



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

“MODELO DE GESTIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO  
DEL AGUA EN LA PRESA SAN VICENTE PROVINCIA DE  
SANTA ELENA - ECUADOR”

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORES:**

WENDY GABRIELA FLORES TOMALÁ  
ROMY ALEJANDRA YAGUAL ALVARADO

**TUTOR:**

ING. JUAN MIGUEL RENDÓN MARCILLO, Mg.

**LA LIBERTAD, ECUADOR**

2025

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

---

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

**MODELO DE GESTIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO  
DEL AGUA EN LA PRESA SAN VICENTE PROVINCIA DE  
SANTA ELENA - ECUADOR**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORES:**

**WENDY GABRIELA FLORES TOMALÁ**

**ROMY ALEJANDRA YAGUAL ALVARADO**

**TUTOR:**

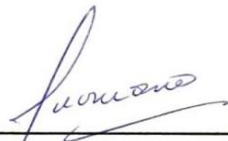
**ING. JUAN MIGUEL RENDÓN MARCILLO, Mg.**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2025**

**UPSE**

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



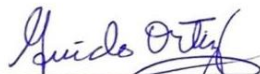
---

**Ing. Lucrecia C. Moreno Alcivar, PhD.**  
DIRECTORA DE CARRERA DE  
INGENIERÍA CIVIL



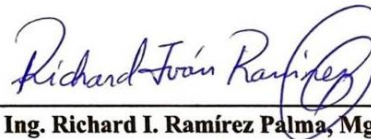
---

**Ing. Juan Miguel Rendón Marcillo, Mg.**  
DOCENTE TUTOR



---

**Ing. Guido Ortiz Safadi, Mg.**  
DOCENTE ESPECIALISTA



---

**Ing. Richard I. Ramírez Palma, Mg.**  
DOCENTE UIC

## **DEDICATORIA**

Este logro representa el resultado de un proceso lleno de esfuerzo, dedicación y fe, por ello expreso mi más profundo agradecimiento. En primer lugar, a Dios quien ha sido mi guía y fortaleza en cada paso, iluminó mis decisiones y me permitió alcanzar esta meta que hoy culmina con satisfacción y gratitud. Además, dedico este triunfo a mi madre, Albina Tomalá, una mujer ejemplar, llena de amor, apoyo y enseñanza. Gracias a ella aprendí que, sin importar los obstáculos que se me presenten, siempre es posible salir adelante con fe, y perseverancia, sus palabras de aliento fueron el motor para no rendirme y seguir luchando por mis sueños. A mi padre, Freddy Flores, quien confió en mis capacidades. Este logro también le pertenece, aunque hoy no se encuentre físicamente, sé que desde el cielo celebra conmigo este importante paso en mi vida.

A mi hermana, Johanna Flores, quién admiro profundamente, le dedico también este triunfo. Ella ha sido mi inspiración, sus consejos y enseñanzas fueron fundamentales para estar enfocada en mis metas. Extiendo esta dedicatoria al Sr Jaime Valle, mis abuelos, hermanos y sobrinos. Deseo reconocer también a dos amigas muy especiales quienes han formado parte esencial en este recorrido, A mi mejor amiga Jimhey Solano por acompañarme desde siempre hasta en los momentos más difíciles de mi vida. A Romy Yagual, mi compañera de tesis y mejor amiga por su apoyo constante y su amistad sincera fueron claves para alcanzar este objetivo común.

Así mismo, a una persona especial en mi vida, quien me acompañó durante mi etapa universitaria. Su comprensión, paciencia, motivación y apoyo emocional fueron fundamentales para mantenerme firme en todo momento aun cuando todo parecía difícil. Finalmente, extiendo mi gratitud a todos mis docentes, quienes contribuyeron significativamente en mi formación académica y profesional. Cada lección impartida fue un aporte valioso en mi desarrollo y en la construcción de este sueño hecho realidad.

***WENDY GABRIELA FLORES TOMALÁ***

A la mujer que más amé en mi vida, América Antonieta Jumbo Valdiviezo, estuviste presente todas las veces que pudiste y hasta donde tu fuerza te lo permitió. Hoy sé que estás orgullosa de mí abue, porque cumplí tu último y más valioso consejo cuando te despediste de mí: *“Primero el estudio, mijita; luego el amor y todo lo demás. El estudio es la mejor herencia que existe en la vida”*. Mi prima y yo lo logramos, como querías, y sé que seguiremos avanzando. Te extraño, pero tu legado vive en mí: seré libre, construiré mi camino y seguiré logrando metas, siempre llevándote conmigo. Gracias por cuidarme incluso en tu ausencia, te siento a cada paso.

A Rodny Yagual, más que mi padre, mi mejor amigo en casa, gracias por enseñarme a ser independiente, luchadora, resiliente, aguerrida y, aun así, una princesa. Contigo aprendí que el valor del dinero y del esfuerzo, que lo que quiero, sueño o necesito debo ganármelo con el sudor de mi frente. También me enseñaste que el cansancio y el dolor son temporales, pero que las metas cumplidas y las risas que deja el esfuerzo se convierten en historias de éxito. Gracias por ser mi ejemplo y mi fortaleza.

A María Alvarado, mi madre, por su constancia y sus innumerables consejos que han moldeado la mujer que hoy soy, por mostrarme que la vida no siempre es color de rosas, pero que aun así vale la pena seguir adelante con amor, carácter y paciencia. Gracias por preocuparte por mí y por darme a mis hermanos, esos compañeros de vida con los que, entre peleas, bromas y cariño, hemos aprendido a caminar juntos y a esforzarnos para que siempre te sientas orgullosa.

A Wendy Flores, mi mejor amiga y compañera de un sinfín de éxitos, lágrimas y risas, por estar conmigo pese a todo te dedico este logro porque sin ti la carga de mis días pesados me habría vencido, sola no habría llegado hasta aquí. Ojalá sigamos creciendo juntas, como las ingenieras que sin darnos cuenta nos estamos convirtiendo, construyendo una amistad de la que siempre estaré orgullosa.

A todos ustedes, los amo con todo mi corazón estén o no presentes físicamente en mi vida, cuentan conmigo, en mí siempre tendrán un lugar seguro para descansar.

***ROMY ALEJANDRA YAGUAL ALVARADO***

# CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **“MODELO DE GESTIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL AGUA DE LA PRESA SAN VICENTE PROVINCIA DE SANTA ELENA – ECUADOR”** elaborado por **FLORES TOMALA WENDY GABRIELA** y **YAGUAL ALVARADO ROMY ALEJANDRA**, estudiantes egresadas de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema de antiplagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente Tesis, se encuentra con un 7% de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

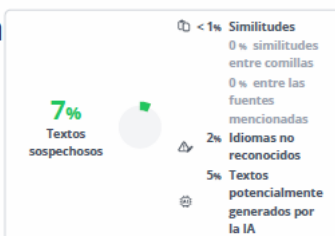
Adjunto, reporte de similitud.

Atentamente:

f. 

**Ing. Juan Miguel Rendón Marcillo, Mg.**  
C.I 0918542671  
DOCENTE TUTOR

# COMPILATIO\_Modelo\_de\_gestión\_para\_la\_optimización\_del\_uso\_del\_agua\_en\_la\_Presa\_San\_Vicente



<p>Nombre del documento: COMPILATIO_Modelo_de_gestión_para_la_optimización_de_l_uso_del_agua_en_la_Presa_San_Vicente.docx</p> <p>ID del documento: 67bcb8855ca1000d6a6348c74cd04f903a98ef9f</p> <p>Tamaño del documento original: 827,22 kB</p>	<p>Depositante: JUAN MIGUEL RENDON MARCILLO</p> <p>Fecha de depósito: 8/11/2025</p> <p>Tipo de carga: interface</p> <p>fecha de fin de análisis: 8/11/2025</p>	<p>Número de palabras: 18.218</p> <p>Número de caracteres: 118.398</p>
---	--	--

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes de similitudes

### Fuente principal detectada

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="https://institutodelagua.es/recursos-hidricos/gestion-sostenible-de-los-recursos-hidricosrecu...">institutodelagua.es   Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos: Estrategias pa...</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)

### Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Propuesta de manejo sustentable del agua para el riego en las zonasáridas de L... <a href="http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/15000/8834/4/CD-5908.pdf.txt">http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/15000/8834/4/CD-5908.pdf.txt</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
2	<a href="http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/21789">www.dspace.uce.edu.ec   Agua en territorios comunales: gestión del riego en el ...</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
3	Planificación de la operación energética de centrales hidroeléctricas multipropós... <a href="http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/15000/19969/3/KC-9421.pdf.txt">http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/15000/19969/3/KC-9421.pdf.txt</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)
4	Documento de otro usuario #91b890 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotras, **FLORES TOMALA WENDY GABRIELA** y **YAGUAL ALVARADO ROMY ALEJANDRA** declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado “**MODELO DE GESTIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL AGUA DE LA PRESA SAN VICENTE PROVINCIA DE SANTA ELENA – ECUADOR**”, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de **CIENCIA DE LA INGENIERÍA**, Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, por lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente a nuestra autoría.

Por medio de la presente declaración cedemos a los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,

f.  \_\_\_\_\_

**Wendy Gabriela Flores Tomalá**  
C.I 2450407693  
AUTORA DE TESIS

f.  \_\_\_\_\_

**Romy Alejandra Yagual Alvarado**  
C.I 2400455859  
AUTORA DE TESIS

# CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Juan Rendón Marcillo, Mg.  
**TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**  
Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo **“MODELO DE GESTIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL AGUA DE LA PRESA SAN VICENTE PROVINCIA DE SANTA ELENA – ECUADOR”**, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, elaborado por las Srtas. **FLORES TOMALÁ WENDY GABRIELA** y **YAGUAL ALVARADO ROMY ALEJANDRA**, egresadas de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado la presente Tesis de Grado, la apruebo en todas sus partes.

FIRMA DE TUTOR

f.  \_\_\_\_\_

**Ing. Juan Miguel Rendón Marcillo, Mg.**

C.I 0918542671

DOCENTE TUTOR

# CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

## VALIDACION GRAMATICAL Y ORTOGRAFICA

### CERTIFICO

Que, he revisado el trabajo de Integración Curricular de título: Modelo de gestión para la optimización del uso del agua en la Presa San Vicente provincia de Santa Elena - Ecuador, elaborado por las estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Estatal Península de Santa Elena: Wendy Gabriela Flores Tomalá y Romy Alejandra Yagual Alvarado, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil.

Que, he realizado las observaciones pertinentes en los ámbitos de la gramática, ortografía y puntuación del documento, mismas que han sido acogidas proactivamente por los mencionados, corroborando que han sido introducidos los ajustes correspondientes en el trabajo.

Por lo expuesto, autorizo a los peticionarios, hacer uso de este certificado como a bien convengan.

Atentamente,



Lic. Alexi Javier Herrera Reyes  
Magíster en Diseño y Evaluación de Modelos Educativos  
CC. 0924489255  
Registro SENESCYT: 1050-14-86052904  
Teléfono: 0962989420

La Libertad, a los 6 días del mes de noviembre de 2025.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco profundamente a Dios por la vida y por haberme permitido culminar con éxito esta etapa universitaria. A lo largo de este camino, él ha sido mi guía y mi fortaleza, brindándome sabiduría y esperanza para enfrentar los desafíos que se presentaron. Mi más sincero agradecimiento para mis padres, quienes han sido mi mayor fuente de motivación y apoyo incondicional. A ellos les debo gran parte de lo que soy, por haberme acompañado en cada una de las etapas de mi vida, este logro académico no solo es mío, sino también para ustedes.

Extiendo mi sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, el Ing. Juan Rendón por su orientación constante, compromiso académico y su paciencia durante todo este proceso. Su acompañamiento fue clave para el desarrollo de la tesis, ya que gracias a sus conocimientos y disposición logró fortalecer mis capacidades de análisis y redacción.

Extiendo también mi más sincero agradecimiento al Ing. Guido Ortíz, quien nos brindó su apoyo y conocimientos técnicos, aportando información esencial para el desarrollo de la tesis, de igual manera, mi gratitud hacia la Ing. Lucrecia Moreno, quien nos ayudó a gestionar información de gran importancia. Asimismo, al Ing. Richard Ramírez por su orientación y asesoramiento durante el proceso de titulación.

No puedo dejar de agradecer a también a mis amigos y compañeros quienes formaron parte de esta experiencia universitaria, compartiendo conmigo momentos de aprendizaje y compañerismo. Culminar esta etapa no solo representa la realización de este sueño, sino el inicio de una nueva etapa profesional que afronto con gratitud y esperanza, llevando conmigo aprendizaje, experiencias y bendiciones recibidas a lo largo de este camino.

***WENDY GABRIELA FLORES TOMALÁ***

A lo largo de este camino académico he comprendido que ningún logro es verdaderamente individual. Cada paso alcanzado y cada aprendizaje logrado han sido posibles gracias a la presencia, apoyo y aporte de personas invaluableles que, desde distintos espacios, han dejado huellas significativas en mi proceso formativo. En el tren de la vida, las oportunidades pasan una sola vez, y durante mi periodo académico decidí abordar cada tren disponible, aprender de cada trayecto y asumir cada reto con valentía. Hoy, al mirar atrás, reconozco que cada recorrido, cada mano tendida y cada voz presente contribuyeron a este logro que celebro con orgullo y gratitud.

A mi familia, quienes me enseñaron que la disciplina, la constancia, el respeto y la amabilidad son pilares que sostienen cualquier meta. Gracias por inculcarme el valor de mantener siempre una sonrisa, incluso en medio de las dificultades, y por recordarme que la fortaleza se construye día a día con pequeños actos de amor y paciencia.

A todos mis docentes, quienes moldearon mi formación profesional con dedicación, exigencia y compromiso. Cada clase, cada comentario y cada reto académico fueron construyendo los conocimientos y valores que hoy me acompañan. Su experiencia, orientación y disposición permitieron que este proyecto creciera con solidez y claridad, impulsándome constantemente a buscar la excelencia.

Dedico un agradecimiento especial a mi compañera de tesis, mi mejor amiga y hermana de otra sangre, por los desvelos compartidos, las risas inesperadas y las soluciones que siempre encontramos juntas. A mis amigos, por ser mi red emocional, acompañarme en cada avance y sostenerme en los momentos de cansancio. Y a mis clientes de la vulcanizadora, quienes sin saberlo aportaron motivación diaria con cada conversación y experiencia compartida.

Y, finalmente, a ese ángel que la vida colocó en mi camino gracias por estar en las verdes y en las maduras, por acompañarme sin hacer ruido, por apoyar mis metas con cariño sutil, tu huella en mi corazón también es parte de esto.

A todos ustedes, gracias por estar, aportar y permanecer.

***ROMY ALEJANDRA YAGUAL ALVARADO***

# TABLA DE CONTENIDO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO .....	v
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	vii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	viii
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA .....	ix
AGRADECIMIENTOS .....	x
TABLA DE CONTENIDO .....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xvi
LISTA DE TABLAS.....	xviii
LISTA DE ECUACIONES .....	xxi
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT .....	xxiii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	24
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	25
1.2. ANTECEDENTES.....	27
1.3. HIPÓTESIS.....	32
1.3.1. Hipótesis General.....	32
1.3.2. Hipótesis Específicas.....	32
1.4. OBJETIVOS .....	32
1.4.1. Objetivo General.....	32
1.4.2. Objetivos Específicos.....	33
1.5. ALCANCE .....	33
1.6. VARIABLES.....	34
1.6.1. Variables Independientes.....	34
1.6.2. Variables Dependientes.....	34
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	35
2.1 FUNDAMENTOS CONCEPTUALES.....	35
2.1.1 Gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) .....	35
2.1.2 Presas y embalses.....	37
2.1.3 Operación hidráulica de embalses.....	38

2.1.4	Balance hídrico en embalses .....	42
2.1.5	Eficiencia hídrica y energética en sistemas hidráulicos .....	44
2.2	GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN CONTEXTOS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA .....	46
2.2.1.	Impactos de El Niño y La Niña en la gestión del agua en Ecuador .....	46
2.2.2.	Riesgos de sequías y excedencias hídricas en zonas áridas y semiáridas 47	
2.2.3.	Estrategias adaptativas en la operación de embalses .....	49
2.3	USOS DEL AGUA EN SISTEMAS MULTIPROPÓSITO .....	50
2.3.1.	Abastecimiento de agua potable: criterios técnicos y de demanda .....	50
2.3.2.	Riego agrícola .....	52
2.3.3.	Caudales ecológicos .....	53
	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	55
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	55
3.1.1.	Tipo. ....	55
3.1.2.	Nivel.....	55
3.2.	MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	56
3.2.1.	Método. ....	56
3.2.2.	Enfoque. ....	56
3.2.3.	Diseño. ....	57
3.3.	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO .....	57
3.3.1.	Población.....	57
3.3.2.	Muestra.....	58
3.3.3.	Muestreo.....	58
3.4.	UBICACIÓN Y SECTOR DE ESTUDIO .....	58
3.5.	METODOLOGÍA DEL O.E.1.: PROGRAMACIÓN TÉCNICA DE LA OPERACIÓN DEL EMBALSE EN FUNCIÓN DEL BALANCE HÍDRICO	60
3.5.1.	Recolección de datos hidrometeorológicos.....	60
3.5.2.	Estimación de volúmenes de entrada .....	62
3.5.3.	Estimación de volúmenes de salida.....	64
3.5.4.	Elaboración del balance hídrico mensual y estacional.....	73
3.5.5.	Curvas guía de operación.....	74
3.5.6.	Definición de reglas de apertura de compuertas bajo escenarios climáticos .....	78
3.6.	METODOLOGÍA DEL O.E.2.: EVALUACIÓN DEL VOLUMEN DESEMBALSADO Y PRIORIZACIÓN DE DEMANDAS SEGÚN LEGISLACIÓN VIGENTE .....	79

3.6.1.	Marco normativo.....	79
3.6.2.	Cálculo de volúmenes desembalsados en forma mensual y estacional.	80
3.6.3.	Determinación de caudales destinados a agua potable, riego agrícola y descargas técnicas .....	82
3.6.4.	Priorización de usos del recurso en función de la normativa.....	85
3.6.5.	Evaluación de la eficiencia en la distribución actual. ....	87
3.6.6.	Identificación de pérdidas y desequilibrios operativos .....	89
3.7.	METODOLOGÍA DEL O.E.3.: DISEÑO DE UNA PROPUESTA OPERATIVA PARA EL BOMBEO DE LOS CAUDALES DE ENTRADA Y APERTURA DE COMPUERTAS EN LAS DESCARGAS DE SALIDA .....	91
3.7.1.	Diagnóstico actual del sistema de bombeo .....	91
3.7.2.	Diagnóstico de la operación de compuertas.....	94
3.7.3.	Propuesta de programación manual del bombeo.....	98
3.7.4.	Propuesta de programación de apertura de compuertas .....	100
3.7.5.	Simulación analítica y evaluación operativa.....	102
3.7.6.	Evaluación de indicadores de desempeño.....	103
3.8.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	104
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....		107
4.1.	RESULTADOS DEL O.E.1.: PROGRAMACIÓN TÉCNICA DE LA OPERACIÓN DEL EMBALSE EN FUNCIÓN DEL BALANCE HÍDRICO	107
4.1.1.	Condiciones hidrometeorológicas del sistema.....	107
4.1.2.	Volúmenes de entrada al embalse San Vicente .....	111
4.1.3.	Volúmenes de salida del embalse.....	113
4.1.4.	Balance hídrico mensual y estacional .....	116
4.1.5.	Curvas guía de operación.....	120
4.1.6.	Reglas de apertura de compuertas por escenario climático.....	123
4.2.	RESULTADOS DEL O.E.2.: EVALUACIÓN DEL VOLUMEN DESEMBALSADO Y PRIORIZACIÓN DE DEMANDAS.....	126
4.2.1.	Cumplimiento normativo y prelación de usos.....	126
4.2.2.	Volúmenes desembalsados anuales por uso .....	127
4.2.3.	Caudales medios y conversión a volumen .....	128
4.2.4.	Comparación desembalsada vs demandas proyectadas .....	130
4.2.5.	Priorización de usos del recurso según escenarios climáticos .....	131
4.2.6.	Eficiencia en la distribución y desempeño operativo del sistema.....	132
4.2.7.	Identificación de pérdidas y desequilibrios operativos .....	134

4.3.	RESULTADOS DEL O.E.3.: PROPUESTA OPERATIVA PARA EL BOMBEO DE LOS CAUDALES DE ENTRADA Y APERTURA DE COMPUERTAS EN LAS DESCARGAS DE SALIDA .....	135
4.3.1.	Diagnóstico técnico-operativo del sistema de bombeo.....	135
4.3.2.	Operación actual de compuertas del embalse San Vicente .....	136
4.3.3.	Sincronización entre bombeo y descargas .....	138
4.3.4.	Propuesta de programación manual del bombeo.....	139
4.3.5.	Propuesta de programación de apertura de compuertas.....	141
4.3.6.	Simulación analítica de escenarios operativos.....	142
4.3.7.	Evaluación de indicadores de desempeño del modelo propuesto .....	144
	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	148
5.1	CONCLUSIONES .....	148
5.2	RECOMENDACIONES .....	149
	BIBLIOGRAFÍA.....	151
	ANEXOS.....	158

