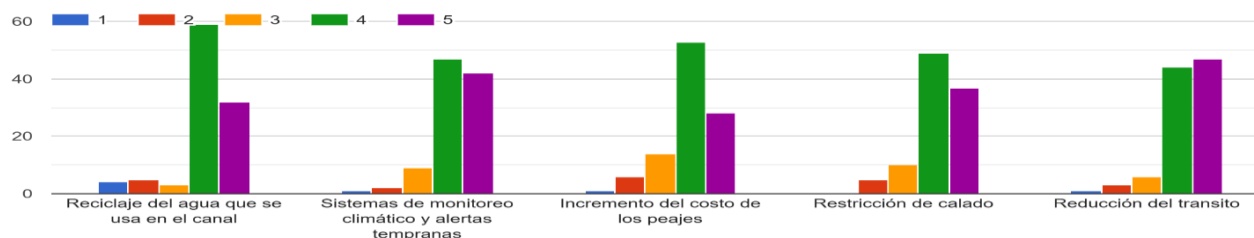


Gráfico 15-Técnicas o prácticas

Análisis

Los resultados reflejan una percepción muy positiva sobre la implementación de tecnologías y prácticas de gestión hídrica en el Canal de Panamá. El personal reconoce ampliamente el uso de herramientas modernas como sensores, software predictivo, drones y sistemas de recolección de agua, lo que valida el enfoque tecnológico adoptado por la ACP para enfrentar las sequías.

Esta percepción refuerza la idea de que la institución no solo ha reaccionado ante las crisis, sino que ha invertido en innovación y planificación anticipada, elementos clave, para la sostenibilidad operativa del Canal.

15. ¿Considera importante que el Canal desarrolle estrategias integradas con otras instituciones nacionales, para la gestión del recurso hídrico?

Pregunta	Porcentaje	Encuestado
Si, muy importante	41,6%	42
Importante	36,6%	37

Algo importante	19,8%	20
Poco importante	2%	2
No es importante	0%	0

101 respuestas

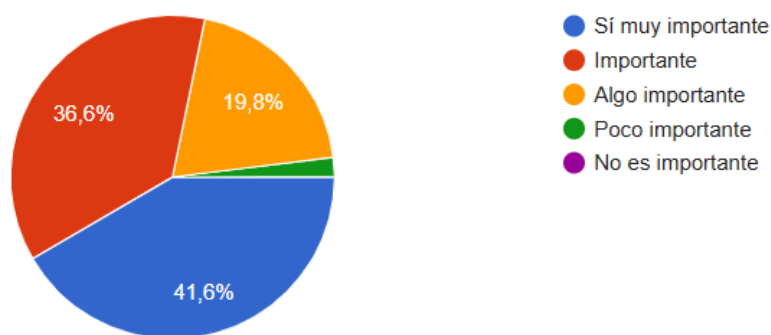


Gráfico 16-Importancia de la estrategia

Análisis

Los resultados muestran un respaldo abrumador a la idea de que el Canal de Panamá debe trabajar en conjunto con otras instituciones nacionales para gestionar el recurso hídrico. Esta percepción es coherente con los principios de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), que promueve la coordinación entre sectores, niveles de gobierno y actores sociales para garantizar la sostenibilidad del agua.

Este respaldo también refuerza la legitimidad de políticas públicas que busquen articular esfuerzos entre la ACP, el Ministerio de Ambiente, el IDAAN, gobiernos locales y comunidades, especialmente en un contexto de cambio climático y creciente presión sobre los recursos hídricos.

16. De las siguientes estrategias cuáles considera importante. En donde 1: totalmente en desacuerdo, 2: en desacuerdo, 3: indiferente, 4: de acuerdo y 5 es totalmente de acuerdo

Numeración	Programa de Incentivos para la Conservación de Cuencas Hidrográficas	Sistema de Alerta Temprana en la Cuenca del Canal	Plan de Ordenamiento Territorial de la Cuenca del Canal	Educación Ambiental y Participación Comunitaria	Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) Interinstitucional
1. Totalmente desacuerdo	7	0	0	1	2
2. En desacuerdo	4	2	4	1	3
3. Indiferente	14	14	14	9	11
4. De acuerdo	38	47	39	42	45