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura del Enfoque de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (IWRM).....	36
<b>Figura 2.</b> Características y funcionalidades de una presa de hormigón armado ..	38
<b>Figura 3.</b> Curvas guía de operación de un embalse multipropósito, que indican niveles objetivo y volúmenes liberados según época del año.....	39
<b>Figura 4.</b> Flujo a través de una compuerta plana y de una compuerta radial.....	40
<b>Figura 5.</b> Vertedero hidráulico o aliviadero.....	41
<b>Figura 6.</b> Esquema del balance hídrico en un embalse con representaciones de entradas, salidas, almacenamiento y variación volumétrica. ....	44
<b>Figura 7.</b> Diagrama de flujo de un modelo de operación adaptativa de embalses, que integra pronósticos, monitoreo y reglas operativas dinámicas.....	50
<b>Figura 8.</b> Ubicación del Proyecto Trasvase Chongón – San Vicente.....	59
<b>Figura 9.</b> Esquema del balance hídrico aplicado al embalse San Vicente.....	61
<b>Figura 10.</b> Distribución porcentual de aportes al embalse San Vicente.....	63
<b>Figura 11.</b> Diagrama de la represa San Vicente con respecto a las salidas de agua para riego.....	67
<b>Figura 12.</b> Distribución porcentual de los volúmenes de salida del embalse San Vicente.....	72
<b>Figura 13.</b> Curva nivel–volumen del embalse San Vicente .....	76
<b>Figura 14.</b> Curva nivel–área del embalse San Vicente.....	76
<b>Figura 15.</b> Curva volumen–área del embalse San Vicente.....	77
<b>Figura 16.</b> Determinación de caudales destinados a agua potable, riego agrícola y descargas técnicas en la Presa San Vicente.....	84
<b>Figura 17.</b> Esquema metodológico de priorización de usos del agua en la Presa San Vicente.....	86
<b>Figura 18.</b> Esquema metodológico de priorización de usos del agua en la Presa San Vicente.....	88
<b>Figura 19.</b> Frecuencia mensual promedio de apertura de compuertas.....	96
<b>Figura 20.</b> Distribución porcentual de los volúmenes liberados por tipo de descarga – Embalse San Vicente.....	97

<b>Figura 21.</b> Variación mensual de precipitación en el área del embalse San Vicente (mm/mes) .....	108
<b>Figura 22.</b> Variación mensual de evaporación potencial en el área del embalse San Vicente (mm/mes) .....	109
<b>Figura 23.</b> Comparación estacional entre precipitación y evaporación .....	111
<b>Figura 24.</b> Distribución porcentual de los volúmenes de salida del embalse San Vicente.....	115
<b>Figura 25.</b> Hidrograma mensual promedio del balance hídrico del embalse San Vicente.....	117
<b>Figura 26.</b> Distribución estacional de entradas y salidas del embalse San Vicente .....	119
<b>Figura 27.</b> Curva nivel–volumen y nivel área del embalse San Vicente.....	121
<b>Figura 28.</b> Curva guía de operación del embalse San Vicente .....	123
<b>Figura 29.</b> Distribución estacional de volúmenes desembalsados en la Presa San Vicente.....	129
<b>Figura 30.</b> Comparación entre volúmenes desembalsados y demandas proyectadas por tipo de uso.....	131
<b>Figura 31.</b> Indicadores de eficiencia del sistema hídrico de la Presa San Vicente .....	133
<b>Figura 32.</b> Comparación horaria entre caudal bombeado y descargado .....	138
<b>Figura 33.</b> Gráfico comparativo de eficiencia global antes y después del modelo propuesto.....	146

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tipos de presas.....	37
<b>Tabla 2.</b> Elementos clave y su influencia en el control de entradas, salidas y almacenamiento.....	43
<b>Tabla 3.</b> Principales episodios de sequía en regiones de Ecuador (2001–2018)..	48
<b>Tabla 4.</b> Tabla comparativa de eficiencia según método de riego.....	53
<b>Tabla 5.</b> Variables hidrometeorológicas consideradas para la operación del embalse San Vicente.....	60
<b>Tabla 6.</b> Volúmenes estimados de entrada al embalse San Vicente.....	63
<b>Tabla 7.</b> Demandas de agua para el abastecimiento de agua potable para los años 2016 – 2036.....	65
<b>Tabla 8.</b> Sectorización del proyecto Trasvase Chongón – San Vicente.....	66
<b>Tabla 9.</b> Características de diseño para la construcción de los 11 reservorios. ....	68
<b>Tabla 10.</b> Estación meteorológica M1170 Santa Elena – Universidad.....	70
<b>Tabla 11.</b> Volúmenes anuales estimados de salida del embalse San Vicente.....	71
<b>Tabla 12.</b> Relación nivel–área–volumen en el embalse de la presa San Vicente .	75
<b>Tabla 13.</b> Jerarquización legal de los usos del agua en el Ecuador .....	80
<b>Tabla 14.</b> Metodología para el cálculo de volúmenes desembalsados del embalse San Vicente.....	82
<b>Tabla 15.</b> Distribución estimada de caudales y volúmenes desembalsados por uso .....	83
<b>Tabla 16.</b> Jerarquización y asignación proporcional de usos del agua según normativa nacional.....	86
<b>Tabla 17.</b> Metodología de cuantificación de pérdidas en el sistema de la Presa San Vicente.....	90
<b>Tabla 18.</b> Características técnicas del sistema de bombeo del Trasvase Chongón– San Vicente.....	92
<b>Tabla 19.</b> Características técnicas de las compuertas del sistema de descarga del embalse San Vicente.....	95
<b>Tabla 20.</b> Frecuencia y patrón de apertura de las compuertas en la presa San Vicente (nº./mes).....	95

<b>Tabla 21.</b> Volúmenes y caudales medios anuales descargados por tipo de compuerta.....	96
<b>Tabla 22.</b> Criterios de programación manual del bombeo.....	99
<b>Tabla 23.</b> Turnos de operación propuestos para el bombeo de la estación.....	99
<b>Tabla 24.</b> Propuesta de frecuencias de apertura de compuertas según escenarios operativos .....	101
<b>Tabla 25.</b> Estructura metodológica de los escenarios analizados para la Presa San Vicente.....	102
<b>Tabla 26.</b> Indicadores de desempeño considerados para la evaluación del modelo propuesto.....	103
<b>Tabla 27.</b> Operacionalización de la variable independiente .....	104
<b>Tabla 28.</b> Operacionalización de las variables dependientes.....	105
<b>Tabla 29.</b> Precipitación media mensual en el área de influencia del embalse San Vicente.....	107
<b>Tabla 30.</b> Evaporación potencial mensual promedio.....	108
<b>Tabla 31.</b> Comparativo mensual de precipitación–evaporación y balance hídrico potencial .....	110
<b>Tabla 32.</b> Volúmenes anuales estimados provenientes del Trasvase Chongón–San Vicente.....	111
<b>Tabla 33.</b> Comparativo de volúmenes de entrada al embalse San Vicente.....	112
<b>Tabla 34.</b> Comparativo de volúmenes de entrada al embalse San Vicente.....	113
<b>Tabla 35.</b> Volúmenes anuales de riego agrícola desde la presa San Vicente .....	114
<b>Tabla 36.</b> Pérdidas físicas anuales del embalse San Vicente .....	114
<b>Tabla 37.</b> Resumen de volúmenes anuales de salida del embalse San Vicente...	115
<b>Tabla 38.</b> Balance hídrico mensual promedio del embalse San Vicente (hm <sup>3</sup> /mes) .....	116
<b>Tabla 39.</b> Clasificación de meses críticos por balance hídrico.....	118
<b>Tabla 40.</b> Balance hídrico estacional consolidado del embalse San Vicente.....	119
<b>Tabla 41.</b> Relación nivel–área–volumen del embalse San Vicente .....	120
<b>Tabla 42.</b> Resumen de parámetros de capacidad del embalse San Vicente.....	121
<b>Tabla 43.</b> Zonas operativas del embalse San Vicente.....	122
<b>Tabla 44.</b> Volúmenes anuales controlados por compuertas de salida .....	124
<b>Tabla 45.</b> Frecuencia promedio de apertura de compuertas .....	124
<b>Tabla 46.</b> Niveles de control y tiempos de apertura promedio .....	125

<b>Tabla 47.</b> Jerarquización legal de los usos del agua y volúmenes asignados en la Presa San Vicente.....	126
<b>Tabla 48.</b> Volúmenes anuales desembalsados por uso en la Presa San Vicente .	127
<b>Tabla 49.</b> Volúmenes desembalsados mensuales y estacionales en la Presa San Vicente.....	128
<b>Tabla 50.</b> Comparativo entre volúmenes desembalsados y demandas proyectadas .....	130
<b>Tabla 51.</b> Asignación proporcional del volumen disponible según escenario climático.....	132
<b>Tabla 52.</b> Indicadores de eficiencia en la distribución del recurso hídrico .....	133
<b>Tabla 53.</b> Pérdidas estimadas en el sistema de la Presa San Vicente.....	134
<b>Tabla 54.</b> Características hidráulicas del sistema de bombeo del Trasvase Chongón–San Vicente.....	135
<b>Tabla 55.</b> Características de las compuertas del sistema de descarga del embalse San Vicente.....	136
<b>Tabla 56.</b> Frecuencia mensual promedio de apertura de compuertas.....	137
<b>Tabla 57.</b> Volúmenes descargados por tipo de compuerta.....	137
<b>Tabla 58.</b> Comparativo horario promedio entre bombeo y descargas.....	138
<b>Tabla 59.</b> Variación promedio diaria del nivel operativo del embalse San Vicente .....	139
<b>Tabla 60.</b> Niveles operativos de referencia para la programación del bombeo..	139
<b>Tabla 61.</b> Turnos propuestos para la operación manual del bombeo.....	140
<b>Tabla 62.</b> Comparativo entre régimen actual y propuesto de operación .....	140
<b>Tabla 63.</b> Parámetros operativos por escenario hidrológico.....	141
<b>Tabla 64.</b> Frecuencia y duración técnica de apertura de compuertas según escenario.....	141
<b>Tabla 65.</b> Comparativo de balance hídrico anual – operación actual vs. propuesta .....	142
<b>Tabla 66.</b> Comparativo de eficiencia hidráulica antes y después de la propuesta .....	144
<b>Tabla 67.</b> Comparativo de eficiencia volumétrica antes y después de la propuesta .....	145
<b>Tabla 68.</b> Comparativo de eficiencia operativa .....	145
<b>Tabla 69.</b> Comparativo del índice global de eficiencia del sistema .....	146

## LISTA DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Balance hídrico.....	42
<b>Ecuación 2.</b> Balance hídrico mensual.....	61
<b>Ecuación 3.</b> Ecuación básica del Balance hídrico con entrada y salida .....	73
<b>Ecuación 4.</b> Cálculo de volumen con respecto al caudal y tiempo .....	81
<b>Ecuación 5.</b> Caudal de agua potable.....	83
<b>Ecuación 6.</b> Caudal de riego agrícola.....	83
<b>Ecuación 7.</b> Volumen total disponible en el embalse .....	85
<b>Ecuación 8.</b> Eficiencia hidráulica ( $Eh$ ).....	87
<b>Ecuación 9.</b> Eficiencia volumétrica ( $Ev$ ) .....	87
<b>Ecuación 10.</b> Disponibilidad del sistema (% de tiempo operativo efectivo).....	88
<b>Ecuación 11.</b> Índice sintético de eficiencia global ( $Eg$ ).....	88
<b>Ecuación 12.</b> Caudal teórico de descarga ( $Qt$ ).....	98
<b>Ecuación 13.</b> Pérdida hidráulica ( $Ph$ ).....	98
<b>Ecuación 14.</b> Frecuencia de apertura ( $F$ ).....	100
<b>Ecuación 15.</b> Variación de volumen del embalse .....	102

# “MODELO DE GESTIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL AGUA EN LA PRESA SAN VICENTE PROVINCIA DE SANTA ELENA - ECUADOR”

**Autores:** Wendy Gabriela Flores Tomalá

Romy Alejandra Yagual Alvarado

**Tutor:** Ing. Juan Miguel Rendón Marcillo, Mg.

## RESUMEN

La presente investigación desarrolla un modelo de gestión técnica para la optimización del uso del agua en la Presa San Vicente, ubicada en la provincia de Santa Elena, Ecuador, cuyo objetivo fue establecer una programación operativa eficiente del sistema hídrico Chongón–San Vicente. La metodología se estructuró en tres fases: análisis del balance hídrico y condiciones hidrometeorológicas, evaluación normativa y priorización de usos y diseño de una propuesta de operación manual del bombeo y apertura de compuertas. Se aplicaron procedimientos hidráulicos, registros operativos y parámetros climáticos para determinar los volúmenes de entrada, salida, pérdidas y eficiencia del sistema, fundamentando la toma de decisiones en criterios técnicos y de sostenibilidad.

Los resultados obtenidos demostraron que el embalse San Vicente presenta una eficiencia global de 77.9% en su régimen actual, afectada por pérdidas físicas y maniobras no sincronizadas, mientras que la aplicación del modelo de programación propuesto incrementó la eficiencia a 84.8%, mejorando la estabilidad hidráulica y la continuidad del suministro. El sistema cumple con la prelación legal de usos establecida por la normativa ecuatoriana, garantizando el volumen mínimo para consumo humano y el riego agrícola como uso secundario. La propuesta operativa optimiza el manejo de bombeo y compuertas mediante turnos nocturnos y coordinación técnica, consolidándose como una herramienta viable para la gestión sostenible del recurso hídrico en la zona norte de Santa Elena.

**Palabras clave:** gestión hídrica, embalse San Vicente, programación operativa, eficiencia hidráulica.

# **“MANAGEMENT MODEL FOR OPTIMIZING WATER USE AT THE SAN VICENTE DAM IN THE PROVINCE OF SANTA ELENA, ECUADOR”**

**Authors:** Wendy Gabriela Flores Tomalá

Romy Alejandra Yagual Alvarado

**Tutor:** Ing. Juan Miguel Rendón Marcillo, Mg.

## **ABSTRACT**

This research develops a technical management model for optimizing water use at the San Vicente Dam, located in the province of Santa Elena, Ecuador. The main objective was to establish an efficient operational schedule for the Chongón–San Vicente water system. The methodology was structured in three phases: analysis of the hydrological balance and hydrometeorological conditions, evaluation of the legal framework and prioritization of uses, and design of a manual operational proposal for pumping and gate opening. Hydraulic procedures, operational records, and climatic parameters were applied to determine inflow, outflow, losses, and system efficiency, providing a technically based and sustainable decision-making approach.

The results showed that the San Vicente reservoir currently has a global efficiency of 77.9%, affected by physical losses and unsynchronized operations, while the implementation of the proposed scheduling model increased efficiency to 84.8%, improving hydraulic stability and supply continuity. The system complies with the legal hierarchy of water use established by Ecuadorian regulations, ensuring the minimum volume for human consumption and agricultural irrigation as a secondary use. The proposed operational plan optimizes pumping and gate management through nocturnal shifts and coordinated technical control, consolidating itself as a viable tool for sustainable water resource management in the northern region of Santa Elena.

**Keywords:** water management, San Vicente reservoir, operational scheduling, hydraulic efficiency.

# CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la península de Santa Elena ha enfrentado fuertes presiones de las comunidades ante el acelerado requerimiento de recursos hídricos derivados de la variabilidad climática y la creciente demanda tanto para uso doméstico como agrícola. Para superar este déficit, el Gobierno ecuatoriano culminó la ejecución del megaproyecto Trasvase Chongón–San Vicente, una obra hidráulica emblemática cuyo objetivo es garantizar el riego permanente de aproximadamente 7700 hectáreas en el valle del río Javita y el abastecimiento de agua cruda para uso humano en diversas comunidades de la zona costera (El Telégrafo, 2014b); (Empresa Pública del Agua (EPA), 2019b)

La Presa San Vicente, ubicada en la parroquia Colonche del cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena, genera un embalse regulador clave en este sistema. Aunque fue terminada en 2003, su operatividad efectiva se consolidó tras la inauguración del citado trasvase en 2014, mediante una conducción hidráulica y un sistema de bombeo que traslada un caudal de 4,6 m<sup>3</sup>/s desde el canal Chongón-Sube y Baja hasta el reservorio Leoncito (El Telégrafo, 2014b)

Sin embargo, aunque la infraestructura presenta un gran potencial técnico para su desarrollo, la gestión operativa de la presa presenta desafíos importantes y que deben ser analizados. La operación de compuertas es manual y no tiene un sistema regulado que ayude a su eficiente operatividad, también el sistema de bombeo se activa únicamente en situaciones en las que las conducciones no presentan desperfectos lo cual reduce significativamente la eficiencia del sistema. Por último, se detecta una falta de monitoreo en tiempo real sobre el nivel de agua del embalse, lo que conlleva a activar un plan de gestión para mejorar su operación.

La creciente necesidad de diseñar un modelo de gestión para la presa San Vicente resulta de gran ayuda, debido a que se debe contemplar el balance hídrico del embalse, la regulación eficiente de las compuertas, una gestión de bombeo más oportuna y eficiente de los caudales de entrada cuando se requiera y una programación manual regulada que responda de manera inmediata a las condiciones climáticas variables.

Por tanto, el presente estudio se desarrolla para implementar un modelo de gestión que ayude a la optimización del uso del agua de la presa San Vicente, lo que conlleva a fortalecer la sostenibilidad operativa y mejora la capacidad de respuesta ante una crisis de abastecimiento de agua. El enfoque técnico y operativo del modelo incluirá una programación óptima, análisis de posibles escenarios e indicaciones de desempeño.

Este estudio se desarrolla de la siguiente forma: En el Capítulo I, se presenta la introducción, planteamiento del problema, antecedentes, hipótesis, objetivos, alcance y variables. El Capítulo II abordará el marco teórico, donde se presentarán fundamentación teórica sobre gestión integrada de recursos hídricos, modelos operativos de embalses y simulación hidráulica. En el Capítulo III se detallará la metodología empleada, que incluye definición de datos, herramientas, diseño de balance hídrico y simulación de escenarios. El Capítulo IV presentará el análisis de resultados, incluyendo diagnóstico operativo, propuesta del modelo y simulaciones comparativas. Finalmente, el Capítulo V expondrá las conclusiones y recomendaciones técnicas, institucionales y replicables para otras presas similares.

## **1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

El agua constituye un recurso estratégico y limitado, cuya gestión eficiente es esencial para garantizar la sostenibilidad ambiental, la seguridad alimentaria y el desarrollo económico. En América Latina, la creciente variabilidad climática y la presión por usos múltiples han evidenciado la necesidad de optimizar el manejo de embalses y trasvases, que constituyen piezas clave en la seguridad hídrica de millones de personas (Aggarwal et al., 2018). En Ecuador, la situación no es diferente, las zonas costeras como la provincia de Santa Elena experimentan una alta irregularidad pluviométrica y déficits estructurales de agua, lo que ha derivado en vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento tanto para consumo humano como agrícola (Banco Mundial, 2021a).

Ante esta problemática, el Estado ecuatoriano impulsó el Trasvase Chongón–San Vicente, inaugurado en 2014, con el propósito de garantizar el suministro de agua cruda a más de 85000 habitantes y habilitar el riego de alrededor de 7700 hectáreas agrícolas en el valle del río Javita (El Telégrafo, 2014a). Este sistema descarga sus caudales en la presa San Vicente que se acompaña de un embalse de regulación

ubicado en la parroquia Colonche, cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena que funciona como un punto estratégico para la redistribución de agua destinada a consumo humano, riego y usos productivos agrícolas.

Aunque la magnitud de la inversión fue cuantiosa y la importancia estratégica de la presa son fundamentales, su operación presenta debilidades técnicas que afectan seriamente el rendimiento hídrico. Las compuertas se abren de forma manual y no tiene una programación basada en criterios técnicos o escenarios de oferta y demanda. El bombeo que representa un alto costo energético se efectúa de manera reactiva más que planificada, y las tuberías a presión y los canales de conducción muestran pérdidas considerables por infiltración. Estas limitaciones reducen la eficiencia global del sistema y ponen en riesgo el cumplimiento oportuno de las demandas.

De esta manera, surge la necesidad de diseñar un modelo de gestión para la optimización del uso del recurso hídrico en la presa San Vicente que permita maximizar la eficiencia del embalse, mejorar el uso de la infraestructura y fortalecer el sistema frente a la variabilidad del clima y la presión de las demandas crecientes.

La formulación general del problema se plantea en la siguiente pregunta de investigación:

¿De qué manera el desarrollo de un modelo de gestión puede optimizar el uso del sistema de aguas de la Presa San Vicente, garantizando eficiencia operativa y sostenibilidad en la zona norte de la provincia de Santa Elena?

De esta interrogante se derivan los siguientes problemas específicos:

**P.E.1.** ¿Cuál es la frecuencia óptima de apertura de compuertas en función del caudal, el volumen almacenado y el tipo de descarga?

**P.E.2.** ¿Cómo se distribuye actualmente el caudal, el consumo por cada sistema de conducción y el volumen destinado a agua potable, y de qué manera este análisis permite establecer una distribución equitativa del recurso?

**P.E.3.** ¿De qué forma una propuesta operativa que incluya programación de bombeo en los caudales de entrada y apertura de compuertas en las descargas de salida con personal técnico puede garantizar la continuidad del servicio y evitar vacíos operativos en la presa San Vicente?

La presente investigación busca aportar al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 6: “Agua limpia y saneamiento”, que promueve la gestión sostenible del agua y el acceso equitativo a este recurso esencial (ODS, 2023)

## **1.2. ANTECEDENTES**

El proyecto de investigación actual se centra en la gestión documental, examinando de manera crítica los problemas que se abordan en investigaciones a nivel internacional, nacional y local (García Ramírez, 2019).