5.	39	39	44	48	40
Totalmente de acuerdo					

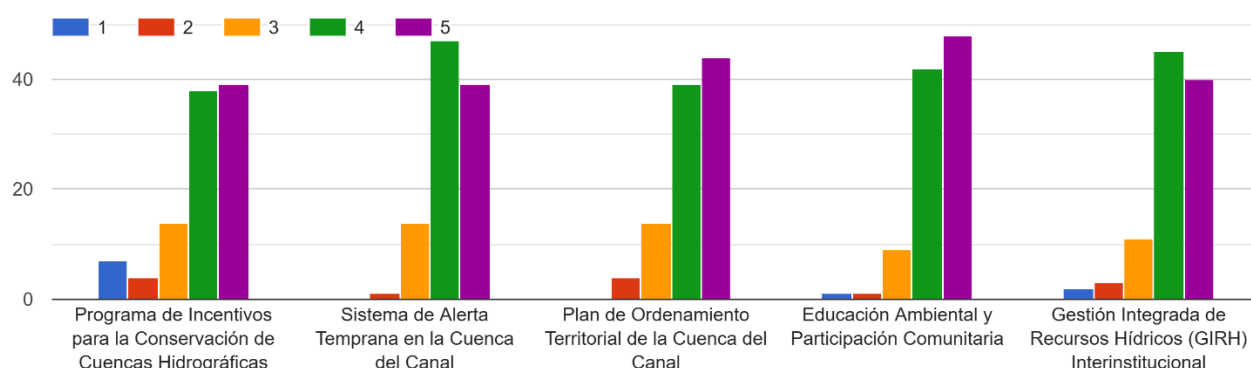


Gráfico 17-Nuevas medidas

Análisis

Los resultados reflejan una alta conciencia institucional sobre la necesidad de estrategias integradas y multidimensionales para la gestión del agua en el Canal de Panamá. El personal reconoce la importancia de combinar herramientas técnicas (alertas, ordenamiento), sociales (educación y participación) y políticas (GIRH, incentivos) para enfrentar los desafíos hídricos actuales y futuros.

Este respaldo generalizado valida el enfoque adoptado por la ACP y sugiere que existe una base sólida, para implementar políticas públicas más ambiciosas y colaborativas, en torno a la sostenibilidad hídrica.

17. ¿Está dispuesto/a participar en futuras actividades de formación o capacitación relacionadas con la gestión hídrica y planificación estratégica para sequías?

Pregunta	Porcentaje	Encuestado
Totalmente de acuerdo	37,6%	38
De acuerdo	48,5%	49
Indiferente	12,9%	13
En desacuerdo	1%	1
Totalmente en desacuerdo	0%	0

101 respuestas

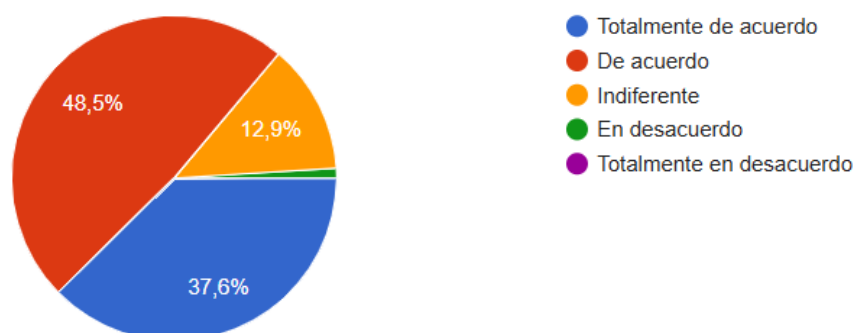


Gráfico 18-De acuerdo en capacitarse

Análisis

Los resultados muestran una actitud altamente positiva hacia la capacitación en gestión hídrica y planificación estratégica ante sequías. Esta disposición es un activo institucional valioso, ya que garantiza que las futuras estrategias de adaptación y sostenibilidad contarán con un personal comprometido y dispuesto a actualizar sus conocimientos. Además, este resultado refuerza la viabilidad de

implementar programas de formación interna, talleres interinstitucionales y espacios de aprendizaje colaborativo, como parte de una política de resiliencia climática a largo plazo.

18. Desde su perspectiva, ¿Qué medidas adicionales podrían mejorar la resiliencia del Canal ante futuras sequías?

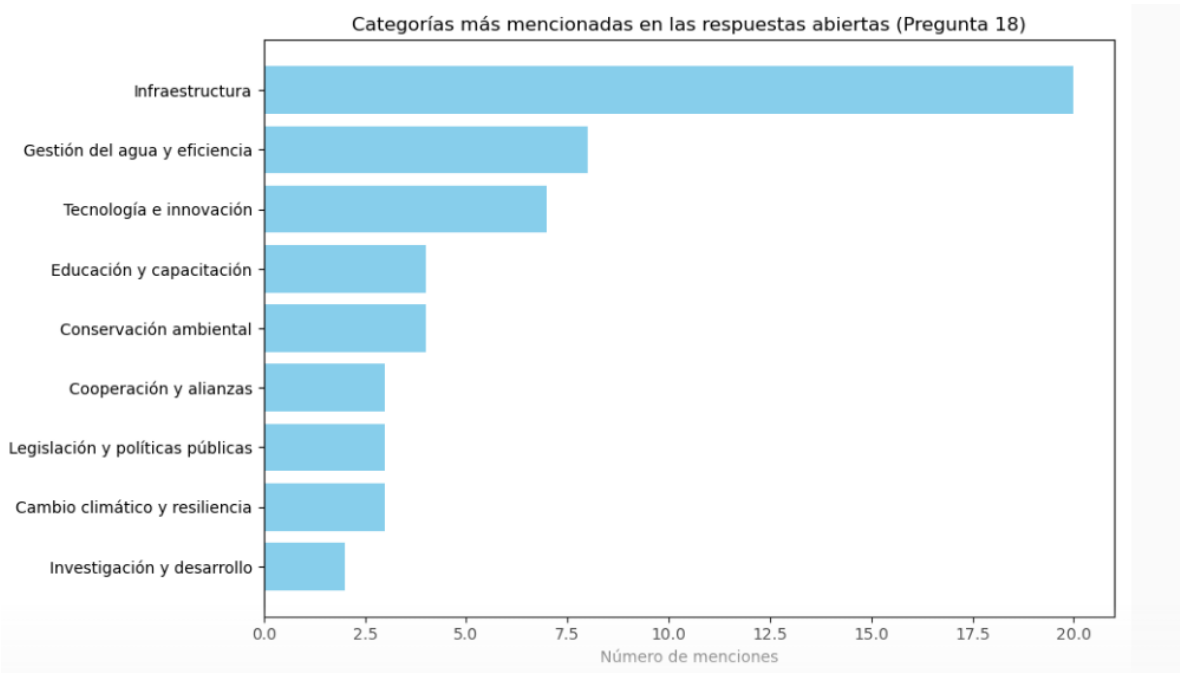


Gráfico 19-Recomendación del personal

Análisis

Las respuestas reflejan una visión integral y proactiva del personal sobre cómo fortalecer la resiliencia del Canal de Panamá. Se reconoce que enfrentar las sequías requiere una combinación de infraestructura, tecnología, educación, gobernanza y cooperación interinstitucional.

Capítulo 4: PLAN DE GESTIÓN

4.1 Objetivo principal

Fortalecer la resiliencia operativa y financiera del Canal de Panamá ante eventos de sequía, mediante la implementación de estrategias integradas de mitigación,

gestión hídrica sostenible e innovación tecnológica, que garanticen la continuidad del tránsito, la eficiencia en el uso del agua y la protección de los ingresos operativos.

4.2 Fundamentación

El Canal de Panamá es una infraestructura estratégica, para el comercio marítimo global y un pilar fundamental de la economía panameña. Su funcionamiento depende directamente del agua dulce proveniente de los lagos Gatún y Alajuela, lo que lo hace altamente vulnerable a los efectos de la variabilidad climática y, en particular, a las sequías prolongadas. En los últimos años, eventos como los ocurridos en 2015, 2019 y 2023–2024, han evidenciado esta fragilidad, provocando restricciones operativas, disminución de tránsitos y pérdidas económicas significativas.

La intensificación de estos eventos, asociada al cambio climático y al fenómeno de El Niño, ha puesto en evidencia la necesidad urgente de adoptar un enfoque integral para la gestión del recurso hídrico. Las medidas implementadas por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) han demostrado avances importantes en eficiencia operativa, ahorro de agua y adaptación tecnológica. Sin embargo, los desafíos actuales exigen una planificación más robusta, multisectorial y sostenible.

Este plan de gestión se fundamenta en los hallazgos de la investigación realizada, que evaluó comparativamente las estrategias de mitigación aplicadas durante las principales sequías de la última década. A partir de este análisis, se identificaron oportunidades de mejora en áreas como la infraestructura hídrica, la innovación

tecnológica, la cooperación interinstitucional, la educación ambiental y la formulación de políticas públicas.

El presente plan busca consolidar una hoja de ruta estratégica que permita fortalecer la resiliencia del Canal ante futuras crisis hídricas, garantizando su operatividad, competitividad y sostenibilidad económica. Asimismo, se alinea con los principios de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), promoviendo la coordinación entre actores clave, la participación comunitaria y el uso eficiente del agua como recurso vital y estratégico

4.3 Recomendación

- Desarrollar infraestructura hídrica complementaria para construir nuevos embalses y ampliar la capacidad de almacenamiento de agua durante la temporada húmeda, para asegurar el suministro en épocas secas. Esto incluye la evaluación ambiental y social de proyectos como el embalse del río Indio.
- Fortalecer la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) promoviendo la coordinación interinstitucional entre la ACP, el Ministerio de Ambiente, el IDAAN y otros actores clave, para una planificación conjunta del recurso hídrico, con enfoque de cuenca y criterios de seguridad hídrica nacional.
- Invertir en tecnologías de monitoreo y eficiencia hídrica ampliando el uso de sensores, sistemas de modelación predictiva, automatización de esclusas y tecnologías de reutilización de agua, para optimizar el uso del recurso y anticipar eventos extremos.

- Impulsar programas de educación y cultura del agua capacitando al personal técnico y operativo, y desarrollar campañas de concientización dirigidas a comunidades aledañas y usuarios del Canal sobre la importancia del ahorro y la gestión sostenible del agua.
- Reforzar la legislación y políticas públicas sobre el agua.
- Revisar y actualizar el marco legal panameño para incorporar criterios de cambio climático, eficiencia hídrica y uso prioritario del agua, en contextos de escasez, asegurando un enfoque preventivo y adaptativo

4.4 Plan de acción

El plan de acción tiene como propósito fortalecer la resiliencia del Canal de Panamá frente a los efectos de las sequías prolongadas, fenómeno que ha demostrado tener un impacto directo sobre la operatividad, la rentabilidad y la sostenibilidad de esta infraestructura estratégica. A partir del análisis de los eventos críticos ocurridos en 2015, 2019 y 2023–2024, y considerando, tanto la evidencia técnica como la percepción del personal canalero, se propone una hoja de ruta integral que articula infraestructura, tecnología, gobernanza, educación y legislación.