A nivel mundial, podemos citar un referente internacional de alto impacto, el estudio de Dash et al. (2023), titulado: “Un marco integrado de operación de embalses para una mejor planificación de los recursos hídricos” este estudio propone un marco integrado para la operación de embalses que combina un modelo hidrológico (SWAT), un simulador hidráulico-operativo de embalses (HEC-ResSim) y un algoritmo genético para optimización multiobjetivo. El objetivo principal de este estudio fue optimizar los parámetros de operación del embalse multipropósito ante la variabilidad del cambio climático, considerando también caudales ambientales como límite funcional. Los autores llevaron a cabo una investigación profunda evaluando el rendimiento del reservorio, denominado Kangsabati, en varios escenarios climáticos (RCP 4.5 y 8.5) y confrontaron las normas actuales con reglas más optimizadas, midiendo el criterio de confiabilidad tanto temporal como volumétrico.

Dentro del marco metodológico, el estudio se llevó en 3 sistemas de procesamiento de datos: (1) SWAT: estimó aportes y demandas basados en principios físicos; (2) HEC-ResSim: simuló el almacenamiento y la descarga usando curvas guía y reglas de zonas operativas; y (3) optimización con algoritmos genéticos balanceando objetivos de almacenamiento liberaciones, cumpliendo demandas bajo incertidumbre climática y de oferta y demanda.

Los resultados de este estudio revelan que SWAT–HEC-ResSim–GA eleva el rendimiento del embalse, lo que logra una confiabilidad de 0,631 de manera temporal y de un valor de 0,736 en volumen. Además, permite actualizar las curvas operativas, lo que ayuda a incorporar requisitos ecológicos manteniendo la calidad del agua y la sustentabilidad de especies.

El estudio concluyó que la simulación y optimización conjunta es una opción concreta y transferible para la planificación y operación adaptable de embalses globalmente, sentando bases para la automatización progresiva y evaluación explícita de incertidumbres en cada decisión.

Otro estudio relevante, es el que realizó Castelletti et al. (2008), titulado: “Control de embalses de agua bajo restricciones económicas, sociales y ambientales” el cual tuvo un aporte innovador para la presente investigación, ya que los autores aplicaron “Aprendizaje por Refuerzo” (Reinforcement Learning, RL) en la operación del embalse multipropósito en el Lago de Como (Italia). El objetivo principal fue mejorar la gestión integrada de recursos hídricos bajo condiciones de alta demanda hidrológica, considerando múltiples usos como abastecimiento urbano, generación hidroeléctrica, agricultura y control de inundaciones.

La metodología que se empleó conllevó el entrenamiento de un algoritmo de “Aprendizaje por Refuerzo” usando criterios hidrológicos pasados junto a simulaciones de escenarios de flujo. Este modelo ayudó de forma significativa en las mejoras estratégicas operativas a través de un proceso iterativo de ensayo conocido como prueba y error, lo que modificó las descargas del embalse según el almacenamiento disponible y las demandas previstas. La gran diferencia con la programación dinámica o reglas fijas permitió tomar decisiones en tiempo real y mejorar el rendimiento general del sistema.

Los resultados mostraron que el modelo de RL redujo significativamente los déficits de suministros agrícola y urbano, al tiempo que mantuvo niveles de seguridad frente a inundaciones. Asimismo, se comprobó que la flexibilidad adaptativa del enfoque superó las limitaciones de las reglas operativas tradicionales, proporcionando un marco replicable para embalses de contextos complejos y con demandas competitivas.

También resalta la investigación desarrollada por Rani y Moreira (2010), titulada: “Modelado de simulación y optimización: un estudio y su posible aplicación en la operación de sistemas de yacimientos”, publicada en la revista *Water Resources Management*. El trabajo implicó una revisión de los enfoques clave de modelado para la operación de sistemas de embalses. Este análisis investigó métodos de simulación y optimización, subrayando cómo la combinación de ambos produjo mejores resultados en la administración del agua.

El propósito fundamental de este estudio radicó en analizar modelos de simulación y optimización individualmente. Luego, se exploró sus aplicaciones conjuntas halladas en la literatura ofreciendo así una visión total de su importancia en la administración de embalses.

De los descubrimientos más importantes, resaltó significativamente la incorporación de estrategias de inteligencia computacional, como la computación evolutiva, la teoría de conjuntos borrosos y las redes neuronales artificiales. Estas herramientas demostraron su gran utilidad en decisiones importantes para una operativa óptima de presas y embalses. Las conclusiones del estudio recalcaron que combinar simulación y optimización no solo ayudó a la precisión al manejar sistemas hídricos complejos, sino que también guio a los gestores para elegir los métodos adecuados y resolver problemáticas particulares que se adaptaban a su entorno.

A nivel regional, destaca el estudio de Zuffo et al. (2023), sobre el Sistema Cantareira en São Paulo, Brasil titulado: “El Sistema Cantareira, el mayor sistema de abastecimiento de agua de Sudamérica: Historia de gestión, crisis del agua y aprendizajes”, el cual es uno de los mayores complejos interconectados de embalses de Sudamérica. El trabajo se sumergió en un estudio de caso histórico y operacional, lo que condujo a decisiones vitales como el dimensionamiento, normas de funcionamiento y la gestión de la demanda que culminaron en la crisis hídrica del 2014 al 2015 y los cambios, tanto técnicos como institucionales, funcionaron.

El enfoque fusionó la revisión de los regímenes de extracción, las curvas guía, además de la coordinación interinstitucional, también, discutiendo implicaciones para la resiliencia del sistema frente a las sequías prolongadas. Para fines de gestión, el artículo enfatizó la utilidad de protocolos de operación adaptativa, métricas de desempeño del suministro urbano y criterios de priorización entre usos, aportando evidencias cómo ajustes en las reglas operativas y en la gestión de la demanda pueden optimizar el uso del agua en sistemas de embalses complejos.

En el contexto latinoamericano, es relevante la investigación de Cai et al. (2020), titulada: “Implementación de modelos holísticos de optimización económica de los recursos hídricos para la gestión de cuencas hidrográficas – Experiencias reflexivas”, publicada en la revista *Environmental Modelling & Software*. El estudio propuso un modelo de optimización holístico que fusionó componentes

hídricos y económicos. Esto sucedió en un esquema de programación matemática. El objetivo final fue maximizar los beneficios económicos del agua, que se usaron en variados sectores productivos. La relevancia de este enfoque se encuentra indudablemente en su capacidad para abordar problemáticas ambientales y económicas simultáneamente que se forjan con herramientas útiles para gestionar integralmente las cuencas hidrográficas.

Los autores examinaron con detenimiento los desafíos metodológicos de la aplicación de modelos como la escala temporal y espacial, el diseño y ajuste de modelos, la interpretación de resultados y la necesidad de datos abundantes y muy precisos. Para resolver esta problemática, se ofrecieron soluciones utilizando un modelo prototipo, visto desde una mirada reflexiva que buscó guiar a los administradores en el uso práctico de la modelación integral. Así, el estudio sirve como un modelo de referencia metodológico para la región andina y latinoamericana. Esto ofrece cimientos conceptuales y técnicos para la planificación del agua y la toma de decisiones sobre cómo usar embalses y sistemas de distribución de agua teniendo en cuenta la sostenibilidad.

A nivel local, podemos citar el estudio de Garófalo y Montalván (2025), titulado: “Evaluación Hidráulica de la Obra de Excedencia de la Presa San Vicente, ubicada en la Provincia de Santa Elena, Universidad de Guayaquil” el cual abordó específicamente la evaluación hidráulica de la obra de excedencia, en este caso el vertedor de la presa San Vicente, con el objetivo de diagnosticar problemas constructivos y proponer medidas correctoras que garantizaran la seguridad hidráulica y la funcionalidad del vertedor durante eventos de crecida. La investigación mezcló levantamientos geométricos de campo y modelado hidráulico. El análisis de capacidades de vertido y el comportamiento de las láminas de agua se complementó con la evaluación visual del paramento y sus elementos asociados como canales de aporte y desagüe.

Realizaron inspecciones en el sitio, intentando identificar obstrucciones y rellenos raros en el paramento. También, evaluaron las dimensiones verdaderas, comparándolas con las del diseño y calcularon flujos hidráulicos variados, verificando conformidad o desviación respecto al diseño original adoptado. Adicionalmente, los autores aconsejaron estudios geotécnicos extras para validar la

estabilidad de la cimentación, así como pruebas no destructivas para identificar fisuras o degradación en ciertas zonas.

El estudio halló relleno que obstruían al vertedor, además de modificaciones en el diseño original y desgaste puntual. Todo disminuyó la descarga y cambió la dinámica hidráulica esperada. Como conclusión técnica y práctica, los autores sugirieron rehacer el perfil del vertedor, quitar los rellenos, intensificar las inspecciones regulares y tomar medidas de mantenimiento estructural, por tanto, se propusieron estudios geológicos y de cimientos para precaver la estabilidad a largo plazo. Estas recomendaciones fueron consideradas críticas para evitar sobrecargas en la presa durante avenidas extremas y para mantener la confiabilidad del sistema de trasvase.

Por otro lado, un informe técnico realizado por la Empresa Pública del Agua (2019a), del proyecto “Trasvase Chongón – San Vicente” incluyó ensayos operativos y datos hidráulicos directos que permitieron cuantificar capacidades y validar supuestos de operación del sistema. En las pruebas de puesta en marcha descritas en el informe técnico se registró, por ejemplo, un bombeo inicial de 2.3 m<sup>3</sup>/s desde la estación Chongón durante la prueba de llenado de la derivadora, dato operativo que permitió estimar tiempos de llenado y régimen de conducción en condiciones de prueba.

En el perfil del proyecto oficial y la memoria técnica desglosaron la extendida longitud de la tubería desde el canal Chongón a la presa San Vicente. Además, se detalló el dimensionamiento de los elementos hidráulicos como los canales, compuertas, y los desagües, con los criterios del diseño del control de erosión y sedimentación en los embalses receptores. Estos documentos revelaron que el sistema fue ideado para garantizar abastecimiento de agua para consumo humano y riego con la cantidad en hectáreas previstas en los perfiles y documentaron, incluso, las medidas constructivas como los revestimientos, geomembranas y desagües de fondo, para así atenuar las pérdidas. Estos registros técnicos (caudales de prueba, longitudes de conducción, disposición de estructuras) aportaron valores reales para formular las restricciones hidráulicas y las capacidades máximas en el modelo de gestión.

## **1.3. HIPÓTESIS**

### **1.3.1. Hipótesis General.**

La implementación de un modelo de gestión técnica basado en criterios hidráulicos y operativos permitirá optimizar el uso del sistema de aguas de la Presa San Vicente, garantizando una distribución eficiente, sostenible y técnicamente fundamentada del recurso hídrico en la zona norte de la provincia de Santa Elena.

### **1.3.2. Hipótesis Específicas.**

**H.E.1.:** La programación técnica de la operación del embalse en función del balance hídrico permitirá atender las demandas de manera oportuna y eficiente cumpliendo con los objetivos del Sistema Trasvase Chongón-San Vicente.

**H.E.2.:** La evaluación del volumen desembalsado en forma estacional permite priorizar las demandas, en función de lo que está legislado en la Constitución del Ecuador y en la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, y planificar su entrega de manera que los costos de operación y mantenimiento sean los más convenientes.

**H.E.3.:** La implementación de una programación operativa adecuada del bombeo en los caudales de entrada y apertura de compuertas para las descargas de salida permitirá contribuir al mantenimiento estable del nivel del embalse y garantizar la continuidad del servicio.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo General.**

Implementar un modelo de gestión técnica basado en criterios hidráulicos y operativos mediante la optimización del uso del sistema de aguas de la Presa San Vicente, para que garantice una distribución eficiente, sostenible y técnicamente fundamentada del recurso hídrico en la zona norte de la provincia de Santa Elena.

### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

**O.E.1.:** Establecer la programación técnica de la operación del embalse en función del balance hídrico atendiendo las demandas de manera oportuna y eficiente cumpliendo con los objetivos del Sistema Trasvase Chongón-San Vicente.

**O.E.2.:** Evaluar el volumen desembalsado en forma estacional priorizando las demandas, en función de lo que está legislado en la Constitución del Ecuador y en la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, planificando así su entrega de manera que los costos de operación y mantenimiento sean los más convenientes.

**O.E.3.:** Diseñar una propuesta que incluya la programación operativa adecuada del bombeo en los caudales de entrada y apertura de compuertas para las descargas de salida, contribuyendo al mantenimiento estable del nivel del embalse y garantizando la continuidad del servicio.

## **1.5. ALCANCE**

El presente estudio se desarrollará en el sistema de aguas de la Presa San Vicente, ubicada en la parroquia Colonche, provincia de Santa Elena, Ecuador. El objetivo central será la elaboración de un modelo de gestión técnica y operativa que optimice el uso del recurso hídrico disponible, garantizando su aprovechamiento eficiente y sostenible.

El análisis se centrará en el comportamiento hidráulico del sistema, considerando sus tres mecanismos principales de descarga: la tubería de conducción cerrada que abastece a los 11 reservorios, el canal abierto para riego que termina en el embalse de Cola y la línea de suministro para agua potable. Para cada uno de ellos se evaluará la capacidad de conducción, el caudal transportado, las pérdidas asociadas y la eficiencia de operación. Asimismo, se estimarán los volúmenes de almacenamiento del embalse y los caudales disponibles en diferentes épocas del año, con el fin de proponer un esquema racional y programado de uso.

Es de vital importancia destacar que este estudio se restringirá a los ámbitos hidráulicos y operativos. No se incluirá evaluaciones específicas relativas a la

calidad del agua, los impactos ambientales o análisis estructurales exhaustivos de la presa, todos ellos requerirán investigaciones adicionales utilizando metodologías especializadas. Sin embargo, se propondrá sugerencias generales acerca de la necesidad de complementar esta tarea con estudios ambientales y estructurales a futuro.

## **1.6. VARIABLES**

### **1.6.1. Variables Independientes.**

- ✓ Modelo de gestión técnica-operativa aplicado al sistema Trasvase Chongón-San Vicente

### **1.6.2. Variables Dependientes.**

- ✓ Optimización del uso del sistema de aguas del Sistema Chongón-San Vicente, expresada en términos de:
  - Eficiencia en la distribución del recurso
  - Reducción de pérdidas hídricas en los procedimientos de operación y manejo.
  - Continuidad y sostenibilidad operativa en el abastecimiento de agua potable y riego agrícola.

# CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

## 2.1 FUNDAMENTOS CONCEPTUALES

### 2.1.1 Gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH)

La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), conocida internacionalmente como IWRM, se define como "un proceso que promueve el desarrollo y la administración coordinados del agua, la tierra y los recursos relacionados, para maximizar el bienestar económico y social de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales" (Global Water Partnership, 2011). Esta definición, respaldada por organizaciones como UNEP y la Global Water Partnership (GWP), sitúa a la GIRH como un paradigma que reemplaza la gestión vertical y fragmentada por una estrategia holística e inclusiva (UNEP, 2024).

#### 2.1.1.1 Principios Fundamentales de la GIRH

El enfoque se cimienta en cuatro principios clave, formulados inicialmente en la Conferencia de Dublín en 1992:

- El agua es un recurso frágil y finito, esencial para la vida, el desarrollo y el entorno natural.
- Gestión participativa, implicando a usuarios, planificadores y autoridades a todos los niveles.
- La mujer desempeña un papel central en la provisión y protección del agua.
- El agua tiene valor económico y social, reconocido en todas sus aplicaciones (Global Water Forum, 2013)

#### 2.1.1.2 Objetivos de la GIRH

Este enfoque busca equilibrar tres dimensiones fundamentales:

- Equidad social: asegurar acceso igualitario al agua para grupos marginados y menos favorecidos.
- Eficiencia económica: lograr el máximo beneficio con los recursos disponibles.

- Sostenibilidad ecológica: asignar a los ecosistemas los caudales necesarios para su funcionamiento natural (Global Water Forum, 2013)

### 2.1.1.3 Aplicación operativa

La GIRH se basa en tres pilares operativos:

- Un entorno propicio, que reúne políticas adecuadas, marcos legales y recursos financieros.
- Instituciones fuertes, capaces de coordinar distintos sectores y niveles de decisión.
- Instrumentos de gestión, como planificación integrada, participación ciudadana y monitoreo.
- Este enfoque se adapta al contexto local, combinando las herramientas más eficaces según las condiciones específicas (Katusiime & Schütt, 2020)

### 2.1.1.4 Relevancia global

La gestión del agua es clave para el cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6, especialmente el objetivo 6.5 que promueve la implementación de la GIRH a todos los niveles. La adopción de la GIRH se entiende como una respuesta al desafío global de gobernanza del agua, situándola como estrategia central para enfrentar crisis hídricas mundiales (Katusiime & Schütt, 2020).

**Figura 1.**

*Estructura del Enfoque de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (IWRM).*



**Nota.** *Obtenido de la Organización de las Naciones Unidas (2008).*

## 2.1.2 Presas y embalses

Las presas son estructuras hidráulicas construidas sobre cauces naturales, cuyo propósito es almacenar y regular el flujo de agua, otorgando control sobre caudales para uso doméstico, riego, generación hidroeléctrica, control de inundaciones, navegación y actividades recreativas (Donald & Guthrire, 2025).

Los embalses son el cuerpo de agua retenida, ya sea por causas naturales o artificiales, y permiten disponer del recurso para periodos secos, controlar crecidas o brindar servicios multifuncionales (Donald & Guthrire, 2025).

### 2.1.2.1 Funciones principales de presas y embalses

- Abastecimiento de agua potable y riego agrícola: retienen agua durante largos periodos para satisfacer necesidades durante la sequía
- Generación de energía hidroeléctrica: convierten la energía potencial del agua embalsada en energía eléctrica mediante turbinas
- Control de inundaciones: almacenan agua excedente en eventos extremos y la liberan progresivamente
- Otros usos: recreación, conservación de hábitats, navegación y uso industrial (Donald & Guthrire, 2025)

### 2.1.2.2 Tipologías de Presas

Según el material de construcción y la geometría estructural, las presas se clasifican de la siguiente manera:

**Tabla 1.**  
*Tipos de presas*

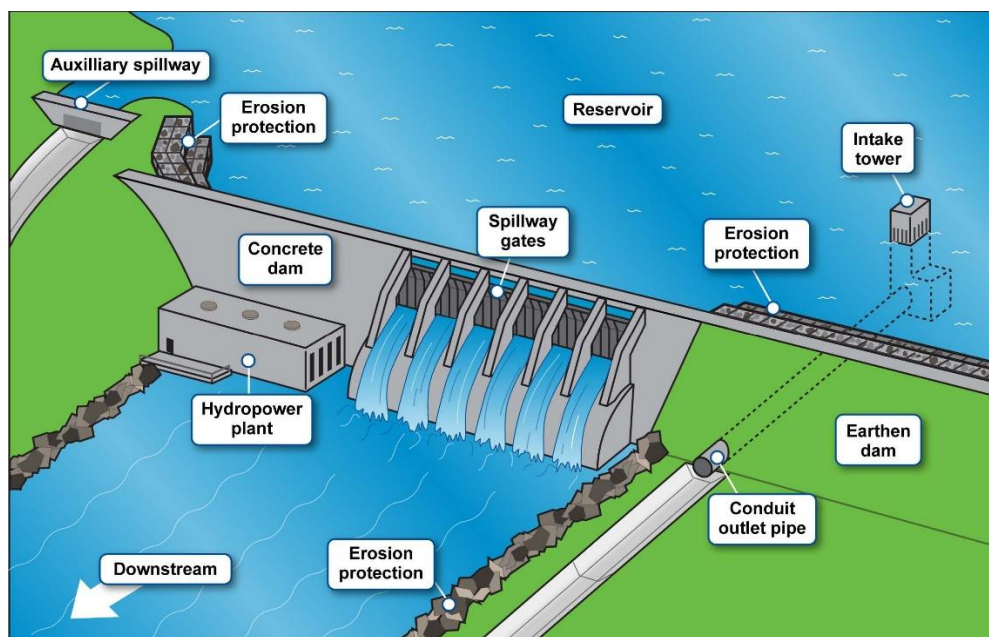
<b>Tipo de presa</b>	<b>Material / Estrategia estructural</b>
Presas de hormigón	Construidas con hormigón convencional o compacto; alta durabilidad y libertad de diseño
Presas de mampostería	De piedra, arena y cemento; usadas comúnmente en construcciones modestas
Presas de materiales sueltos	Hechas con tierra, grava o rocas, reforzadas con pantallas impermeables; económicas y adaptables

Presas de gravedad	Resistentes al empuje del agua por su propio peso; requieren cimientos firmes; pueden ser rectas o curvas
Presas arco	Con forma curva que transfiere esfuerzos a los extremos; ideales para valles estrechos
Presas arco-gravedad	Combinan resistencia del arco con peso del cuerpo; versátiles
Presas aligeradas o de contrafuertes	Utilizan contrafuertes internos para estabilizar estructuras; requieren menos material estructural

**Nota.** *Obtenido de Donald & Guthrie (2025)*

**Figura 2.**

*Características y funcionalidades de una presa de hormigón armado*



Source: GAO. | GAO-16-106

**Nota.** *Obtenido de Donald & Guthrie (2025)*

### 2.1.3 Operación hidráulica de embalses

La operación hidráulica de embalses se fundamenta en el manejo eficiente del almacenamiento y liberación de agua mediante herramientas como las curvas guía “rule curves”, las compuertas y los vertedores.