En primer lugar, se reconoce la necesidad urgente de ampliar la capacidad de almacenamiento de agua, mediante la construcción de nuevos embalses, como el propuesto en el río Indio, así como la optimización de los existentes. Estas obras deben ir acompañadas de estudios de impacto ambiental y social, garantizando la sostenibilidad y la aceptación comunitaria. Asimismo, se plantea la implementación de tecnologías para reducir la evaporación en los embalses, como coberturas

flotantes o sistemas de enfriamiento pasivo, y la modernización de la infraestructura de transporte de agua para minimizar pérdidas por fugas.

Paralelamente, se propone consolidar un modelo de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) con enfoque de cuenca, que promueva la coordinación efectiva entre la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), el Ministerio de Ambiente, el IDAAN, gobiernos locales, universidades y organizaciones de la sociedad civil. Esta articulación permitirá planificar de forma conjunta el uso del recurso hídrico, priorizando la seguridad hídrica nacional y la sostenibilidad operativa del Canal. Para ello, se recomienda la creación de un Comité Interinstitucional de Gestión Hídrica y el desarrollo de un Plan Maestro de Cuenca Canalera que integre criterios técnicos, sociales y climáticos.

El componente tecnológico también ocupa un lugar central en este plan. Se plantea la expansión del uso de sensores de nivel, caudal y calidad del agua en embalses y esclusas, así como la implementación de software de modelación hidrológica y predicción de sequías. Estas herramientas permitirán anticipar eventos extremos y tomar decisiones operativas con mayor precisión. Además, se sugiere incorporar drones y satélites para el monitoreo de cuencas, deforestación y cambios en el uso del suelo, así como automatizar los sistemas de esclusas y recirculación de agua para maximizar la eficiencia hídrica.

En el ámbito social e institucional, se destaca la importancia de fomentar una cultura del agua tanto dentro de la ACP como en las comunidades aledañas. Para ello, se propone diseñar programas de capacitación continua dirigidos al personal técnico y operativo, enfocados en gestión hídrica, eficiencia energética y adaptación

climática. Asimismo, se recomienda desarrollar campañas de concientización pública sobre el uso racional del agua, integrando contenidos educativos en escuelas y promoviendo prácticas sostenibles en las instalaciones del Canal.

Finalmente, el plan contempla el fortalecimiento del marco legal y de las políticas públicas relacionadas con el agua. Se sugiere revisar y actualizar la legislación hídrica panameña para incorporar criterios de cambio climático, eficiencia en el uso del recurso y mecanismos de priorización en contextos de escasez. También se plantea la creación de incentivos fiscales para la adopción de tecnologías de ahorro hídrico en sectores productivos, así como la implementación de normativas que promuevan la equidad y la sostenibilidad en el acceso al agua.

Este plan de acción, concebido desde una perspectiva multidisciplinaria y participativa, busca no solo responder a las crisis hídricas actuales, sino también anticiparse a los desafíos futuros. Su implementación permitirá al Canal de Panamá consolidarse como un modelo de gestión resiliente, eficiente y sostenible, capaz de garantizar su operatividad y su contribución al desarrollo nacional en un escenario climático cada vez más incierto.

CONCLUSIONES

Las sequías prolongadas representan uno de los desafíos más críticos para la sostenibilidad operativa y financiera del Canal de Panamá. A lo largo de esta investigación, se ha demostrado que eventos como los ocurridos en 2015, 2019 y 2023–2024, no solo han reducido significativamente los niveles de los embalses que alimentan las esclusas, sino que también han generado restricciones operativas y disminución en el número de tránsitos, lo que provocó desviaciones importantes respecto a las proyecciones económicas iniciales.

Estos impactos no se tradujeron necesariamente en pérdidas absolutas, sino en una reducción de los ingresos esperados. Sin embargo, gracias a una estrategia de ajuste progresivo en las tarifas de peaje, el Canal logró compensar estas limitaciones operativas. De hecho, en 2023, los ingresos anuales aumentaron en más de 1,000 millones de dólares en comparación con años anteriores. Este incremento fue posible, por el rediseño tarifario, aunque trasladó parte del impacto económico a los clientes, quienes asumieron mayores costos por el uso de la vía.

La hipótesis principal de esta tesis fue comprobar si las sequías afectaban directamente los ingresos del Canal. Los hallazgos confirman que, aunque las condiciones climáticas adversas impactaron las operaciones, la ACP logró mantener e incluso incrementar sus ingresos, mediante una gestión financiera y operativa estratégica.

El análisis comparativo de las estrategias implementadas por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) durante los eventos de sequía, permitió identificar avances importantes en eficiencia hídrica, innovación tecnológica y gestión operativa. No

obstante, también se detectaron áreas de mejora, especialmente en lo que respecta a la planificación interinstitucional, la educación ambiental, la infraestructura de almacenamiento y la gobernanza del recurso hídrico.