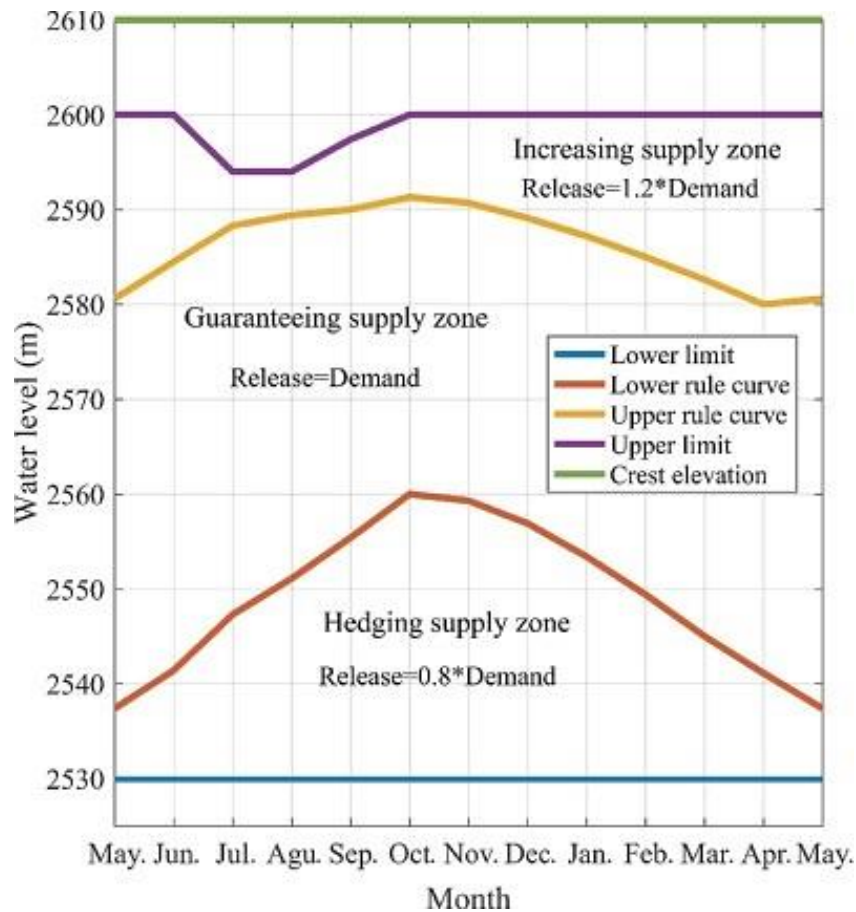
### 2.1.3.1 Curvas guía (rule curves)

Las curvas guía son representaciones volumen-tiempo que definen niveles de operación en distintas épocas del año: almacenamiento pleno, conservación, refriega o sequía. Permiten planificar el llenado y vaciado del embalse mediante zonas operativas estratégicamente definidas, de modo que se equilibren la acumulación de agua para la estación seca, el control de inundaciones y el abastecimiento continuo por usos múltiples como lo son el hidro-agrícola, ecológico y urbano (Cedeño Chávez & Zambrano Loor, 2017).

El ejemplo en la figura 3 muestra cómo se combinan niveles objetivo y restricciones de descarga para mantener estabilidad operativa en distintas temporadas.

**Figura 3.**

*Curvas guía de operación de un embalse multipropósito, que indican niveles objetivo y volúmenes liberados según época del año.*



**Nota.** Esta gráfica ejemplifica cómo se diseñan las “rule curves” para regular llenado y descargas de un embalse. Fuente: ScienceDirect Topics – Rule-Curve (2024)

### 2.1.3.2 Compuertas

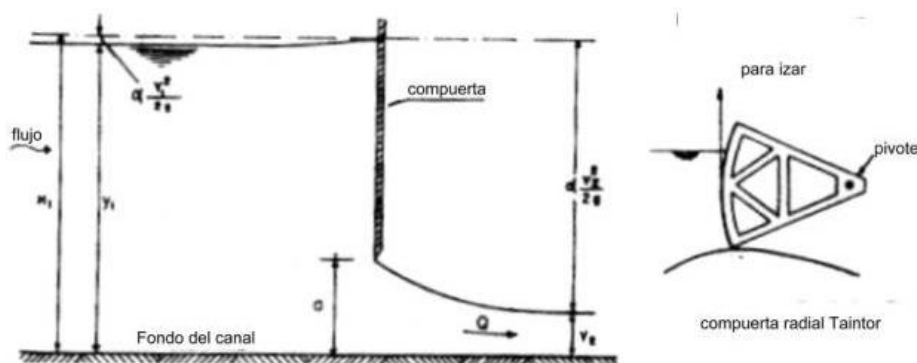
Las compuertas hidráulicas regulan la descarga desde el embalse según criterios operativos o de seguridad. Se clasifican según distintas condiciones:

- Según el flujo aguas abajo: compuerta de descarga libre o sumergida.
- Según su función:
  - ✓ Regulación, para control gradual del caudal en la apertura parcial.
  - ✓ De guarda, funcionan en posiciones cerradas o totalmente abiertas en caso de emergencia.
- Según la geometría: planas como cuadradas y rectangulares, radiales, también de tambor, cilíndricas, etc.
- Según su mecanismo de elevación: deslizantes, rodantes, etc. (Blog Hidráulica-CUC, 2018)

En el contexto de presas, las compuertas son esenciales tanto para liberar agua de forma controlada mediante conductos o canales como para mantenimiento o emergencia.

**Figura 4.**

*Flujo a través de una compuerta plana y de una compuerta radial*



**Nota.** Obtenido de Blog Hidráulica-CUC (2018)

### **2.1.3.3 Vertederos (aliviaderos)**

Los vertederos se utilizan como elementos de seguridad para evitar el desbordamiento de la presa. Son estructuras que permiten el paso libre o controlado del agua excedente, y se diseñan para disipar energía y proteger la infraestructura. Existen vertederos frontales, laterales y especializados, como tipo “pico de pato” o aliviadero tulipa (Rodríguez, 2019).

Los vertederos aseguran:

- La estabilidad de nivel del embalse (previniendo elevaciones críticas).
- Una liberación segura del exceso de agua, especialmente en avenidas extremas
- La disipación de energía para evitar erosión aguas abajo (Pérez, 2016)

#### **Figura 5.**

*Vertedero hidráulico o aliviadero*



**Nota.** *Obtenido de Blog Hidráulica-CUC (2018)*

### **2.1.3.4 Integración operacional**

La operación eficiente de un embalse requiere la armonización de curvas guía, compuertas y vertederos:

- Las curvas guía los volúmenes de agua en un tiempo determinado.

- Las compuertas permiten alcanzar los niveles de agua óptimos mediante la liberación del agua de manera óptima.
- Los vertedores actúan como elementos de seguridad cuando se presentan eventos de excedencia de agua y también como desahogo automático cuando el embalse supera el nivel máximo operativo.

Este enfoque garantiza un manejo eficaz del recurso, visiblemente aplicable al diseño del modelo de gestión para la Presa San Vicente.

### 2.1.4 Balance hídrico en embalses

El balance hídrico es una herramienta esencial para comprender y gestionar eficazmente un embalse, permitiendo cuantificar cómo varía su almacenamiento a lo largo del tiempo según las entradas, salidas y pérdidas. En términos hidráulicos, se enmarca en la ecuación de continuidad o conservación de volúmenes en un sistema de control (Sabaj et al., 2014).

#### 2.1.4.1 Componentes del balance hídrico

Para un embalse, el balance hídrico se puede expresar como:

##### **Ecuación 1.**

*Balance hídrico*

$$\Delta V_{embalse} = Q_{esc} + (P * A_{emb}) - (E_v * A_{emb}) - V_{inf} - V_d - V_v$$

Donde:

$\Delta V_{embalse}$  = variación del volumen embalsado

$Q_{esc}$  = escorrentía superficial aportante

$P * A_{emb}$  = precipitación sobre la superficie del embalse

$E_v * A_{emb}$  = evaporación (o evapotranspiración) multiplicada por área

$V_{inf}$  = infiltración o filtración interna

$V_d$  = demanda o consumo por usos (potable, riego)

$V_v$  = volumen vertido o despachado por compuertas o vertederos (Sabaj et al., 2014)

#### 2.1.4.2 Entradas, salidas y almacenamiento

- Entradas: incluyen la esorrentía como la afluencia del río o cuenca, precipitación directa sobre el embalse y, en algunos casos, trasvases desde otros sistemas.
- Salidas: abarcan consumo de agua potable o riego, vertido por compuertas o vertederos, evaporación desde la superficie y filtración por la estructural.
- Almacenamiento: volumen real que se mantiene en el embalse, que se modifica según el balance entre entradas y salidas (Celi Contreras & Vélez Arcentales, 2013)

**Tabla 2.**

*Elementos clave y su influencia en el control de entradas, salidas y almacenamiento*

Componente	Descripción
Precipitación ( $P$ )	Aporte directo sobre la superficie del embalse.
Esorrentía ( $Q_{esc}$ )	Aporte desde la cuenca, calculado por aforos o modelos hidrológicos.
Evaporación ( $E_v$ )	Pérdida desde la superficie, calculada por métodos físicos o modelos empíricos.
Infiltración ( $V_{inf}$ )	Filtración de agua hacia estructuras o substrato permeable.
Demanda/Consumo ( $V_d$ )	Volumen destinado a abastecimiento o riego.
Vertido ( $V_v$ )	Descarga controlada a través de compuertas o vertederos.

**Nota.** *Obtenido de Sabaj et al. (2014)*

En la práctica, este balance se utiliza como base para calibrar modelos de simulación (como HEC-ResSim o WEAP) y realizar análisis de escenarios (sequía, estiaje, avenidas). Por ejemplo, en el embalse Macul 1, se aplicó



energía y protección de ecosistemas. En sistemas de riego, por ejemplo, se logra mediante métodos como el riego por goteo, que reduce evaporación y escorrentía, o mediante la optimización de infraestructuras para minimizar pérdidas (Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2021).

#### ***2.1.5.2 Eficiencia energética en bombeo y distribución***

El bombeo representa uno de los mayores consumidores de energía en sistemas de agua. Según el IIGE, más del 95 % del costo de ciclo de vida de una bomba proviene de su consumo energético. La eficiencia depende tanto de la selección adecuada del equipo como de su operación óptima (sobredimensionamiento conduce a ineficiencias) (Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2021)

Indicadores clave son:

- ESE (Eficiencia de Suministro Energético): porcentaje de energía utilizada para generar caudal y presión útil en el sistema.
- EEB (Eficiencia Energética del Bombeo): relación entre energía hidráulica entregada y energía eléctrica consumida.
- EEG (Eficiencia Energética General): producto de  $ESE \times EEB$ , reflejando el rendimiento global del sistema (hasta 80 % en instalaciones óptimas) (Huertas, 2018)

#### ***2.1.5.3 Relación entre agua y energía: el Water–Energy Nexus***

El ciclo del agua y la energía están profundamente interconectados, puesto que la extracción, tratamiento, transporte y distribución del agua requiere energía, y cada litro de agua no desperdiciado implica ahorro energético. La Agencia Internacional de la Energía proyecta que la demanda energética del sector hídrico podría duplicarse para 2040, aunque aún existen grandes reservas de eficiencia por explotar, especialmente en el manejo de aguas residuales y pérdidas de red (Agencia Internacional de la Energía, 2023)

En sistemas urbanos, hasta el 7 % del consumo energético global se destina solo al suministro de agua, y las fugas intensifican el consumo eléctrico, ya que se bombea agua que nunca llega al usuario final (Agencia Internacional de la Energía, 2023)

## **2.2 GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN CONTEXTOS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA**

### **2.2.1. Impactos de El Niño y La Niña en la gestión del agua en Ecuador**

El Fenómeno El Niño–Oscilación del Sur (ENSO) constituye la principal fuente de variabilidad interanual del clima en Ecuador, condicionando la disponibilidad hídrica, la seguridad alimentaria y la planificación de infraestructuras hidráulicas. Durante la fase cálida conocida como El Niño, se produce un incremento anómalo de la temperatura superficial del mar en el Pacífico central y oriental, lo que intensifica la convección atmosférica y genera precipitaciones extraordinarias en la región costera. En contraste, la fase fría denominada La Niña suele ocasionar déficit de lluvias en la costa y en ciertas cuencas interandinas, mientras que en la Amazonía tienden a registrarse anomalías pluviométricas de signo variable (NOAA, 2018; CIIFEN, 2016)

En Ecuador, los impactos de El Niño se han traducido históricamente en inundaciones, deslizamientos, pérdidas de infraestructura y daños en los sistemas de abastecimiento de agua. El evento de 1982–1983 ocasionó pérdidas estimadas en más del 10 % del PIB nacional, al afectar drásticamente la agricultura y la red vial. De manera similar, el episodio de 1997–1998 generó precipitaciones extremas que provocaron el colapso de obras hidráulicas menores, sedimentación acelerada en embalses y serios problemas de distribución hídrica en la costa (Porras Armenta, 2016; Thielen et al., 2023). En el caso más reciente, se encuentra el fenómeno costero de 2017 el cual concentró lluvias intensas en la región litoral, lo cual produjo los desbordamientos de ríos y daños en sistemas de conducción de agua y de esta manera se evidenció la vulnerabilidad de las infraestructuras de regulación y distribución frente a la variabilidad climática (Rollenbeck et al., 2022).

La fase del fenómeno de La Niña se ha estado asociada a sequías que afectan directamente a la agricultura y el almacenamiento en embalses. La disminución de aportes hídricos obliga a priorizar la distribución para consumo humano en detrimento del riego agrícola y de esta manera se ve afectado la seguridad

alimentaria y en la planificación operativa de presas, es así como en el período 2010–2011 se registraron déficits de hasta el 40 % en los caudales aforados en la costa ecuatoriana, lo que forzó la activación de planes de contingencia y la redistribución de recursos limitados (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016).

Desde la perspectiva de la gestión de presas, uno de los impactos de ENSO imponen desafíos tanto por exceso como por déficit de agua. En años donde se produjo el fenómeno de El Niño, los embalses deben disponer de curvas guía dinámicas que permitan descargas preventivas controladas par que de esta manera se evite las grandes presiones en la estructura de la presa, además de planes de mantenimiento ante la sedimentación y erosión intensificada. En los años donde se manifiesta el fenómeno de La Niña, la gestión se centra en la programación eficiente de las descargas, así como el uso racional del volumen útil y la priorización de usos esenciales bajo escenarios de escasez. La experiencia nacional ha demostrado que la ausencia de protocolos adaptativos limita la capacidad de respuesta frente a crisis hídricas recurrentes (Pineda et al., 2023).

En definitiva, los fenómenos tanto de EL Niño y La Niña constituyen factores determinantes en la gestión hídrica del Ecuador, ya que de esta forma se definen la operatividad de los embalses y la sostenibilidad del suministro. La integración de pronósticos climáticos en la planificación operativa y el diseño de reglas de manejo adaptativas se presentan como herramientas estratégicas para reducir la vulnerabilidad de sistemas como la Presa San Vicente frente a la variabilidad climática y garantizar un abastecimiento confiable para la población y los sectores productivos.

### **2.2.2. Riesgos de sequías y excedencias hídricas en zonas áridas y semiáridas**

En las zonas áridas y semiáridas de Ecuador, la severidad y frecuencia de las sequías hidro-meteorológicas representa una amenaza creciente para la disponibilidad de agua, afectando tanto los ecosistemas como la operación de infraestructura hídrica. La tendencia de disminución pluvial en la costa ecuatoriana y la ampliación de los periodos secos agravan la vulnerabilidad de sistemas como la Presa San Vicente (García-Garizábal, 2017)

Las sequías se identifican mediante índices como el SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index). Un análisis entre 2001 y 2018 reveló que las zonas costeras experimentaron periodos críticos de sequía de hasta 10 meses en 2005 y 6 meses en 2018, con niveles de severidad extremos ( $\text{SPEI} < -1,0$ ), lo cual impacta directamente en el almacenamiento embalsado y en la presión sobre el recurso hídrico (Sáenz et al., 2021)

**Tabla 3.**

*Principales episodios de sequía en regiones de Ecuador (2001–2018)*

Región	Año	Duración (meses)	Severidad (SPEI)	Intensidad
Costa	2005	10	-14.25	-1.43
Costa	2018	6	-6.79	-1.13
Andes	2005	13	-17.80	-1.37
Andes	2018	6	-7.16	-1.19
Amazonía	2005	6	-7.57	-1.26
Amazonía	2018	6	-7.35	-1.23

**Nota.** *Obtenido de Sáenz et al. (2021)*

La persistencia de dichos eventos impone desafíos técnicos concretos:

- Reducción del volumen embalsado, lo cual compromete la capacidad de respuesta ante demanda potable y riego.
- Aumento de la presión sobre recursos limitados, obligando a priorizar usos y activar medidas de consumo racional.
- Programación operativa más rígida, con necesidad de apertura controlada de compuertas y programación de bombeo eficiente.
- Elevación del riesgo energético, pues el suministro de agua para generación hidroeléctrica puede colapsar, afectando la red eléctrica nacional (Reuters, 2024).

Durante la reciente crisis hídrica, Ecuador afrontó cortes de energía que duraron hasta 14 horas diarias debido a la caída crítica en niveles de embalses hidroeléctricos, muchos de los cuales dependen de fuentes captadas en zonas áridas y semiáridas (Reuters, 2024).

### 2.2.3. Estrategias adaptativas en la operación de embalses

La operación adaptativa de embalses constituye una estrategia avanzada que integra sistemas de monitoreo, pronósticos climáticos y reglas de operación flexibles para responder dinámicamente a la variabilidad hidrológica climática. Estas estrategias permiten balances más resilientes entre almacenamiento, descarga y asignación del agua (Yu et al., 2025).

Componentes esenciales

Un sistema adaptativo típico incorpora:

- Monitoreo de forma continua sobre el nivel de agua en el embalse, precipitación y caudales.
- Pronósticos hidrológicos y climáticos especialmente el modelo ENSO.
- Reglas operativas variables como lo son las curvas guía condicionales según los escenarios previstos.
- Mecanismo de ajuste iterativo en tiempo real ante desviaciones operativas.

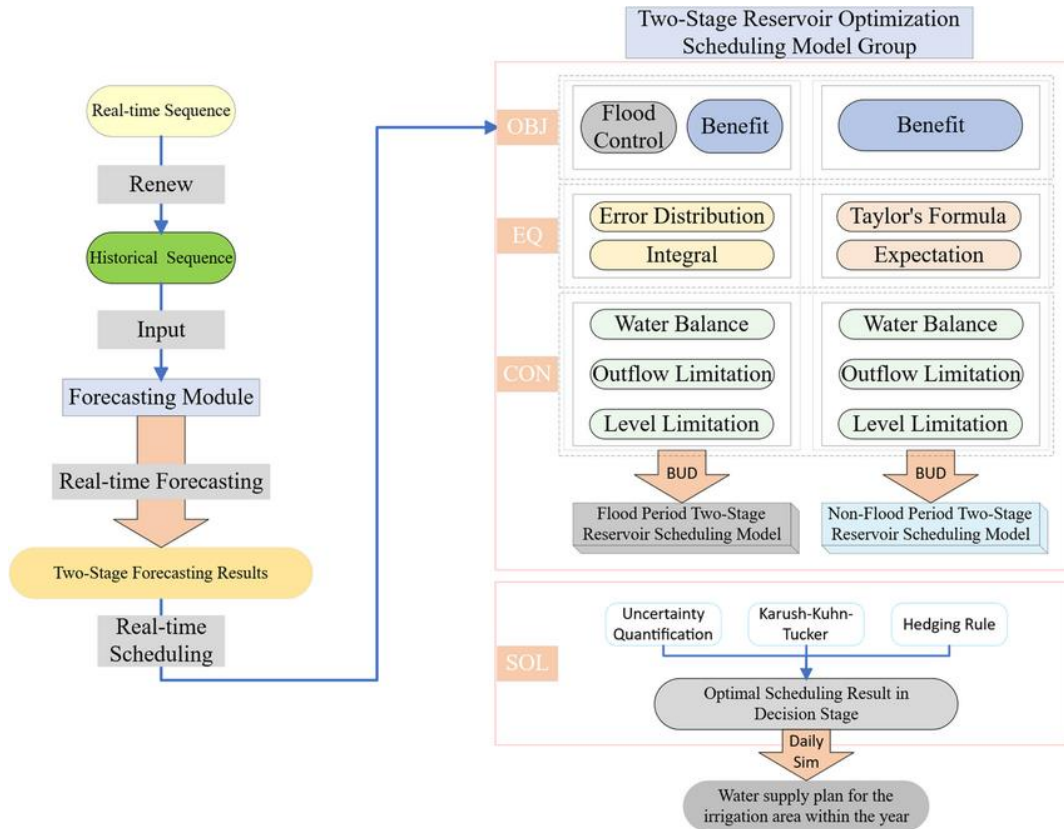
Yu et al. (2025), en su estudio presentan un flujo operativo adaptativo que ajusta las liberaciones hidráulicas del embalse en función de pronósticos meteorológicos a corto plazo, lo que ayuda a optimizar la respuesta operativa según riesgos anticipados, por lo tanto, este enfoque adaptativo permite manejar situaciones extremas con mayor efectividad.

Kiem y Franks (2002), evidenciaron mejoras significativas en la seguridad contra sequías mediante la utilización de indicadores climáticos predictores (como ENSO) que anticipan periodos secos, lo que reduce la vulnerabilidad del sistema y aumenta la confiabilidad de abastecimiento.

Un enfoque híbrido adaptativo que se trata de la modelación más la optimización fue desarrollado por Biglarbeigi et al. (2020), permite evaluar la operación del embalse bajo escenarios climáticos futuros para derivar políticas de asignación óptimas, elevando los niveles de confiabilidad y resiliencia del sistema (Biglarbeigi et al., 2020).

**Figura 7.**

*Diagrama de flujo de un modelo de operación adaptativa de embalses, que integra pronósticos, monitoreo y reglas operativas dinámicas.*



**Nota.** Muestra la evolución temporal de estos indicadores en distintos períodos, reflejando la variabilidad del sistema. Fuente: Liu et al. (2025)

## 2.3 USOS DEL AGUA EN SISTEMAS MULTIPROPÓSITO

### 2.3.1. Abastecimiento de agua potable: criterios técnicos y de demanda

El abastecimiento de agua potable debe garantizar una cantidad suficiente, calidad segura y disponibilidad continua para toda la población. Las variables técnicas esenciales incluyen estándares de consumo per cápita, diseño de red, almacenamiento regulador y normativas vigentes.

#### 2.3.1.1 Consumo per cápita y necesidades mínimas

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que el volumen mínimo diario para cubrir necesidades básicas (hidratación, higiene, cocina)

es de alrededor de 20 litros por persona, mientras que en emergencias humanitarias se suele garantizar un mínimo de 15 l/p/día

En contextos urbanos de Ecuador, el consumo municipal promedio es significativamente mayor. En Quito, el consumo per cápita se ha estimado entre 142 y 176 litros por habitante por día, aunque el valor recomendado por criterios técnicos es de 100 l/p/día

A nivel nacional, el consumo promedio ha sido estimado en 151 l/p/día, aunque existen variaciones territoriales, y provincias costeras como Santa Elena superan esta cifra (Instituto del Agua, 2018)

### ***2.3.1.2 Diseño técnico del sistema de abastecimiento***

El diseño de un sistema eficiente considera:

- **Demanda máxima diaria:** evalúa el pico esperado de consumo para dimensionar tratamiento y almacenamiento.
- **Capacidad de almacenamiento regulador:** se recomienda reservar un volumen equivalente a entre 12 y 24 horas de consumo promedio para responder a fluctuaciones o fallas temporales.
- **Presión de red adecuada:** para lograr servicio continuo y reducir fugas, se requiere mantener presiones entre 30 y 60 m de columna de agua en la red de distribución.
- **Calidad del agua:** debe cumplir la normativa ecuatoriana INEN 1108, que exige agua inodora, insípida, transparente y libre de patógenos (Instituto del Agua, 2018)

### ***2.3.1.3 Normativa y gestión técnica en Ecuador***

La Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA) ha emitido regulaciones clave:

- **Regulación DIR-ARCA-RG-011-2022:** impone la obligación de presentar planes de uso eficiente del agua, con instalación de medidores y control de pérdidas en sistemas públicos y comunitarios
- **Regulación DIR-ARCA-RG-003-2016 (reformada):** exige reporte anual sobre operación, infraestructura y gestión de los sistemas de agua potable, con el fin de evaluar su desempeño técnico y operativo

- Resolución DIR-ARCA-006-2017: define criterios técnicos y actuariales para calcular costos sostenibles y tarifas justas de los servicios de agua potable y saneamiento (Agencia de Regulación y Control del Agua, 2025)

Estas normativas apoyan la gestión técnica, garantizando transparencia, eficiencia y cobertura equitativa del servicio, y brindan el marco regulatorio para diseñar sistemas sostenibles.

### **2.3.2. Riego agrícola**

El riego agrícola representa uno de los principales usos del agua en el sistema multipropósito. La eficiencia en su aplicación impacta directamente la sostenibilidad del recurso hídrico.

#### ***2.3.2.1 Dotaciones y estándares técnicos***

Las dotaciones de riego se refieren al volumen de agua requerido por hectárea para satisfacer las necesidades del cultivo durante el ciclo productivo. En Ecuador, los sistemas tradicionales cubren solo una parte de la demanda real, con escasa adopción de tecnologías eficientes (Banco Mundial, 2021b). Se estima que los pequeños y medianos productores utilizan métodos tradicionales en el 93 % de las 338 000 hectáreas irrigadas, lo que limita gravemente la eficacia del uso del agua (Banco Mundial, 2021b).

#### ***2.3.2.2 Eficiencia de riego y tipos de pérdidas***

La eficiencia del riego se descompone en:

Eficiencia de conducción: porcentaje de agua que llega desde la fuente hasta los campos. En Ecuador, se ha reportado una eficiencia promedio del 78,8 % en sistemas de conducción (Tumbaco), mientras que la eficiencia de distribución alcanza solo el 37,9 % y la eficiencia de aplicación el 60,7 %, lo que resulta en una eficiencia global del sistema del 18,2 %, calificada como pobre (Ortiz Calle et al., 2021).

Eficiencia por método de riego:

- Tradicional (inundación): 30 %–40 %

- Riego por surcos: 55 %–70 %
- Riego por goteo: hasta 95 % (Banco Mundial, 2021b).

Principales pérdidas:

- Escorrentía y percolación profunda (superficie)
- Evaporación y deriva por viento (aspersión)
- Filtración e ineficiencia en canaletas tradicionales

**Tabla 4.**

*Tabla comparativa de eficiencia según método de riego*

Método de riego	Eficiencia (%)
Inundación	30–40 %
Surcos	55–70 %
Aspersión	50–90 %
Goteo (tecnificado)	65–95 % (hasta 95 %)

**Nota.** *Obtenido de ScienceDirect Topics (2025)*

### **2.3.2.3 Estrategias para reducir pérdidas**

Mantenimiento y limpieza de canales: En Ecuador solo el 64 % de la superficie irrigada recibe agua efectiva, debido a fallas operativas y obstrucciones en la infraestructura. La limpieza periódica de canales mejora significativamente la eficiencia del sistema (Agencia de Regulación y Control del Agua, 2025)

Tecnificación del riego: La implementación de riego por goteo ha demostrado un incremento de eficiencia, reduciendo el consumo de agua y aumentando los rendimientos, siendo una práctica clave para enfrentar la escasez hídrica (Serrano Pérez, 2025)

### **2.3.3. Caudales ecológicos**

La asignación de caudales ecológicos (también denominados caudales ambientales o ambientales) es esencial para garantizar la integridad de los ecosistemas fluviales al regular el volumen y régimen de descargas necesarias para sustentar hábitats, funcionalidad ecológica, calidad del agua y servicios

ecosistémicos. Su integración constituye una pieza clave en una gestión hídrica multipropósito equilibrado.

### ***2.3.3.1 Importancia ecológica y funcional***

Los caudales ecológicos permiten mantener procesos vitales como migración de peces, reproducción de macroinvertebrados, transporte de sedimentos, renovación de hábitats y soporte de vegetación ribereña. Su omisión genera impactos negativos sobre biodiversidad, conectividad ecológica y salud del sistema acuático (Madroñero Palacios & Mafla Chamorro, 2023).

### ***2.3.3.2 Métodos de estimación***

Métodos hidrológicos: se basan en series estadísticas históricas para derivar porcentajes mínimos del caudal promedio o cuantiles. Ejemplos:

- Tennant-Montana en 1976 obtuvieron un porcentaje estándar del 10 % a 30 % del caudal promedio anual.
- Curva de permanencia, métodos asturiano, suizo, método ecuatoriano (5 % del promedio anual), referenciales normativos peruanos, entre otros (Alvarez Villanueva & Huamán Vidaurre, 2022)

Métodos hidráulicos y eco-hidráulicos: Estos métodos integran evaluación de hábitats físicos mediante modelos como PHABSIM o MesoHABSIM y de esta forma se permite relacionar el caudal con métricas de calidad de hábitat.

Modelos holísticos o integrados: Combinan dimensiones hidrológicas, ecológicas y socioeconómicas, por ejemplo, un estudio reciente en Costa Rica donde se aplicó una metodología integral en la cuenca del Río Tempisque para determinar caudales útiles desde una visión ecosistémica y participativa (Chavarría-Pizarro et al., 2024)

Simulación–optimización integrada: framework técnico que acopla simuladores hidráulicos con algoritmos de optimización multiobjetivo (p. ej., ANFIS, difusos) para alcanzar caudales ecológicos compatibles con la provisión de agua y la preservación ambiental (Sedighkia et al., 2023)

# CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

## 3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

### 3.1.1. Tipo.

De acuerdo con Hernández-Sampieri (2018), la investigación *aplicada* busca resolver problemas concretos mediante el uso de conocimientos científicos, orientándose hacia la práctica y la toma de decisiones en contextos específicos. En este sentido, la presente tesis corresponde al tipo aplicada, ya que se centra en diseñar e implementar un modelo de gestión técnica y operativa para optimizar el uso del agua en la Presa San Vicente, en la provincia de Santa Elena, Ecuador.

El estudio no se limita a la descripción del estado actual, sino que pretende generar lineamientos técnicos para la programación eficiente del bombeo en los caudales de entrada y la apertura de compuertas en las descargas de salida, priorizando una distribución óptima del recurso hídrico, aplicando principios de hidráulica y normativas vigentes. Así, se articula la teoría con la práctica en un contexto de alta relevancia social y ambiental.

### 3.1.2. Nivel.

Según Vizcaíno Zúñiga et al. (2023), la investigación aplicada puede desarrollarse en diferentes niveles, siendo el explicativo uno de los más relevantes al permitir comprender relaciones causales entre variables y generar propuestas de intervención. El presente estudio se ubica en un nivel *descriptivo-explicativo*.

En primer lugar, es descriptivo porque caracteriza el comportamiento hidráulico de la presa, sus mecanismos de descarga y la distribución actual del recurso. En segundo lugar, es explicativo porque analiza las relaciones entre la gestión operativa las cuales son la programación de compuertas y bombeo en los caudales de entrada y los resultados en términos de eficiencia hídrica.

Finalmente, al formular un modelo de gestión aplicable en la operación diaria, adquiere un carácter propositivo, ya que busca incidir directamente en la optimización del sistema para garantizar un abastecimiento sostenible de agua potable y riego agrícola.

## **3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.2.1. Método.**

El método aplicado en el presente estudio es *no experimental*, ya que no se manipulan las variables del sistema hidráulico, sino que se analizan los datos reales obtenidos del funcionamiento operativo de la Presa San Vicente. De acuerdo con Hernández-Sampieri (2018), el método no experimental se emplea cuando el investigador observa los fenómenos en su contexto natural, sin intervenir en ellos, con el fin de comprender su comportamiento y proponer soluciones técnicas fundamentadas.

En este sentido, la investigación se basa en la observación y análisis técnico-operativo del sistema de almacenamiento, bombeo en los caudales de entrada y descarga del embalse, empleando información proveniente de la Empresa Pública del Agua (EPA). Estos datos permiten desarrollar un diagnóstico hidráulico y operativo, identificar ineficiencias y formular una propuesta de modelo de gestión técnica-operativa sustentada en principios de hidráulica aplicada, balance hídrico y normativa ecuatoriana vigente.

De esta manera, el método se orienta hacia la aplicación analítica y propositiva del conocimiento científico, estableciendo lineamientos técnicos de programación de bombeo para los caudales de entrada y apertura de compuertas en las descargas de salida de la presa, que mejoren la eficiencia hídrica del sistema, sin alterar físicamente sus condiciones reales.

### **3.2.2. Enfoque.**

El estudio adopta un enfoque *cuantitativo-analítico*, al sustentarse en la recopilación y procesamiento de datos numéricos provenientes de registros técnicos e hidrológicos. Como señalan Vizcaíno Zúñiga et al. (2023), el enfoque cuantitativo permite obtener resultados objetivos y verificables mediante la aplicación de procedimientos estandarizados y cálculos basados en magnitudes físicas medibles.

En este contexto, se analizan variables tales como caudales de entrada y salida, volúmenes almacenados, dotaciones para consumo humano y riego agrícola. Estos parámetros son tratados estadística e hidráulicamente, permitiendo identificar

patrones de comportamiento y proponer medidas de optimización operativa, conforme a criterios técnicos y normativos.

El enfoque cuantitativo se complementa con un componente propositivo, en el cual los resultados del análisis se traducen en una metodología de gestión hidráulica aplicable a la operación real de la presa.

### **3.2.3. Diseño.**

El diseño de la investigación es *no experimental, descriptivo y propositivo*. Según Gavilánez (2021), un diseño *no experimental* se aplica cuando el investigador analiza fenómenos existentes sin manipular deliberadamente las variables, limitándose a observarlos tal como ocurren en su contexto operativo.

Este estudio describe y analiza la dinámica de funcionamiento del embalse San Vicente como los niveles, descargas, bombeo de caudales de entrada y distribución a partir de información documentada y registros históricos. El componente *descriptivo* permite caracterizar técnicamente las condiciones actuales del sistema, mientras que el componente *propositivo* se enfoca en el diseño de un modelo de gestión técnica-operativa, que articula los datos recolectados con principios hidráulicos, criterios de eficiencia hídrica y disposiciones normativas.

Así, el diseño metodológico se orienta a plantear una propuesta aplicable, sin requerir pruebas experimentales, sino mediante análisis técnico-documental y validación conceptual de los criterios de operación más adecuados para garantizar una gestión sostenible del recurso hídrico.

## **3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO**

### **3.3.1. Población.**

Según Arias & Covinos, (2021), la población se entiende como el conjunto total de elementos, individuos o eventos que comparten características similares y que son objeto de análisis en una investigación. En el presente trabajo, la población está conformada por el sistema hídrico-operativo de la Presa San Vicente, que incluye el embalse, las estaciones de bombeo en los caudales de entrada, las compuertas de descarga y los canales de conducción asociados al Sistema Trasvase Chongón–San Vicente.

Asimismo, se consideran parte de esta población los sectores abastecidos por la presa, entre ellos las comunidades urbanas y rurales de la zona norte de la provincia de Santa Elena, así como los usuarios agrícolas que utilizan el recurso para riego y producción alimentaria.

Por tanto, la población de estudio se define en términos técnicos e hidrológicos, abarcando los elementos estructurales y operativos del sistema y sus interacciones con la demanda de agua potable y riego agrícola.

### **3.3.2. Muestra.**

De acuerdo con Arias & Covinos, (2021), la muestra es una parte representativa de la población que se selecciona para realizar un estudio, con el fin de obtener conclusiones generalizables. En este caso, la muestra está compuesta por los registros hidrológicos y operativos de la presa San Vicente en los últimos diez años, incluyendo datos de caudales, volúmenes almacenados, consumos de agua potable, volúmenes destinados a riego, y registros de operación de compuertas y bombeo de caudales de entrada. Estos datos permiten analizar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones no estacionales y de demanda.

### **3.3.3. Muestreo.**

Hernández Sampieri & Mendoza Torres, (2018), señalan que el muestreo es la técnica utilizada para seleccionar una muestra que represente adecuadamente a la población, asegurando validez y confiabilidad en los resultados. El presente estudio aplica un muestreo no probabilístico intencional, ya que se seleccionan de forma deliberada los datos hidrológicos y operativos que resultan más relevantes para los objetivos de investigación. La elección se basa en criterios de disponibilidad, calidad de registros y representatividad de los diferentes usos del agua. Este enfoque garantiza que los análisis se centren en la información crítica que refleja la eficiencia hídrica del sistema.

## **3.4. UBICACIÓN Y SECTOR DE ESTUDIO**

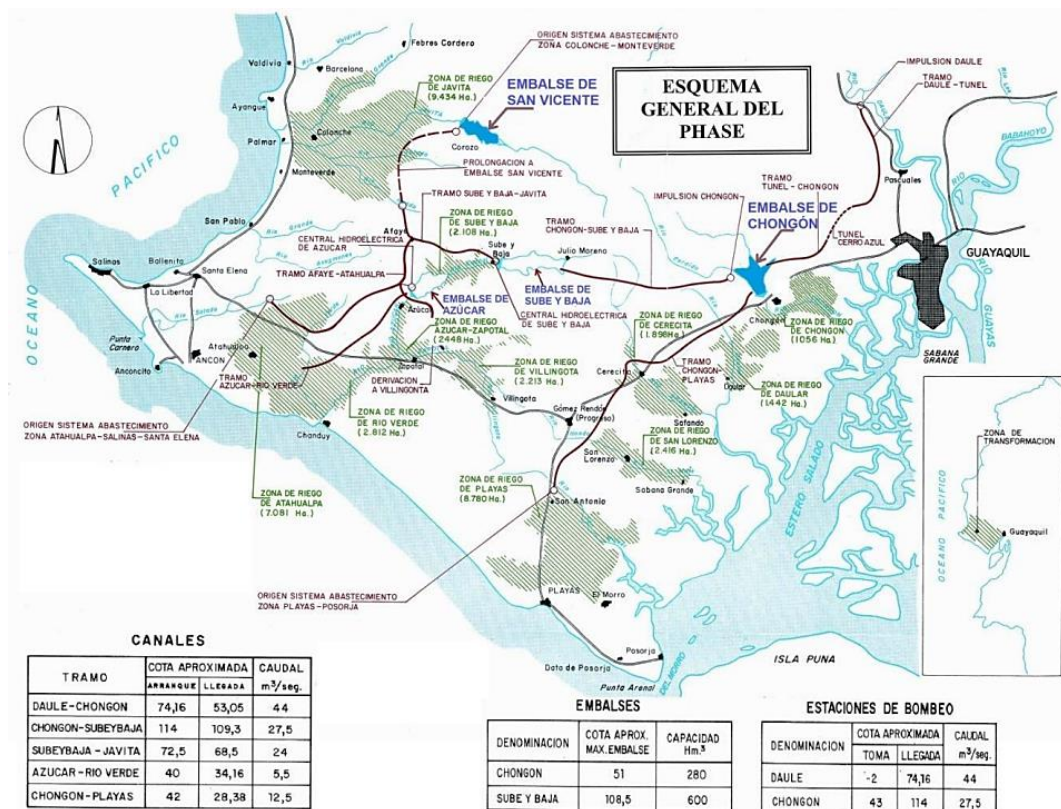
La zona de estudio corresponde al sistema hídrico regulado por la Presa San Vicente, localizada en la parroquia Colonche, cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena, Ecuador. Este embalse constituye el punto de regulación del Trasvase Chongón–San Vicente, infraestructura que conduce caudales provenientes del

Canal Chongón–Sube y Baja a través de la conducción hidráulica, compuesta por tramos de tubería PRFV y canal abierto, hasta llegar al reservorio regulador.

La presa fue creada con el propósito de garantizar el abastecimiento de agua potable a más de 85581 habitantes y proveer riego permanente a aproximadamente 7700 hectáreas agrícolas en el valle del río Javita, convirtiéndose en un nodo estratégico para el desarrollo productivo y la seguridad hídrica de la provincia (Empresa Pública del Agua (EPA), 2019a).

En términos técnicos, el embalse posee un volumen máximo de almacenamiento de 42 hm<sup>3</sup>, de los cuales 36 hm<sup>3</sup> corresponden a volumen útil y 6 hm<sup>3</sup> a volumen muerto. La cota máxima de explotación se encuentra a 65 m s.n.m., mientras que el nivel operativo máximo está en 57,5 m s.n.m., y el nivel máximo de avenidas alcanza los 67,67 m s.n.m. El sistema cuenta con tomas y descargas equipadas con tuberías y compuertas de diferentes diámetros, además de un vertedero de excedencias, permitiendo una operación flexible del caudal destinado a consumo humano, riego y descargas de seguridad.

**Figura 8.**  
*Ubicación del Proyecto Trasvase Chongón – San Vicente*



**Nota.** CEDEX (1979)

### 3.5. METODOLOGÍA DEL O.E.1.: PROGRAMACIÓN TÉCNICA DE LA OPERACIÓN DEL EMBALSE EN FUNCIÓN DEL BALANCE HÍDRICO

#### 3.5.1. Recolección de datos hidrometeorológicos

La programación técnica de la operación del embalse San Vicente requiere disponer de información confiable y actualizada de las condiciones hidrometeorológicas de la cuenca aportante y de la superficie del embalse. Según el Informe de la Presa San Vicente, (2020), la gestión hidráulica del sistema depende de tres variables principales:

- Precipitación efectiva sobre la superficie del embalse.
- Evaporación directa desde el espejo de agua.
- Caudales de aporte provenientes del Trasvase Chongón–San Vicente y esorrentía local.

Para este estudio, los datos fueron recopilados a partir de dos fuentes principales:

- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI): series históricas de precipitación y evaporación en estaciones cercanas a Colonche y Chanduy.
- Empresa Pública del Agua (EPA): registros de operación del Trasvase Chongón–San Vicente, incluyendo caudales bombeados y entregados al embalse.

La información se sistematizó para elaborar un balance hídrico preliminar, es decir, las entradas y salidas que permitirá programar técnicamente la operación de bombeo en los caudales de entrada y apertura de compuertas en las descargas de salida.

**Tabla 5.**

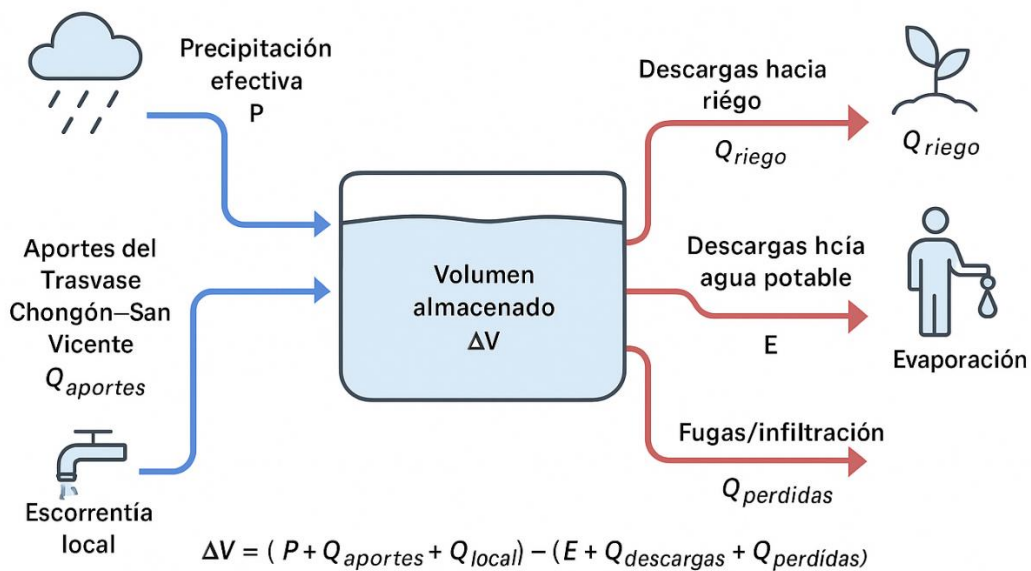
*Variables hidrometeorológicas consideradas para la operación del embalse San Vicente*

Variable	Unidad	Periodicidad
Precipitación media	mm/mes	Mensual

Evaporación potencial	mm/mes	Mensual
Caudales de aporte	m <sup>3</sup> /s	Diario
Volumen almacenado	hm <sup>3</sup>	Mensual
Descargas operativas	m <sup>3</sup> /s	Diario

**Figura 9.**

*Esquema del balance hídrico aplicado al embalse San Vicente*



De manera metodológica, los datos recolectados se emplearán para:

1. Construcción de series temporales (precipitación, evaporación y aportes) que permitan definir tendencias estacionales.
2. Cálculo del balance hídrico mensual:

**Ecuación 2.**

*Balance hídrico mensual*

$$\Delta V = (P + Q_{aportes}) - (E + Q_{descargas})$$

donde:

$P$  = precipitación efectiva sobre el embalse,

$Q_{aportes}$  = caudal de ingreso desde el trasvase,

$E$  = evaporación estimada,

$Q_{descargas}$  = caudales liberados por tubería, canal o sistema de agua potable.