Los resultados de la encuesta aplicada al personal del Canal refuerzan la necesidad de fortalecer la cultura institucional de resiliencia, así como de ampliar los espacios de formación, participación y comunicación interna. Existe una percepción generalizada de que las medidas adoptadas, han sido efectivas, pero también una clara disposición a contribuir con nuevas ideas y a participar activamente en procesos de capacitación y mejora continua.

En este contexto, el plan de acción propuesto en esta tesis ofrece una hoja de ruta integral que articula infraestructura, tecnología, educación, legislación y cooperación interinstitucional. Su implementación permitirá no solo enfrentar con mayor eficacia los efectos de futuras sequías, sino también consolidar al Canal de Panamá como un modelo de gestión hídrica resiliente, eficiente y sostenible en el contexto del cambio climático.

En definitiva, garantizar la disponibilidad de agua para el funcionamiento del Canal no es solo una cuestión técnica, sino una prioridad estratégica para la seguridad hídrica, económica y ambiental de Panamá. Esta tesis aspira a ser un aporte concreto a ese objetivo, ofreciendo herramientas de análisis, propuestas de acción y una visión de largo plazo que contribuya a la protección de uno de los activos más valiosos del país.

Anexos

SEQUÍAS EN PANAMÁ: RETOS Y SOLUCIONES PARA GARANTIZAR LA OPERATIVIDAD Y RENTABILIDAD DEL CANAL

B *I* U  

Formulario para tesis de comercio y logística internacional



1- Sexo *

- ☐ Masculino
- ☐ Femenino

2- Edad

- ☐ 18 a 25 años
- ☐ 26 a 35 años
- ☐ 36 a 45 años
- ☐ 46 a 55 años
- ☐ Más de 55 años

3- ¿Puesto que ocupa en el Canal? *

- ☐ Gerencia
- ☐ Supervisor
- ☐ Personal técnico
- ☐ Personal administrativo
- ☐ Personal operativo
- ☐ Investigador
- ☐ Otra...

4- ¿Cuántos años lleva trabajando en el Canal de Panamá? *

1. Menos de 1 año
2. 1 a 3 años
3. 4 a 6 años
4. 7 a 10 años
5. 11 a 15 años
6. Más de 15 años

...

5- ¿Ha experimentado personalmente impactos operativos debido a sequías en el Canal de Panamá durante los últimos años (2015, 2019, 2023)? *

- ☐ Si
- ☐ No
- ☐ No estoy seguro/a

6- En su opinión, ¿Qué tan afectada se ha visto la operatividad del Canal durante los periodos de sequía? *

1. Nada afectada
2. Poco afectada
3. Regular
4. Afectada
5. Muy afectada

...

7- ¿Considera que las restricciones en el calado de los buques ha limitado el tránsito por el canal durante las sequías *

1. Muchísimo
2. Mucho
3. Regular
4. Poco
5. Nada

8- ¿Considera que las restricciones en el número de tránsitos durante sequías han impactado significativamente los ingresos del Canal? *

1. Muchísimo
2. Mucho
3. Regular
4. Poco
5. Nada

9- ¿Cree que la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) cuenta con una gestión hídrica adecuada para enfrentar sequías?



☒ Varias opciones

B *I* U

- ☐ Totalmente de acuerdo ×
- ☐ De acuerdo ×
- ☐ Indiferente ×
- ☐ En desacuerdo ×
- ☐ Totalmente en desacuerdo ×
- ☐ Añadir opción o [añadir respuesta "Otro"](#)

10- Conoce el plan estratégico del canal para mitigar el impacto de las sequías y así proteger ^{*} los ingresos del Canal de Panamá

1. Muchísimo
2. Mucho
3. Regular
4. Poco
5. nada



11- El plan estratégico del canal para mitigar los efectos de la sequía ha sido efectivo *

1. Totalmente de acuerdo
2. De acuerdo
3. Indiferente
4. En desacuerdo
5. Totalmente en desacuerdo



12- ¿Qué tan preparado considera que está el personal técnico y operativo para enfrentar eventos de sequía? *

- ☐ Muy preparado
- ☐ Preparado
- ☐ Medianamente preparado
- ☐ Poco preparado
- ☐ Nada preparado



13- Cuáles son los elementos que se consideran de preparación para un evento de sequía: *
En donde 1: totalmente en desacuerdo, 2: en desacuerdo, 3: indiferente, 4: de acuerdo y 5 es totalmente de acuerdo

	1	2	3	4	5
Reciclaje del a...	☐	☐	☐	☐	☐
Sistemas de m...	☐	☐	☐	☐	☐
Incremento del...	☐	☐	☐	☐	☐
Restricción de ...	☐	☐	☐	☐	☐

14- ¿Cuáles tecnologías o prácticas para ahorrar agua o gestionar el agua durante las sequías se han implementado en su área de trabajo? En donde 1: totalmente en desacuerdo, 2: en desacuerdo, 3: indiferente, 4: de acuerdo y 5 es totalmente de acuerdo *