3. Programación técnica preliminar de volúmenes de liberación según las demandas agrícolas y consumo humano establecidos.

Este procedimiento permitirá establecer los parámetros iniciales de operación, que serán validados posteriormente mediante análisis comparativo y ajuste técnico-operativo

### **3.5.2. Estimación de volúmenes de entrada**

El volumen de entrada al embalse San Vicente proviene de dos fuentes principales:

- Traspase Chongón–San Vicente: caudales transferidos a través del estero La Camarona, afluente de cabecera del río Nuevo, con agua proveniente del embalse Chongón y del Canal Chongón-Sube y Baja (9,2 m<sup>3</sup>/s).
- Aportes locales: escorrentía superficial generada en la microcuenca inmediata al embalse, que drena hacia el vaso en época lluviosa.

#### **3.5.2.1. Traspase Chongón–San Vicente**

Según la Empresa Pública del Agua (EPA, 2019a), el sistema de trasvase tiene capacidad de transportar hasta 4,6 m<sup>3</sup>/s en condiciones de bombeo pleno, aunque en la práctica los caudales operativos fluctúan entre 1,5 y 3,2 m<sup>3</sup>/s dependiendo de la disponibilidad energética y la programación de la estación de bombeo Chongón.

Durante la prueba de puesta en marcha en el año 2014, se registró un caudal bombeado inicial de 2,3 m<sup>3</sup>/s, lo que permitió llenar el embalse San Vicente en un período de 35 días. Los registros más recientes (2015–2020) muestran que el aporte anual por trasvase varía entre 120 y 150 hm<sup>3</sup>, equivalentes al 85–90 % del volumen total que ingresa al sistema.

#### **3.5.2.2. Aportes locales**

La microcuenca aportante a la presa San Vicente tiene un área estimada de 35 km<sup>2</sup>, caracterizada por régimen estacional marcado y precipitaciones

concentradas en el período enero–abril. Con base en registros del INAMHI, (2015) y coeficientes de escorrentía de 0,25 a 0,30 para suelos áridos y semiáridos (Chow, 1994), se estima que los aportes locales generan entre 12 y 15 hm<sup>3</sup> anuales en años húmedos, representando apenas un 10–15 % del volumen total de entrada al embalse.

### 3.5.2.3. Balance de aportes anuales

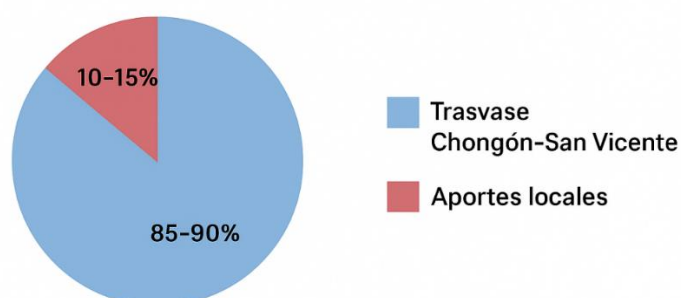
La Tabla 6 presenta la estimación de los volúmenes de entrada al embalse San Vicente, diferenciando entre trasvase y aportes locales.

**Tabla 6.**  
*Volúmenes estimados de entrada al embalse San Vicente*

Fuente de aporte	Volumen anual (hm <sup>3</sup> )	Porcentaje del total (%)	Observaciones
Trasvase Chongón–San Vicente	120 – 150	85 – 90 %	Caudales de bombeo entre 1.5 – 3.2 m <sup>3</sup> /s
Aportes locales	12 – 15	10 – 15 %	Escorrentía estacional de la microcuenca
Total	135 – 165	100 %	Variación según régimen hidrológico anual

La Figura 10 muestra la proporción relativa de aportes al embalse, evidenciando el predominio del trasvase Chongón–San Vicente sobre la escorrentía local.

**Figura 10.**  
*Distribución porcentual de aportes al embalse San Vicente*



#### ***3.5.2.4. Implicaciones para la operación***

El análisis evidencia que el embalse San Vicente depende en más del 85 % de los caudales provenientes del trasvase Chongón, lo que condiciona su programación operativa a la disponibilidad de bombeo y a la regulación del sistema Chongón–Sube y Baja. Los aportes locales, aunque marginales, cumplen un rol complementario en época lluviosa, permitiendo reducir los volúmenes requeridos por bombeo.

Este diagnóstico constituye la base para el cálculo del balance hídrico estacional y la programación técnica de descargas, ya que determina las condiciones de disponibilidad real del recurso hídrico en el embalse y orienta la programación técnica de bombeo en los caudales de entrada y apertura de compuertas para descargas.

#### **3.5.3. Estimación de volúmenes de salida**

El embalse San Vicente regula la distribución del recurso hídrico hacia tres destinos principales: abastecimiento de agua potable, riego agrícola y pérdidas físicas (evaporación, infiltración y pérdidas operativas). La caracterización y cuantificación de estos volúmenes resulta fundamental para la formulación del balance hídrico del sistema, el cual constituye la base técnica para la programación operativa del modelo de gestión propuesto.

##### ***3.5.3.1. Agua potable***

El sistema de abastecimiento urbano de la presa San Vicente tiene como destino principal las plantas potabilizadoras y redes de distribución que abastecen a las poblaciones de Manglaralto, Colonche y Julio Moreno.

Sin embargo, actualmente el proyecto de la planta potabilizadora de San Vicente es una alternativa de las 4 que se evalúan en el último informe sobre los “Estudios de evaluación, diagnóstico y diseños definitivos del sistema de abastecimiento de agua potable para varias comunidades de la zona norte de la provincia de Santa Elena”, por tanto, se tomaron los criterios de diseño del análisis poblacional sobre el proyecto.

A continuación, se presentan las demandas de agua calculadas para el proyecto antes mencionado, considerando la población a servir, de manera

progresiva, con coberturas específicas conforme al objetivo 6 del Desarrollo Sostenible del Milenio.

**Tabla 7.**

*Demandas de agua para el abastecimiento de agua potable para los años 2016 – 2036*

<b>Año</b>	<b>Población a servir (hab)</b>	<b>Dotación de agua (l/h*día)</b>	<b>Demanda media diaria (m<sup>3</sup>/d)</b>	<b>Demanda media diaria (l/s)</b>	<b>Demanda máx diaria (l/s)</b>	<b>Demanda máx horaria (l/s)</b>
2016	53831	150	8074.688	93	117	280
2017	55911	151	8442.609	98	122	290
2018	57260	152	8703.548	101	126	299
2019	58634	153	8970.972	104	130	308
2020	60032	154	9244.993	107	134	318
2021	62106	155	9626.399	111	139	331
2022	63439	156	9896.517	115	143	340
2023	64793	157	10172.442	118	147	350
2024	66166	158	10454.243	121	151	359
<b>2025</b>	<b>67560</b>	<b>159</b>	<b>10741.989</b>	<b>124</b>	<b>155</b>	<b>369</b>
2026	73284	160	11725.484	136	170	403
2027	74808	161	12044.070	139	174	414
2028	76353	162	12369.195	143	179	425
2029	77920	163	12700.935	147	184	436
2030	79508	164	13039.366	151	189	448
2031	85818	165	14159.937	164	205	487
2032	87470	166	14520.093	168	210	499
2033	89143	167	14886.915	172	215	512
2034	90836	168	15260.464	177	221	524
2035	92549	169	15640.801	181	226	537
2036	94282	170	16027.986	186	232	551

*Fuente: Obtenido de Estudios de evaluación, diagnóstico y diseños definitivos del sistema de abastecimiento de agua potable para varias comunidades de la zona norte de la provincia de Santa Elena*

De acuerdo con el análisis demográfico, la población beneficiaria actual (2025) se estima en 67560 habitantes, lo que representa una dotación de agua de 159 l/h x día y una demanda máxima diaria de 155 l/s. Es así como, dentro de este mismo estudio, la planta potabilizadora se ubicará en la zona de San Vicente, a la cota 115 y tendrá una capacidad nominal total de 22000 m<sup>3</sup>/día, equivalente a 8.03 hm<sup>3</sup>/año.

$$V_{AGUA\ POTABLE} = 22000 \frac{m^3}{día} \times \frac{1\ hm^3}{1 \times 10^6\ m^3} \times \frac{365\ días}{1\ año}$$

$$V_{AGUA\ POTABLE} = 8.03\ hm^3/año$$

Este volumen se considera prioritario conforme al Artículo 318 de la Constitución del Ecuador (2008) y la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2014), que establecen el consumo humano como uso preferente sobre cualquier otro.

### 3.5.3.2. Riego agrícola

El trasvase Chongón–San Vicente fue diseñado para garantizar el riego de 7700 hectáreas en el valle del río Javita, las cuales se distribuyen en cinco sectores principales: San Vicente, Colonche, Guangala, Río Viejo y Río Salado, además del bloque agrícola Pampa El Coronel (EPA, 2019a).

La sectorización agrícola se detalla a continuación:

**Tabla 8.**  
*Sectorización del proyecto Trasvase Chongón – San Vicente*

Sector	Área (ha)	Porcentaje (%)	Observaciones técnicas
San Vicente	1200	16	Canal principal de 29 km, topografía regular, suelos franco-limosos.
Colonche	3800	49	Llanura del río Nuevo–Javita, riesgo de salinización secundaria.
Guangala	650	8.4	Riego por bombeo, suelos agrícolas óptimos.
Río Viejo	430	5.6	Riego por bombeo, suelos de alta productividad.
Río Salado	440	5.7	Suelos arcillosos, drenaje natural.

Pampa El Coronel	1180	15	Necesita drenaje y lavado de sales.
Total	7700	100	—

Fuente: SENAGUA, 2010

En la actualidad, la superficie efectiva regada desde la represa de San Vicente corresponde a un canal donde se extrae el agua para riego mediante bombas y abastece al reservorio de Cola y una tubería cerrada que abastece a 11 reservorios

Las descargas de agua llegan a un cuenco amortiguador, a partir del cual nace el canal antes mencionado con una longitud de 3300 metros y un caudal de 1.5 m<sup>3</sup>/s del cual se abastecen las bombas para el riego y el reservorio de Cola permitiendo un riego de 400 has en la primera fase y 1200 has en la segunda fase de ejecución del sistema de riego de San Vicente, resultando en un total de 1600 has que requieren riego (Ortiz, 2011).

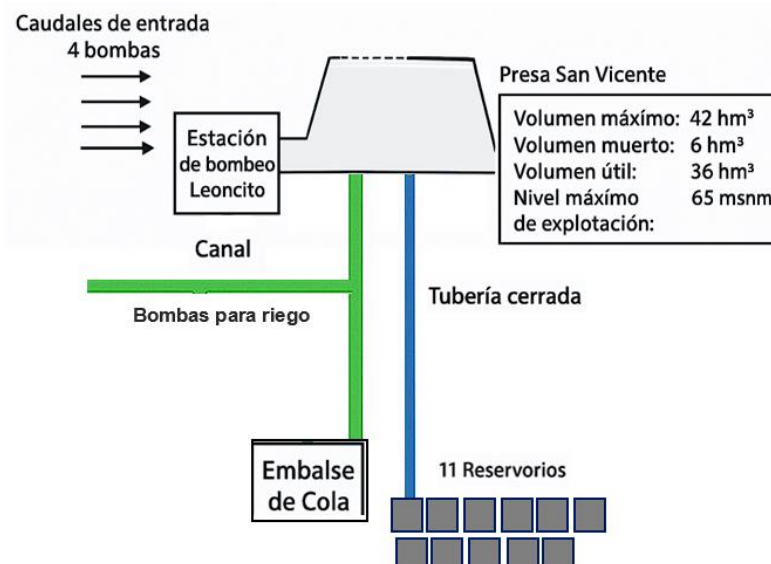
Es decir, que el canal debe abastecer a un estimado de 1600 has con una demanda de diseño de 40 m<sup>3</sup>/has/día.

Con respecto a la tubería cerrada, el área de riego corresponde a aproximadamente 2932 has.

A continuación, se muestra un diagrama de la represa San Vicente con respecto a las salidas de agua para riego:

**Figura 11.**

*Diagrama de la represa San Vicente con respecto a las salidas de agua para riego*



Por tanto, se debe establecer estos volúmenes de salidas al año, tanto del canal como de la tubería cerrada. Para los volúmenes de salida del canal se establece el siguiente cálculo

El canal debe abastecer un área de riego de 1600 has con una demanda de diseño de 40 m<sup>3</sup>/has/día, por lo tanto, se deben multiplicar las áreas de riego por la demanda de diseño.

$$V_{canal} = (1600 \text{ has}) \left( 40 \frac{m^3}{has} \right) = 64000 m^3$$

Es decir, se estima un volumen de 64000 m<sup>3</sup> al día para el reservorio de Cola, con este dato se puede calcular el volumen anual de la siguiente forma:

$$V_{canal} = 64000 \frac{m^3}{día} \times \frac{1 \text{ hm}^3}{1 \times 10^6 m^3} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}}$$

$$V_{canal} = 23.4 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Estimando un volumen aproximado de salida de 23.4 hm<sup>3</sup>/año que debe abastecer el canal de riego.

Por otro lado, para el cálculo de los volúmenes de salida de la tubería cerrada que abastece a los 11 reservorios, se obtuvo la siguiente tabla:

**Tabla 9.**

*Características de diseño para la construcción de los 11 reservorios.*

Comuna	Área de Riego (Ha.)	Caudal de trabajo (m <sup>3</sup> /seg)	Presión Dinámica Cota 50 (m)	Tiempo de reserva (días)	Volumen del reservorio (m <sup>3</sup> )
Manantial de Guangala	290.00	0.15	2.65	3	39150.00
San Marcos C	278.00	0.15	22.08	4	50040.00
San Marcos D	278.00	0.15	25.39	4	50040.00
San Marcos E	278.00	0.15	22.15	4	50040.00
San Marcos F	278.00	0.15	13.43	4	50040.00

Bajadita de Colonche	250.00	0.10	8.32	4	36000.00
Asociación de Agricultores de Colonche 1	260.00	0.14	24.55	4	46800.00
Asociación de Agricultores de Colonche B	260.00	0.14	24.52	4	46800.00
Asociación de Agricultores de Colonche C	260.00	0.14	24.67	4	46800.00
Manantial de Colonche B	250.00	0.13	9.17	4	45000.00
Manantial de Colonche C	250.00	0.13	2.00	3	33750.00

Fuente: GADPSE – Empresa Pública del Agua

Sumando los caudales de trabajo de los 11 reservorios se obtiene un total de 1.53 m<sup>3</sup>/s equivalente a un requerimiento estimado de 48.25 hm<sup>3</sup>/año, calculado de la siguiente forma:

$$V_{tuberia\ cerrada} = 1.53 \frac{m^3}{seg} \times \frac{1\ hm^3}{1 \times 10^6\ m^3} \times \frac{31'536000\ seg}{1\ año}$$

$$V_{tuberia\ cerrada} = 48.25\ hm^3/año$$

Obteniendo un requerimiento total anual para el riego tanto del canal abierto como de la tubería cerrada de 71.65 hm<sup>3</sup>/año.

$$V_{RIEGO} = 23.4\ hm^3/año + 48.25\ hm^3/año$$

$$V_{RIEGO} = 71.65\ hm^3/año$$

### 3.5.3.3. Pérdidas por evaporación

La evaporación superficial constituye una de las principales pérdidas del sistema, particularmente relevante por las condiciones áridas de la zona

costera de Santa Elena. De acuerdo con los registros del INAMHI (2015), la estación meteorológica M1170 (Santa Elena – Universidad) representa una tasa de evaporación anual de 1459.2 mm según la siguiente tabla:

**Tabla 10.**  
*Estación meteorológica M1170 Santa Elena – Universidad*

M1170	SANTA ELENA-UNIVERSIDAD												INAMHI						
MES	HELIOFANIA	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)					HUMEDAD RELATIVA (%)			PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)			Número de días con precipitación				
	(Horas)	ABSOLUTAS		M E D I A S			Máxima día	Minima día	Media			Mensual	Suma	Máxima en 24hrs		día			
ENERO	110.6			30.4	23.6	26.1				78	21.8	26.2	38.0	10.4	27	9			
FEBRERO	146.5			31.3	23.3	26.2				79	22.2	26.8	72.7	30.2	1	10			
MARZO	161.7			30.8	23.6	26.5				84	23.4	28.8	141.7	42.2	15	12			
ABRIL	198.1		18.8	30.5	22.3	25.7				79	21.6	25.9	4.8	4.4	19	2			
MAYO	120.3			27.7	20.6								1.8	1.8	20	1			
JUNIO	46.6	28.5	1	18.2	24	26.1	20.4	22.2	95	24	61	29	85	19.5	22.7	0.0	0.0	1	0
JULIO	34.7			18.8	17	23.9	19.5	21.1	98	1	72	26	88	19.0	21.9	2.4	0.7	11	5
AGOSTO	82.0			17.4	29	24.8	19.0	21.1	98	13	68	19	84	18.3	21.0	0.2	0.2	13	1
SEPTIEMBRE	96.8			17.2	23	24.5	18.9	21.6	96	25	63	11	85	18.8	21.8	0.8	0.8	24	1
OCTUBRE	56.3	27.6	27	16.6	31	24.7	18.6	21.4	98	19	68	8	86	18.9	21.9	2.2	1.5	14	2
NOVIEMBRE	65.9	27.2	30	17.2	2	25.5	18.6	21.9	98	1	72	17	87	19.7	22.9	0.5	0.5	4	1
DICIEMBRE	236.3			27.3	19.7	23.1								23.5	0.0				
VALOR ANUAL	1355.8			27.3	20.7								265.1						

MES	EVAPORACION (mm)		NUBOSIDAD MEDIA (Octas)	VELOCIDAD MEDIA Y FRECUENCIAS DE VIENTO												Vel.Mayor Observada (Km/h)	VELOCIDAD MEDIA (Km/h)							
	Suma Mensual	Máxima en 24hrs		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALMA	Nro OBS											
ENERO	149.3		6	3.0	2	0.0	0	2.0	1	0.0	0	3.0	2	2.8	37	2.2	11	3.1	24	23	84	6.0	SW	7.3
FEBRERO	141.2		6	3.0	2	2.0	1	0.0	0	2.0	2	2.7	3	2.5	27	2.8	11	2.8	32	22	93	6.0	NW	4.5
MARZO	146.2		6	2.0	2	0.0	0	0.0	0	0.0	0	2.7	3	3.2	44	3.5	17	2.9	17	17	90	6.0	SW	5.3
ABRIL	145.7	8.0	17	6																				6.4
MAYO	141.6		6	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	4.0	1	3.1	80	2.5	9	2.5	4	6	90	6.0	SW	7.0
JUNIO	89.1	6.7	8	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	3.2	74	3.5	14	0.0	0	12	93	6.0	SW	6.5		
JULIO	73.3	4.7	26	8																				7.8
AGOSTO	98.0	4.9	23	7																				8.0
SEPTIEMBRE	113.2		7	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	3.0	2	4.4	41	4.8	54	6.0	2	0	90	8.0	W	7.6
OCTUBRE	100.2		8	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	4.4	39	4.5	60	8.0	1	0	93	8.0	W	7.6		
NOVIEMBRE	102.0	5.9	27	8																				8.8
DICIEMBRE	159.4		6	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	4.9	48	4.5	52	0.0	0	0	90	8.0	SW	8.8		
VALOR ANUAL	1459.2		7																					7.0

Fuente: INAMHI, 2015

Acorde a estos datos, el cálculo para el volumen anual por perdidas de evaporación se estima multiplicando la tasa de evaporación anual por el área media del embalse, en este caso de 6 km<sup>2</sup>. Donde: 1459.2 mm = 0.0014592 km n

$$V_{evap.} = (0.0014592 \text{ km})(6\text{km}^2) = 0.0087552 \text{ km}^3 = 8.76 \text{ hm}^3$$

Por tanto, el volumen por perdidas de evaporación corresponde a 8.76 hm<sup>3</sup>/año.

### 3.5.3.4. Pérdidas por infiltración

Los estudios geotécnicos de la Empresa Pública del Agua (EPA, 2019a) identifican pérdidas por infiltración hacia los estratos permeables del asiento del embalse, con un valor en promedio de 0,75 hm<sup>3</sup>/año. Estas pérdidas representan aproximadamente el 1 % del balance hídrico total, aunque su

persistencia prolongada puede contribuir a variaciones en el nivel piezométrico local.

### 3.5.3.5. *Pérdidas operativas*

Además de las pérdidas físicas naturales (evaporación e infiltración), se registran pérdidas operativas asociadas a maniobras inadecuadas de apertura de compuertas y bombeo simultáneo durante los periodos de bajo nivel del embalse. Según registros internos de la EPA (2019a), estas pérdidas pueden representar entre 1,5 y 2,0 hm<sup>3</sup>/año, con un valor promedio de 1,75 hm<sup>3</sup>/año. Estas ineficiencias son consecuencia de la falta de sincronización entre el bombeo y las descargas, y de la operación manual sin programación técnica definida.

### 3.5.3.6. *Costo del recurso almacenado*

El costo de operación y mantenimiento asociado al almacenamiento y distribución del agua desde la Presa San Vicente se estima en 0.085 USD/m<sup>3</sup>, según la estructura tarifaria del Plan Maestro de Aprovechamiento Hídrico (EPA, 2020). Este valor incluye gastos energéticos, mantenimiento electromecánico, personal técnico y pérdidas operativas promedio. En términos anuales, el costo total de manejo del embalse se aproxima a 8 millones de USD, considerando el volumen útil promedio de 90.94 hm<sup>3</sup>/año.

### 3.5.3.7. *Balance preliminar de salidas*

La Tabla 11 resume los volúmenes estimados de salida del embalse San Vicente, diferenciados por destino y pérdida.

**Tabla 11.**  
*Volúmenes anuales estimados de salida del embalse San Vicente*

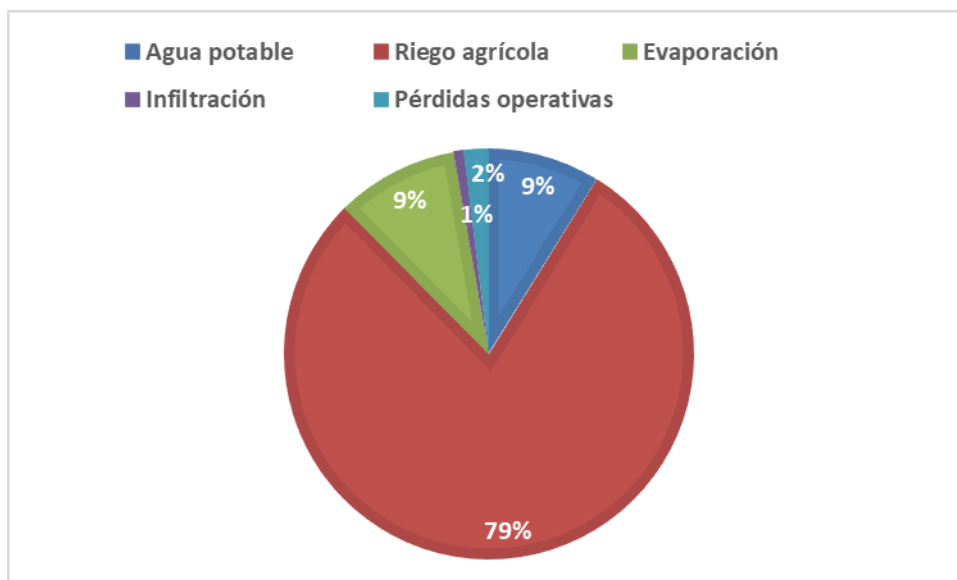
<b>Destino / Pérdida</b>	<b>Volumen estimado (hm<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Porcentaje del total (%)</b>	<b>Observaciones</b>
Agua potable	8.03	8.83	Abastecimiento urbano prioritario.
Riego agrícola	71.65	78.79	Canal abierto y tubería cerrada a los 11 reservorios

Evaporación	8.76	9.63	Pérdidas naturales del espejo de agua.
Infiltración	0.75	0.82	Hacia estratos permeables.
Pérdidas operativas	1.75	1.92	Por maniobras ineficientes y descoordinadas.
Total	90.94	100	Variación según condiciones climáticas.

La Figura 12 presenta la distribución porcentual de los volúmenes de salida del embalse San Vicente, evidenciando la predominancia del riego agrícola sobre otros usos.

**Figura 12.**

*Distribución porcentual de los volúmenes de salida del embalse San Vicente*



Este volumen al año de 90.94 hm<sup>3</sup>/año representa una demanda crítica dentro del embalse y la represa San Vicente, sin embargo, los volúmenes descargados para riego agrícola y agua potable corresponden a la suma de 71.65 hm<sup>3</sup>/año y 8.03 hm<sup>3</sup>/año, respectivamente, es decir un total de 79.68 hm<sup>3</sup>/año.

$$V_{critico} = 79.68 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Sin embargo, en la práctica diaria no siempre se da una demanda crítica a un 100%, por lo que a partir de este argumento se realiza el siguiente cálculo para establecer una demanda real por ciclos de siembra en donde se estipula que el ciclo

de siembra representa una demanda de 4000 m<sup>3</sup>/hectárea/ciclo y en donde en el año se estima con 2.5 ciclos.

El total del área de riego corresponde a los 1600 has del canal y 2932 has de la tubería cerrada, resultando en un total de 4532 has.

$$V_{real} = (4532 \text{ has}) \left( 4000 \frac{m^3}{has} \right) (2.5 \text{ ciclos}) = 45'320000 \text{ m}^3/\text{ciclo}$$

Es decir, se estima un volumen de 45'320000 m<sup>3</sup> por ciclo de siembra en un año, con este dato se puede calcular el volumen anual de la siguiente forma:

$$V_{canal} = 45'320000 \frac{m^3}{ciclo} \times \frac{1 \text{ hm}^3}{1 \times 10^6 m^3}$$

$$V_{canal} = 45.32 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Estimando un volumen aproximado de salida real de 45.32 hm<sup>3</sup>/año que debe abastecer el sistema de riego, tanto del canal como de la tubería.

### 3.5.4. Elaboración del balance hídrico mensual y estacional.

La elaboración del balance hídrico constituye el eje metodológico central para determinar la disponibilidad real de agua en la presa San Vicente y definir una programación técnica de operación ajustada a las demandas de consumo humano y riego agrícola. Este proceso se fundamenta en la integración de los volúmenes de entrada y salida previamente estimados, bajo una escala temporal mensual y estacional.

El procedimiento metodológico contempla los siguientes pasos:

#### 3.5.4.1. Integración de entradas y salidas

Los volúmenes de aporte identificados son del trasvase Chongón–San Vicente, escorrentía local y precipitación efectiva sobre el embalse, los cuales se consolidan con los volúmenes de salida en cuanto a abastecimiento de agua potable, riego agrícola y pérdidas físicas por evaporación e infiltración. Para cada mes se aplica la ecuación básica del balance hídrico:

#### Ecuación 3.

*Ecuación básica del Balance hídrico con entrada y salida*

$$\Delta S = Q_{in} - Q_{out}$$

donde:

$\Delta S$  = variación del almacenamiento en el embalse ( $\text{hm}^3$ )

$Q_{in}$  = volúmenes de entrada ( $\text{hm}^3/\text{mes}$ )

$Q_{out}$  = volúmenes de salida ( $\text{hm}^3/\text{mes}$ )

#### **3.5.4.2. Distribución mensual de volúmenes**

Se construye una matriz mensual que integra entradas y salidas en el periodo 2015–2025, con base en los registros históricos de operación de la presa y datos hidrometeorológicos del INAMHI, (2015). Esto permite identificar meses críticos de déficit y excedencia, asociados a la variabilidad estacional de lluvias en la costa ecuatoriana.

#### **3.5.4.3. Análisis estacional**

Para reducir la dispersión de los datos mensuales y facilitar la toma de decisiones operativas, los resultados se agrupan en tres estaciones representativas:

- Invierno (enero–abril): recarga máxima del embalse por aportes del trasvase y precipitaciones locales.
- Verano (mayo–septiembre): predominio de pérdidas por evaporación y elevada demanda agrícola.
- Transición (octubre–diciembre): preparación del embalse para el siguiente ciclo hidrológico, con necesidad de ajustes finos en compuertas y bombeo.

#### **3.5.4.4. Salida metodológica esperada**

El producto final de este apartado es un balance hídrico mensual y estacional sistematizado, que permitirá determinar la disponibilidad neta de agua en cada periodo y servirá de base para la programación de compuertas y definición de indicadores de eficiencia operativa en el modelo de gestión.

### **3.5.5. Curvas guía de operación**

La determinación de las curvas guía constituye un componente esencial de la programación operativa de embalses, ya que permite relacionar el nivel del agua

almacenada con el volumen y el área inundada, estableciendo así las reglas técnicas de almacenamiento, descarga y seguridad hidráulica.

### 3.5.5.1. Curvas nivel–volumen–área

La metodología se basa en la integración de los levantamientos topográficos del vaso del embalse con los registros batimétricos y de capacidad acumulada proporcionados por la Empresa Pública del Agua (EPA, 2019).

A partir de estos datos, se generan curvas que representan:

- Nivel–volumen: relación entre la cota de agua y el volumen útil acumulado (mm<sup>3</sup>).
- Nivel–área: relación entre la cota y la superficie inundada (m<sup>2</sup>).
- Volumen–área: relación indirecta que sirve para estimar pérdidas por evaporación.

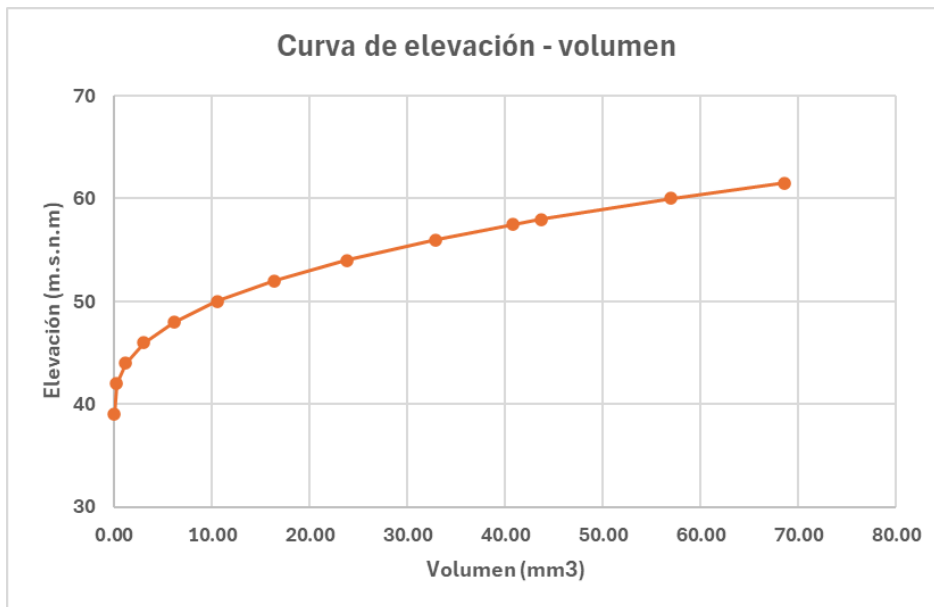
**Tabla 12.**

*Relación nivel–área–volumen en el embalse de la presa San Vicente*

Elevación (m.s.n.m)	Área (m2)	Volumen (m.m.c)
39	0	0
42	0.25	0.25
44	0.70	1.16
46	1.22	3.06
48	1.85	6.11
50	2.58	10.52
52	3.31	16.39
54	4.12	23.81
56	5.02	32.93
57.5	5.75	40.78
58	6.09	43.67
60	7.25	56.99
61.5	8.25	68.61

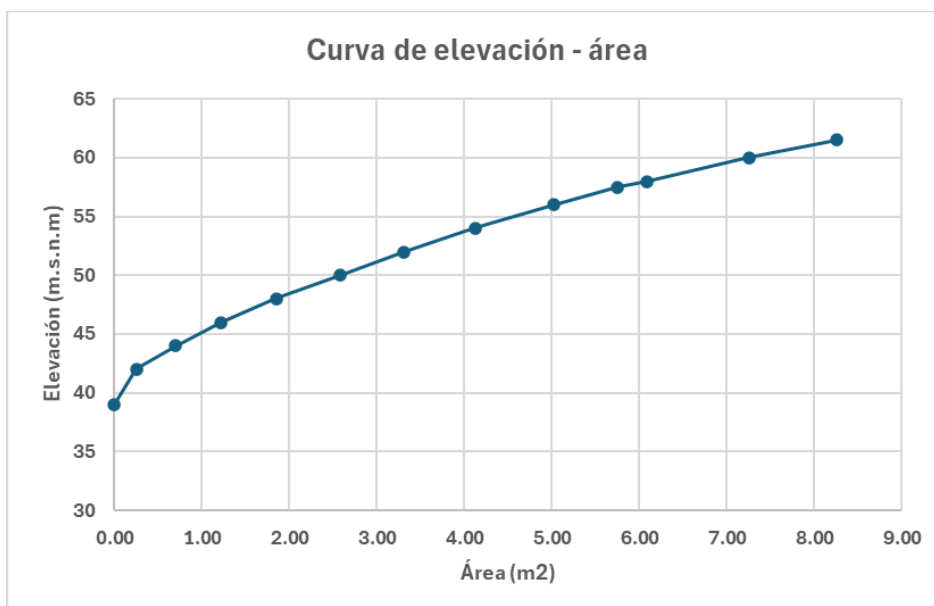
**Nota.** *Valores de referencia elaborados a partir de perfiles batimétricos reportados en CEDEGE (2002)*

**Figura 13.**  
*Curva nivel-volumen del embalse San Vicente*



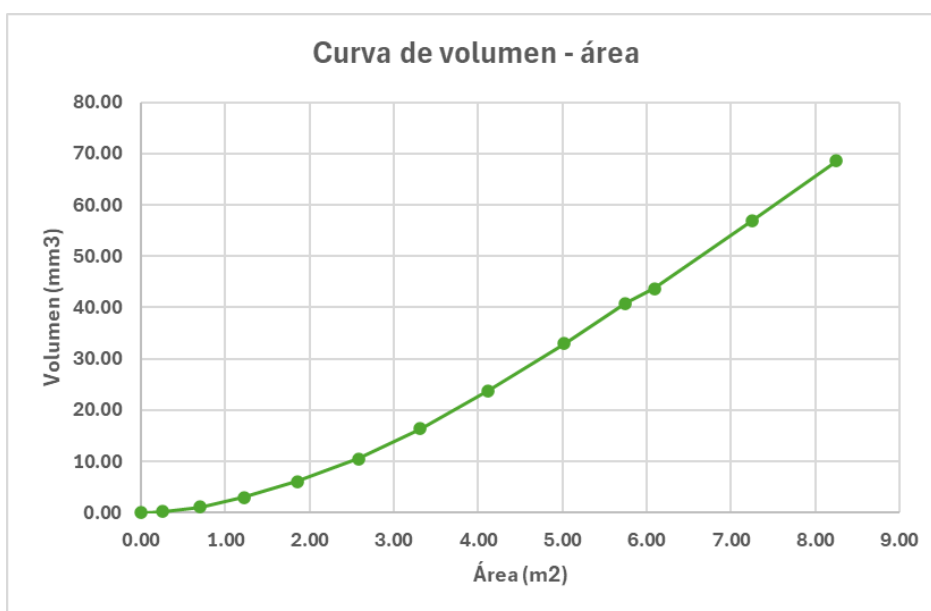
La figura 13 representa la relación entre la elevación del espejo de agua (m.s.n.m.) y el volumen almacenado (mm<sup>3</sup>). Esta curva es la base para determinar el volumen útil y operativo del embalse en cada nivel, permitiendo definir umbrales de regulación y conservación. Es la referencia principal para los cálculos de almacenamiento y descarga en la programación operativa.

**Figura 14.**  
*Curva nivel-área del embalse San Vicente*



La figura 14 muestra la relación entre el nivel de agua (m.s.n.m.) y el área inundada correspondiente (m<sup>2</sup>). Esta curva permite estimar la superficie de evaporación efectiva y evaluar el crecimiento exponencial del área del embalse conforme aumenta la cota. Su uso es clave para calcular las pérdidas por evaporación y para modelar la variación estacional del espejo de agua.

**Figura 15.**  
*Curva volumen-área del embalse San Vicente*



La figura 15 expone la relación entre el volumen almacenado y el área superficial del embalse. Su aplicación es útil para estimar las pérdidas hídricas por evaporación a partir del volumen de agua retenido, y para ajustar los balances hídricos bajo condiciones de variación temporal.

### 3.5.5.2. Definición de zonas operativas

Con base en las curvas obtenidas, se establecen tres zonas de operación que guiarán la toma de decisiones técnicas:

- Zona de conservación: niveles por debajo de 54 m.s.n.m., reservados para riego agrícola.
- Zona de regulación: entre 54 y 57,5 m.s.n.m., donde se equilibran demandas agrícolas y urbanas.
- Zona de seguridad: por encima de 57,5 m.s.n.m., asociada a descargas preventivas y manejo de avenidas.

### ***3.5.5.3. Salida metodológica esperada***

El resultado esperado es la curva guía del embalse San Vicente, que permitirá establecer decisiones técnicas de operación según la cota hidráulica observada, sirviendo como base del modelo de gestión.

### **3.5.6. Definición de reglas de apertura de compuertas bajo escenarios climáticos**

La operación de compuertas en la presa San Vicente debe responder a un conjunto de reglas técnicas que permitan conciliar la seguridad hidráulica con el abastecimiento sostenible de agua para consumo humano y riego agrícola. Para ello, se plantea una metodología basada en la clasificación de escenarios climáticos y en la relación entre niveles del embalse y demandas estacionales.

#### ***3.5.6.1. Identificación de escenarios climáticos***

Se emplea la base de datos histórica del INAMHI, (2015) y la literatura climática nacional para diferenciar tres escenarios operativos:

- Años húmedos: asociados a eventos El Niño, caracterizados por incrementos de hasta un 40 % en las precipitaciones.
- Años secos: vinculados a episodios La Niña o sequías regionales, con reducciones del 30–50 % en aportes.
- Años normales: comportamiento climático promedio con variabilidad interanual moderada.

#### ***3.5.6.2. Regla de apertura para años húmedos***

Durante periodos húmedos se prioriza la seguridad estructural de la presa. Las descargas preventivas deberán programarse anticipadamente cuando el nivel del embalse supere el 85 % de su capacidad útil, liberando caudales progresivos por la tubería de conducción y el canal abierto para evitar vertidos no controlados por el aliviadero.

#### ***3.5.6.3. Regla de apertura para años secos***

En condiciones de déficit hídrico, la apertura de compuertas se limita a los volúmenes mínimos que garanticen el abastecimiento humano y dotaciones prioritarias para el riego agrícola. Se aplicará una política de turnos y

reducción progresiva de entregas agrícolas, manteniendo reservas estratégicas en el embalse equivalentes al 40–50 % del volumen útil.

#### ***3.5.6.4. Regla de apertura para años normales***

Bajo condiciones hidrológicas promedio, las compuertas operan en función de las demandas programadas en el balance hídrico estacional, considerando una apertura ordinaria en horarios nocturnos considerando una apertura ordinaria en horarios programados para reducir pérdidas por evaporación y mejorar el control operativo.

#### ***3.5.6.5. Implicaciones operativas***

La definición de estas reglas permitirá establecer una programación preventiva y adaptativa que incorpore la variabilidad climática al modelo de gestión. Esto reducirá riesgos de sobrellenado en años húmedos, asegurará reservas en años secos y garantizará la continuidad de la operación bajo condiciones normales. Estas reglas serán parte integral del modelo de gestión técnica-operativa propuesto en el Capítulo IV.

## **3.6. METODOLOGÍA DEL O.E.2.: EVALUACIÓN DEL VOLUMEN DESEMBALSADO Y PRIORIZACIÓN DE DEMANDAS SEGÚN LEGISLACIÓN VIGENTE**

### **3.6.1. Marco normativo**

La evaluación del volumen desembalsado en la Presa San Vicente se fundamenta en el marco jurídico ecuatoriano que regula la gestión, distribución y priorización del recurso hídrico, garantizando su uso equitativo y sostenible.

La Constitución de la República del Ecuador, (2008), en su artículo 12, establece que el agua es un derecho humano fundamental e irrenunciable, constituyendo patrimonio nacional estratégico de uso público. Asimismo, el artículo 318 dispone que la autoridad competente debe priorizar el uso del agua para consumo humano y riego agrícola, asegurando la soberanía alimentaria de la población. Por otra parte, la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (LORHUyA, 2014) ratifica esta jerarquía, señalando en su artículo 23 que los usos prioritarios son:

- consumo humano y doméstico, y
- riego para soberanía alimentaria.

En consecuencia, la presente metodología considera únicamente los dos usos efectivos del sistema San Vicente:

- Abastecimiento de agua potable hacia las comunidades de Colonche, Manglaralto y Simón Bolívar, y
- Riego agrícola de las 7700 ha efectivamente servidas mediante tubería cerrada y canal de distribución.

Las descargas del sistema se analizan bajo tres componentes operativos:

- Tubería cerrada: conducción hacia 11 reservorios agrícolas.
- Canal abierto: derivación al embalse de cola y sectores agrícolas.
- Derivación a línea de agua potable (actualmente en etapa de proyecto para la planta San Vicente).

Estos elementos constituyen la base técnica de la evaluación del volumen desembalsado, conforme a las prioridades establecidas por la normativa nacional.