	1	2	3	4	5
Programación ...	☐	☐	☐	☐	☐
Sensores de ni...	☐	☐	☐	☐	☐
Software de m...	☐	☐	☐	☐	☐
Drones para m...	☐	☐	☐	☐	☐
Recolección y r...	☐	☐	☐	☐	☐

15- ¿Considera importante que el Canal desarrolle estrategias integradas con otras instituciones nacionales para la gestión del recurso hídrico? *

1. Sí muy importante
2. Importante
3. Algo importante
4. Poco importante
5. No es importante

16- De las siguientes estrategias cuáles considera importante. En donde 1: totalmente en desacuerdo, 2: en desacuerdo, 3: indiferente, 4: de acuerdo y 5 es totalmente de acuerdo *

	1	2	3	4	5
Programa de In...	☐	☐	☐	☐	☐
Sistema de Ale...	☐	☐	☐	☐	☐
Plan de Ordena...	☐	☐	☐	☐	☐
Educación Am...	☐	☐	☐	☐	☐
Gestión Integra...	☐	☐	☐	☐	☐

17- ¿Está dispuesto/a a participar en futuras actividades de formación o capacitación relacionadas con la gestión hídrica y planificación estratégica para sequías? *

1. Totalmente de acuerdo
2. De acuerdo
3. Indiferente
4. En desacuerdo
5. Totalmente en desacuerdo

18- Desde su perspectiva, ¿Qué medidas adicionales podrían mejorar la resiliencia del Canal ante futuras sequías? *

Texto de respuesta larga

BIBLIOGRAFÍA

- Hajarath, K., & Reddy Vummadi, J. (2025). *Navigating Crisis: The Impact of Drought on the Panama Canal and Strategies for Global Supply Chain Resilience*. investigación, Chicago.
doi:DOI:10.14704/nq.2025.23.1.NQ25042
- Adex Peru. (2024). *Adex Peru*. Recuperado el 23 de junio de 2025, de https://www.cien.adexperu.org.pe/wp-content/uploads/2024/09/CIEN_RE_Sep2024.pdf
- Anderson, K. (20 de mayo de 2025). *Greenly Earth*. Recuperado el 21 de junio de 2025, de <https://greenly.earth/en-us/blog/ecology-news/how-climate-change-is-impacting-the-panama-canal>
- Arturo Batista Degracia 1, *. Á.-S. (s.f.).
- Associated Press. (18 de 01 de 2014). Canal de Panamá prevé mayor reducción de ingresos en peajes de buques debido a sequía. *Voz de America*, pág. 1. Recuperado el 24 de junio de 2025, de <https://www.vozdeamerica.com/a/canal-de-panama-preve-mayor-reduccion-de-ingresos-en-peajes-hasta-por-700-millones-debido-a-sequia/>
- Autoridad del canal de Panamá. (11 de Noviembre de 2004). *REGLAMENTO DE ETICA Y CONDUCTA*. (ACP, Ed.) Recuperado el 16 de junio de 2025, de OAS: https://oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_pan_regla.pdf
- Autoridad del Canal de Panamá. (2015, 2017, 2019, 2021, 2023). *Anuario hidrologico*. Panamá: ACP. Recuperado el 28 de junio de 2025, de <https://pancanal.com/anuario-hidrologico/>
- Autoridad del Canal de Panamá. (2020). *ACP*. Recuperado el 22 de junio de 2025, de <https://pancanal.com/preguntas-frecuentes/>
- Autoridad del Canal de Panamá. (2020). *ACP*. Recuperado el 23 de junio de 2025, de <https://www.pancanal.com>
- Autoridad del Canal de Panamá. (2020). *Plan maestro del Canal de Panamá 2020–2030*. Recuperado el 21 de junio de 2025, de <https://www.pancanal.com>
- Autoridad del canal de Panamá. (2023). *ACP*. Recuperado el 23 de Junio de 2025, de <https://pancanal.com/canal-de-panama-aumentara-a-24-los-transitos-diarios-a-partir-de-enero/>
- Autoridad del Canal de Panamá. (2024). *Informe de sostenibilidad 2023*. Recuperado el 20 de junio de 2025, de <https://www.pancanal.com>

- Banco Mundial. (2021). *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe*. Recuperado el 23 de junio de 2025, de <https://www.bancomundial.org>
- BN Americas. (2015). Which types of ship most use the Panama Canal? *BN Americas*. Recuperado el 23 de junio de 2025, de <https://www.bnamericas.com/en/news/which-types-of-ship-most-use-the-panama-canal>
- Calvo, L., & Yornel, K. (enero de 2024). Impacto de la ampliación del Canal de Panamá en las confiabilidades hídrica y de calado. *Research Gate*, 4. doi:10.33412/idt.v20.1.388
- Canal de Panamá. (2015, 2017, 2019, 2021, 2023). *Informe Anual*. Panamá: ACP. Recuperado el 28 de junio de 2025, de <https://pancanal.com/informes-anuales/>
- Canal de Panamá. (2024). *ACP*. Recuperado el 21 de junio de 2025, de <https://pancanal.com/en/how-the-canal-manages-the-fresh-water-challenge/>
- Cardenas, G. (22 de mayo de 2024). *El Faro del canal*. Recuperado el 21 de junio de 2025, de <https://elfarodelcanal.com/variabilidad-climatica-en-la-region-central-de-panama/>
- CEPAL. (2018). *La gobernanza del agua en América Latina y el Caribe: Un marco para la gestión integrada*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Recuperado el 24 de junio de 2025, de <https://www.cepal.org>
- Cermak, Alicia. (15 de 06 de 2022). *What Is Climate Change?* Recuperado el 21 de junio de 2025, de Science NASA: <https://science.nasa.gov/climate-change/what-is-climate-change/>
- Cota, I. (19 de febrero de 2024). El Canal de Panamá sufre una crisis hídrica y mete en problemas al comercio mundial. (I. Cota, Ed.) *El país*, 1(1), pág. 1. Recuperado el 10 de junio de 2025, de <https://elpais.com/economia/negocios/2024-02-19/la-crisis-hidrica-ahoga-al-canal-de-panama.html?>
- Degracia, A. B., Jiménez, J. Á., Alvarado, A. B., Valdespino, R. A., & Altamiranda-Saavedra, M. (2023). *MDPI*. Recuperado el 21 de junio de 2025, de <https://www.mdpi.com/2075-4450/14/8/714>
- Deutsche Welle. (08 de 08 de 2015). Panama Canal bars biggest vessels. *Deutsche Welle*, pág. 1. Recuperado el 21 de junio de 2025, de <https://www.dw.com/en/panama-canal-limits-ship-size-amid-el-nino-drought/a-18635696?>

- Devin, S., Goldsmith, S., Harmon, B. A., Espinosa, J. A., & Harmon, R. S. (2020). Physical controls and ENSO event influence on weathering in the Panama Canal Watershed. *Scientific Reports*, 5. Recuperado el 21 de junio de 2025, de <https://www.nature.com/articles/s41598-020-67797-7>
- EPA. (2021). *Causes of climate change*. Recuperado el 21 de junio de 2025, de EPA: <https://www.epa.gov/climatechange-science/causes-climate-change>
- Evans, S. (05 de 10 de 2021). *Carbon brief*. Recuperado el 21 de junio de 2025, de <https://www.carbonbrief.org/analysis-which-countries-are-historically-responsible-for-climate-change/>
- Evers, J. (5 de junio de 2025). *Education national geographic*. Recuperado el 21 de junio de 2025, de <https://education.nationalgeographic.org/resource/el-nino/>
- Extreme Weather Watch. (-). *Extreme Weather Watch Panamá*. Panamá. Recuperado el 28 de junio de 2025, de <https://www.extremeweatherwatch.com/countries/panama/average-precipitation-by-year?>
- FAO. (2023). *Fao*. Recuperado el 21 de junio de 2025, de <https://www.fao.org/in-action/drought-portal/preparedness/vulnerability-and-impact-assessment/national-case-studies/panama/en>
- Fleury, M. (7 de marzo de 2024). ¿Puede el Canal de Panamá salvarse a sí mismo? *BBC*, pág. 1. Recuperado el 22 de junio de 2025, de <https://www.bbc.com/mundo/articles/c3gle3wz5l1o>
- Fuente, D. (2019). *Science Direct*. Recuperado el 23 de junio de 2025, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957178719303285?via%3Dihub>
- Gallimore, V. G. (15 de agosto de 2015). *Telemetro Reporta*. Recuperado el 23 de Junio de 2025, de Telemetro: <https://www.telemetro.com/nacionales/2015/08/15/sequia-cuenca-canal-fenomeno-nino/1558161.html>
- Global Water Partnership. (2000). *Integrated Water Resources Management. TAC Background Papers, No. 4*. Recuperado el 22 de junio de 2025, de <https://www.gwp.org>
- GWP. (2000). *Manejo integrado de recursos hídricos*. Recuperado el 24 de junio de 2025, de GWP: <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/04-integrated-water-resources-management-2000-spanish.pdf>

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2017). *Guía para la gestión integrada del recurso hídrico*. Recuperado el 23 de junio de 2025, de <https://www.ideam.gov.co>
- IPCC. (2021). *Sixth Assessment Report: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Recuperado el 24 de junio de 2025, de <https://www.ipcc.ch>
- IPCC. (s.f.). *Ipcc.ch*. Recuperado el 21 de junio de 2025, de [Ipcc.ch](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/annex-ii/): <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/annex-ii/>
- Jimenez, M., Otero, J., Salazar, E., Witkowski, K., & Chavarria, H. (2015). *Repositorio IICA*. Recuperado el 21 de junio de 2025, de <https://repositorio.iica.int/items/1a46c5fe-b2ba-4fc4-a698-e9f72b940215>
- Latin American Post. (23 de 04 de 2024). *Latin American Post*. Recuperado el 21 de junio de 2025, de <https://latinamericanpost.com/americas/environment-en/warmer-nights-as-climate-change-impacts-panama/>
- Marotta, I. E. (20 de Marzo de 2024). 'We all need water': Panama's canal, and people, thirst for more. 1. (A. Moloney, Entrevistador, C. N. Chonghaile, & Z. Tabary, Editores) Panamá: Reuters/Context. Recuperado el 30 de junio de 2025, de <https://www.context.news/climate-risks/long-read/we-all-need-water-panamas-canal-and-people-thirst-for-more>
- Mendoza, O., & Rodríguez, J. (2022). *Análisis de los impactos de la sequía en la operación del Canal de Panamá. Revista Panameña de Ingeniería y Ambiente, 10(2), 35–48*. Recuperado el 24 de junio de 2025, de <https://doi.org/10.5281/zenodo.7896543>
- Ministerio de Ambiente(MIAMBIENTE). (2018). *Tercera comunicación nacional sobre el cambio climático*. Panamá: MIAMBIENTE. Recuperado el 21 de junio de 2025, de https://fliphtml5.com/eebm/ssel/Tercera_Comunicaci%C3%B3n_Nacional_sobre_Cambio_Clim%C3%A1tico/2/
- Ministerio de asuntos exteriores de Países Bajos. (2022). *netherlands water partnership*. Recuperado el 22 de junio de 2025, de https://www.com/sites/nwp_corp/files/2022-03/Panama%20Water%20Sector%20Study.pdf?utm_s
- Mosos, F. J. (11 de diciembre de 2023). El 2023, año en que la prolongada sequía disparó las alarmas en el canal de Panamá. *EFE*, pág. 1. Recuperado el 23 de junio de 2025, de <https://efe.com/economia/2023-12-11/el-2023-ano-en-que-la-prolongada-sequia-disparo-las-alarmas-en-el-canal-de-panama>
- Mundo Marítimo. (08 de mayo de 2015). Los nuevos precios del Canal de Panamá. *Mundo Marítimo*, pág. 1. Recuperado el 23 de junio de 2025, de

<https://www.mundomaritimo.cl/noticias/los-nuevos-precios-del-canal-de-panama>

- Naciones unidas. (1992). *Unfccc.int*. Recuperado el 21 de junio de 2025, de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Panama America. (02 de abril de 2019). La sequía tendrá un impacto en el Canal de Panamá de 15 millones de dólares. *Panama America*, pág. 1. Recuperado el 23 de junio de 2025
- Pinzon, Ishizaki, Sasaki, & Nakaegawa. (2021). Panama's Current Climate Replicability in a Non-Hydrostatic Regional Climate Model Nested in an Atmospheric General Circulation Model. *MDPI*, 4. Recuperado el 28 de junio de 2025, de <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/12/1543>
- Quinchía, D. A. (2024). ANÁLISIS SOBRE LAS CONSECUENCIAS DE LA. *OJTS*, 2-4. Recuperado el 23 de Junio de 2025, de <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/agora/article/download/1705/>
- Redacción/Nación. (9 de junio de 2017). 'Canal de Panamá es vulnerable a un ataque'. *Panama Amrica*, pág. 1. Recuperado el 2025 de junio de 2025
- Reuters. (13 de mayo de 2025). Número de buques que atraviesa el Canal de Panamá ascendió a 34 por día en abril. *La República*, pág. 1. Recuperado el 23 de junio de 2025, de <https://www.larepublica.co/globoeconomia/numero-de-buques-que-atravesia-el-canal-de-panama-ascendio-a-34-por-dia-en-abril-4132500>
- Rodríguez, A., & Vargas, F. (2019). *Gestión de cuencas hidrográficas y variabilidad climática en la región canalera*. *Revista de Recursos Naturales y Medio Ambiente*, 21(1), 18–27. Recuperado el 22 de junio de 2025, de <https://revistas.unam.edu.mx/index.php/rnma>
- Rodriguez, M. (17 de septiembre de 2024). Ingresos, tránsitos y perspectivas del Canal de Panamá. *La estrella de Panamá*, pág. 1. Recuperado el 23 de junio de 2025, de <https://www.laestrella.com.pa/economia/ingresos-transitos-y-perspectivas-del-canal-de-panama-EB8560134>
- Tandon, A. (2024). *Drought behind Panama Canal's 2023 shipping disruption 'unlikely' without El Niño*. Climatico, UK. Recuperado el 21 de junio de 2025, de <https://www.carbonbrief.org/drought-behind-panama-canals-2023-shipping-disruption-unlikely-without-el-nino/>
- THE ASSOCIATED PRESS. (18 de enero de 2024). Panama Canal traffic cut by more than a third because of drought. *AP News*, pág. 1. Recuperado el 21 de junio de 2025, de <https://apnews.com/article/panama-canal-global-trade-routes-drought-climate-change-bd76a77825a2e8e751a24346f8fd54a9>

- World Bank. (2023). *World bank*. Recuperado el 2025 de 21 de junio, de <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/panama/climate-data-historical-0>
- Zeng, Y. P., Mariotti, A., Hui Wang, A. K., Sánchez, R. L., & Jha, B. (30 de agosto de 2017). *Springer Nature Link*. Recuperado el 21 de junio de 2025, de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-017-3878-4>