**Tabla 13.**

*Jerarquización legal de los usos del agua en el Ecuador*

<b>Nivel de prioridad</b>	<b>Uso del recurso hídrico</b>	<b>Base normativa</b>
1	Consumo humano y doméstico	Constitución (Art. 12 y 318), LORHUyA (Art. 23)
2	Riego agrícola (soberanía alimentaria)	LORHUyA (Art. 23)
3	Descargas técnicas y de regulación	Reglamento LORHUyA (2015), criterios de operación EPA (2019)

### **3.6.2. Cálculo de volúmenes desembalsados en forma mensual y estacional.**

La determinación de los volúmenes desembalsados desde la Presa San Vicente constituye una etapa central en la priorización de usos y en la elaboración del modelo de gestión técnica. Para ello, se emplea un enfoque metodológico basado en series hidrométricas, registros de operación y parámetros climáticos que permiten cuantificar las salidas de agua de manera mensual y estacional.

En primer lugar, se recopilan los registros históricos de desembalses diarios y mensuales disponibles en los informes de la Empresa Pública del Agua (EPA, 2019) y en las planillas operativas de bombeo de caudales de entrada y apertura de compuertas. Estos datos se organizan en una serie de tiempo continua que permite analizar tendencias, identificar picos de demanda y estimar estacionalidad del sistema.

El cálculo de volúmenes se estructura en cuatro etapas:

### **1. Consolidación de datos de salidas**

- Se integran los volúmenes descargados por los tres sistemas de salida (tubería cerrada, canal abierto y derivación a agua potable), homogeneizados a unidades de volumen mensual.
- La conversión de caudales a volúmenes se realiza con la ecuación:

#### **Ecuación 4.**

*Cálculo de volumen con respecto al caudal y tiempo*

$$V = Q * t$$

donde:

$V$  = volumen ( $m^3$ )

$Q$  = caudal medio ( $m^3/s$ )

$t$  = tiempo de operación en segundos.

### **2. Estimación mensual y estacional**

Los datos se agregan mensualmente y luego se agrupan en tres estaciones representativas:

- Húmeda (enero–abril) – mayor recarga y bombeo reducido.
- Seca (mayo–septiembre) – incremento de descargas agrícolas.

- Transición (octubre–diciembre) – regulación previa al siguiente ciclo hídrico.

### 3. Comparación con demandas proyectadas

- Se contrasta el volumen desembalsado con las demandas de agua potable (8,03 hm<sup>3</sup>/año) y riego agrícola (71.65 hm<sup>3</sup>/año), identificando desviaciones o sobre extracciones que orienten ajustes operativos.

**Tabla 14.**

*Metodología para el cálculo de volúmenes desembalsados del embalse San Vicente*

<b>Etapas</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Escala de análisis</b>
1	Conversión de caudales a volúmenes	Diario
2	Agregación mensual	Mensual
3	Clasificación estacional	Húmeda, seca, transición
4	Contraste con demandas	Mensual y estacional

### 3.6.3. Determinación de caudales destinados a agua potable, riego agrícola y descargas técnicas

La determinación de los caudales asignados a diferentes usos es fundamental para cumplir con la normativa nacional y para elaborar un modelo de gestión que optimice la distribución del recurso hídrico de la Presa San Vicente. En la operación de la Presa San Vicente, las salidas se distribuyen hacia tres destinos:

- Agua potable (derivación cerrada futura a planta San Vicente)
- Riego agrícola (a través de 11 reservorios y canal abierto)
- Descargas técnicas o de regulación (vertido controlado para maniobras operativas y seguridad del embalse)

#### 1. Agua potable

- El volumen destinado a consumo humano corresponde a 8.03 hm<sup>3</sup>/año, calculado para una dotación de 159 L/hab/día y una población actual de 67560 habitantes (2025).
- El caudal medio diario se determina mediante:

### **Ecuación 5.**

*Caudal de agua potable*

$$V_{potable} = \frac{V_{potable}}{t}$$

donde:

$$V_{potable} = 22000 \text{ m}^3/\text{día},$$

$$t = 1 \text{ día} = 86400 \text{ seg.}$$

Obtenido un caudal de 0.25 m<sup>3</sup>/s.

## **2. Riego agrícola**

El área efectivamente regada desde San Vicente es de 7700 ha, en donde el caudal medio se estima como:

### **Ecuación 6.**

*Caudal de riego agrícola*

$$Q_{riego} = \frac{A * D}{t}$$

Sin embargo, existen dos caudales, el que corresponde al canal abierto estimado en un valor de 1.50 m<sup>3</sup>/s y el de la tubería cerrada con un valor autorizado para los 11 reservorios de 1.53 m<sup>3</sup>/s.

- El volumen anual estimado es de 71.65 hm<sup>3</sup>, que corresponde para el canal abierto de 23.4 hm<sup>3</sup> y para la tubería cerrada de 48.25 hm<sup>3</sup>.

## **3. Descargas técnicas o de regulación**

- Estas descargas se producen por maniobras de compuertas en eventos de mantenimiento, sedimentación o control de nivel. Su volumen promedio anual es 1,75 hm<sup>3</sup>/año, equivalente a aproximadamente el 2 % del total descargado.

A continuación, se muestran los datos obtenidos en los informes consultados y balances hídricos del embalse San Vicente

**Tabla 15.**

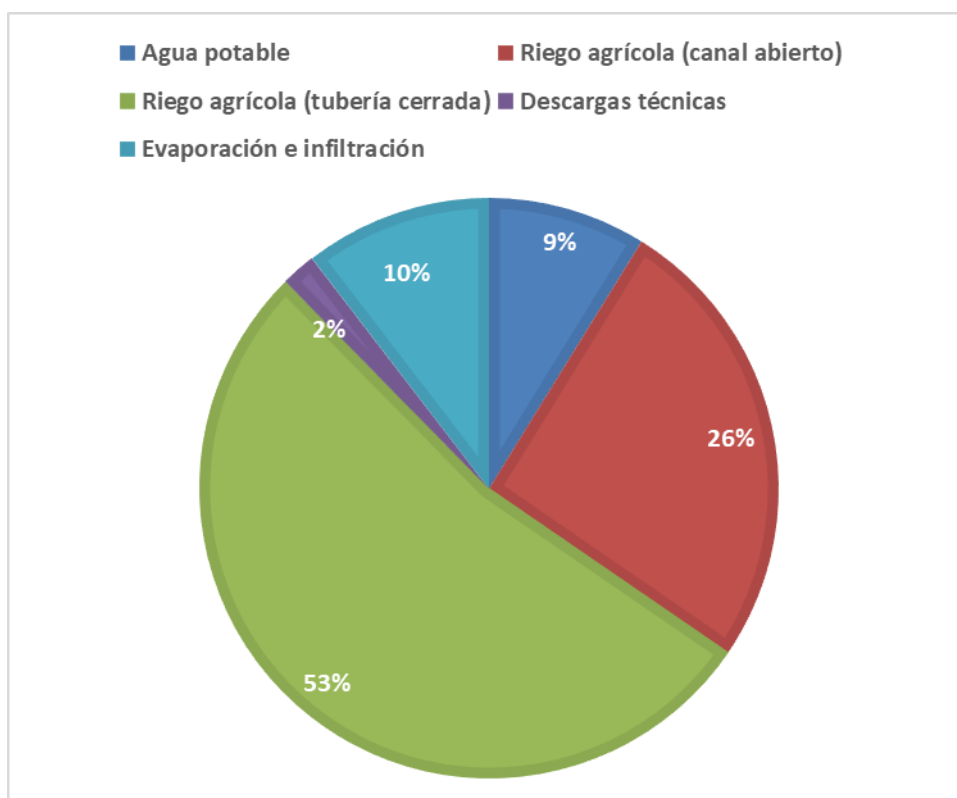
*Distribución estimada de caudales y volúmenes desembalsados por uso*

<b>Uso del recurso</b>	<b>Caudal medio (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Volumen anual (hm<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
------------------------	---	---	---------------------------

Agua potable	0.25	8.03	8.83
Riego agrícola (canal abierto)	1.50	23.4	25.73
Riego agrícola (tubería cerrada)	1.53	48.25	53.06
Descargas técnicas	0.06	1.75	1.92
Evaporación e infiltración	—	8.76 + 0.75	10.46
Total desembalsado	—	90.94	100

**Figura 16.**

*Determinación de caudales destinados a agua potable, riego agrícola y descargas técnicas en la Presa San Vicente*



La figura 16 representa la estructura metodológica aplicada para la determinación de caudales según su uso prioritario. Se observa que el riego agrícola constituye el componente dominante en la demanda hídrica del embalse San Vicente, mientras que el consumo humano y las pérdidas por evaporación e infiltración se mantienen como volúmenes mínimos obligatorios definidos por la legislación nacional.

### 3.6.4. Priorización de usos del recurso en función de la normativa

Conforme al marco normativo ecuatoriano, la prelación operativa de la Presa San Vicente se establece en el siguiente orden:

- Consumo humano y doméstico (uso prioritario y no restringible).
- Riego agrícola (uso condicionado a disponibilidad estacional).
- Descargas técnicas y de regulación (uso complementario de seguridad).

El procedimiento metodológico para la priorización consiste en:

#### 1. Identificación de demandas operativas

- Se registran los volúmenes entregados y demandados en los sistemas de agua potable y riego agrícola, discriminando los meses secos y húmedos.

#### 2. Asignación jerárquica de prelación

- Se asigna un factor de prioridad (P) para cada tipo de uso, siguiendo el orden establecido por la normativa:
  - ✓  $P1 = 1.0$  (Consumo humano)
  - ✓  $P2 = 0.8$  (Riego agrícola)
  - ✓  $P3 = 0.5$  (Descargas técnicas)
- Estos factores actúan como ponderadores dentro del balance hídrico, garantizando la prelación del uso doméstico sobre los demás.

#### 3. Distribución proporcional del volumen disponible

El volumen total disponible en el embalse ( $Vt$ ) se distribuye en función de los factores de prioridad:

##### **Ecuación 7.**

*Volumen total disponible en el embalse*

$$V_i = P_i * \frac{D_i}{\Sigma D_i}$$

donde:

$V_i$  = volumen asignado al uso  $i$

$P_i$  = factor de prioridad,

$D_i$  = demanda estimada del uso  $i$

#### 4. Definición de escenarios operativos

Se plantean tres escenarios para simulación y análisis posterior en el modelo de gestión:

- Escenario húmedo: disponibilidad  $\geq 100$  % de demanda total; riego pleno y descargas preventivas.
- Escenario medio: equilibrio entre oferta y demanda, operación normal.
- Escenario seco: déficit de 20–30 %; prioridad exclusiva a consumo humano, riego restringido.

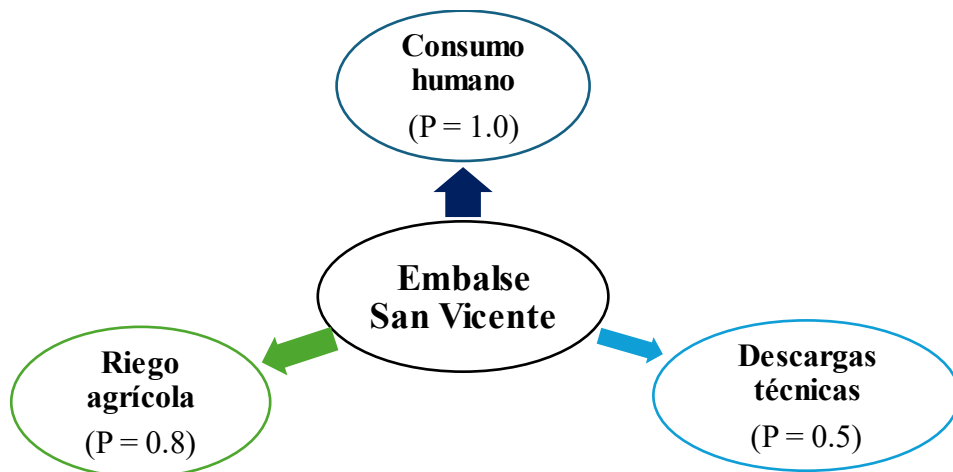
**Tabla 16.**

*Jerarquización y asignación proporcional de usos del agua según normativa nacional*

Tipo de uso	Prioridad legal	Factor de prelación	Consideraciones
Consumo humano	1°	1.0	Prioridad absoluta
Riego agrícola	2°	0.8	Restricción en estiaje
Descargas técnicas	3°	0.5	Operación de seguridad y mantenimiento

**Figura 17.**

*Esquema metodológico de priorización de usos del agua en la Presa San Vicente*



### 3.6.5. Evaluación de la eficiencia en la distribución actual.

La evaluación de la eficiencia en la distribución del recurso hídrico constituye un paso esencial dentro del desarrollo del modelo de gestión para la Presa San Vicente, ya que permite identificar pérdidas, desequilibrios operativos y oportunidades de optimización en los sistemas de conducción hacia los diferentes usos.

La eficiencia operativa del sistema se analiza desde una perspectiva hidráulica y volumétrica, considerando las pérdidas físicas y las variaciones entre volúmenes descargados y entregados.

#### 1. Eficiencia hidráulica

La eficiencia hidráulica ( $E_h$ ) se define como la relación entre el volumen efectivamente entregado al punto de demanda y el volumen total descargado desde el embalse:

##### **Ecuación 8.**

*Eficiencia hidráulica ( $E_h$ )*

$$E_h = \frac{V_{entregado}}{V_{descargado}} * 100$$

Evalúa la proporción del volumen que llega efectivamente a los puntos de entrega. Los datos provienen de aforos, registros de compuertas y planillas de entrega.

#### 2. Eficiencia volumétrica

La eficiencia volumétrica ( $E_v$ ) evalúa el grado de correspondencia entre la demanda proyectada y el volumen efectivamente entregado a cada uso:

##### **Ecuación 9.**

*Eficiencia volumétrica ( $E_v$ )*

$$E_h = \frac{V_{entregado}}{V_{demandado}} * 100$$

Mide la correspondencia entre volúmenes entregados y demandas registradas. Permite identificar déficits de suministro o exceso de entrega durante periodos húmedos.

#### 3. Eficiencia operativa

La eficiencia operativa ( $E_o$ ) mide la capacidad del sistema de conducción para mantener la continuidad y regularidad en la entrega del agua. Se analiza mediante indicadores de desempeño como:

- Disponibilidad del sistema (% de tiempo operativo efectivo):

**Ecuación 10.**

*Disponibilidad del sistema (% de tiempo operativo efectivo)*

$$D_s = \frac{T_{operativo}}{T_{total}} * 100$$

Refleja la capacidad de continuidad del sistema durante el año hidrológico. Se estima a partir de registros de mantenimiento y tiempos de respuesta en maniobras de compuertas.

**4. Integración de indicadores de eficiencia**

Los tres indicadores se integran en un índice sintético de eficiencia global ( $E_g$ ), calculado como un promedio ponderado:

**Ecuación 11.**

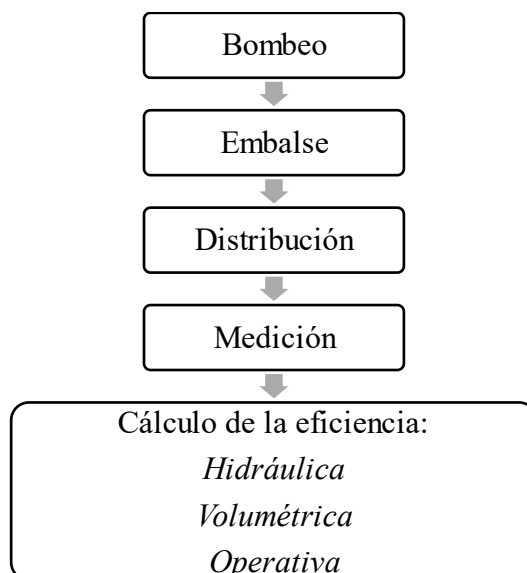
*Índice sintético de eficiencia global ( $E_g$ )*

$$E_g = 0.4E_h + 0.3E_v + 0.3E_o$$

donde los pesos asignados se fundamentan en la importancia relativa de cada componente dentro de la gestión integral del sistema.

**Figura 18.**

*Esquema metodológico de priorización de usos del agua en la Presa San Vicente*



### **3.6.6. Identificación de pérdidas y desequilibrios operativos**

El análisis de pérdidas y desequilibrios operativos constituye un componente esencial en la evaluación integral del sistema hidráulico de la Presa San Vicente, ya que permite diagnosticar las ineficiencias físicas y administrativas que afectan la confiabilidad del suministro de agua hacia los distintos usos.

#### **1. Tipología de pérdidas en el sistema**

Las pérdidas totales del sistema se agrupan en tres tipos:

- Físicas: evaporación (8.76 hm<sup>3</sup>/año), infiltración (0.75 hm<sup>3</sup>/año) y fugas menores.
- Operativas: descargas no programadas o maniobras simultáneas ineficientes (1.75 hm<sup>3</sup>/año).
- Administrativas: discrepancias entre volúmenes entregados y registrados ( $\leq 0.5$  hm<sup>3</sup>/año).

#### **2. Metodología para la identificación de pérdidas**

El procedimiento metodológico adoptado para la detección y cuantificación de pérdidas combina información instrumental y documental, de acuerdo con el siguiente esquema:

##### **a. Registro de mediciones hidráulicas**

Se recopilan datos horarios y diarios de caudales bombeados y descargados en las conducciones principales, a partir de los registros recabados. Estos datos permiten determinar discrepancias entre los volúmenes extraídos del embalse y los volúmenes efectivamente entregados.

##### **b. Contraste con volúmenes demandados**

Se realiza una comparación entre el volumen de agua demandado por los usuarios (según registros de consumo y planificación de riego) y el volumen medido en los puntos de entrega. Las desviaciones mayores al  $\pm 10$  % se consideran indicativas de pérdidas operativas o de calibración.

##### **c. Análisis de infiltraciones y evaporación**

A partir de los datos de evaporación del INAMHI, (2015) y de la superficie efectiva del embalse (6 km<sup>2</sup>), se estima la pérdida superficial mensual.

Además, se revisan los registros geotécnicos que indican infiltraciones promedio anuales de 0.75 hm<sup>3</sup>/año hacia los estratos permeables, según el estudio técnico de la EPA (2019).

### 3. Cuantificación de pérdidas por componente

La siguiente tabla presenta la metodología adoptada para la cuantificación de pérdidas por cada tipo identificado, con base en los datos históricos y técnicos disponibles.

**Tabla 17.**  
*Metodología de cuantificación de pérdidas en el sistema de la Presa San Vicente*

Tipo de pérdida	Indicador o fórmula aplicada	Frecuencia de cálculo	Observación técnica
Físicas	$P_f = V_{embalse} - V_{entregado} - V_{evaporación} - V_{infiltración}$	Mensual	Determina pérdidas en conducción
Operativas	Diferencia entre volumen programado y volumen entregado	Semanal	Asociada a fallas de maniobra o control
Administrativas	Diferencia entre volumen entregado y volumen facturado	Trimestral	Pérdidas por registro o facturación
Total del sistema	$P_t = P_f + P_o + P_a$	Anual	Pérdida global del sistema

### 4. Resultado metodológico esperado

El desarrollo de esta metodología permitirá:

- Determinar los volúmenes desembalsados reales en función de las tres descargas del sistema.
- Priorizar el uso del recurso conforme a la jerarquía legal vigente.
- Evaluar la eficiencia hidráulica y volumétrica del sistema operativo.
- Identificar pérdidas y desequilibrios que sustenten el diseño del modelo de gestión técnica propuesto en el siguiente capítulo.

### **3.7. METODOLOGÍA DEL O.E.3.: DISEÑO DE UNA PROPUESTA OPERATIVA PARA EL BOMBEO DE LOS CAUDALES DE ENTRADA Y APERTURA DE COMPUERTAS EN LAS DESCARGAS DE SALIDA**

#### **3.7.1. Diagnóstico actual del sistema de bombeo**

El diagnóstico técnico-operativo del sistema de bombeo del Trasvase Chongón–San Vicente constituye la primera etapa metodológica para el diseño de la propuesta operativa. Su finalidad es caracterizar el sistema de impulsión, establecer sus parámetros hidráulicos de funcionamiento y evaluar el régimen actual de operación, con el propósito de definir criterios para una programación manual optimizada del bombeo hacia el embalse San Vicente, que permita regular el ingreso de caudales de acuerdo con la disponibilidad hídrica y las demandas de descarga aguas abajo.

##### **1. Caracterización del sistema de bombeo**

El Sistema Trasvase Chongón–San Vicente inicia en el río Cachul, al costado izquierdo de la carretera Las Juntas – Julio Moreno, dentro de la jurisdicción de los cantones Simón Bolívar y Santa Elena, provincia de Santa Elena.

En este punto se ubica una estructura de derivación que capta un caudal de 4,60 m<sup>3</sup>/s proveniente del canal Chongón–Sube y Baja, cuyo origen de aporte corresponde al embalse Chongón.

Desde esta derivación, el sistema de trasvase se desarrolla mediante las siguientes infraestructuras principales:

- Derivadora Bejuco: punto de captación que eleva el caudal de 4.6 m<sup>3</sup>/s hasta la cota 110 m s.n.m.
- Canal Bejuco: conducción de geomembrana con una longitud de 5.7 km, que transporta el agua hacia el embalse Leoncito, cuya capacidad de almacenamiento es de 500000 m<sup>3</sup>.
  - ✓ Cota máxima de inundación: 108 m s.n.m.
  - ✓ Cota de corona: 110 m s.n.m.

Desde el embalse Leoncito parte un canal de aproximación de 200 m de longitud, sección trapezoidal (taludes 2:1), que actúa como cámara de sedimentación y transición hidráulica hacia la Estación de Bombeo Leoncito (EBL), donde se ubican las unidades principales de impulsión.

## 2. Estación de Bombeo Leoncito (EBL)

La EBL constituye el punto de impulsión principal del sistema, a través de una línea de impulsión de acero de 2,10 km, donde se eleva el agua 120 m hasta un tanque rompe presión de donde nace una línea de conducción de PRFV de 3,20 km y desemboca en el estero La Camarona en donde se utiliza su cauce natural para transportar el caudal bombeado encargado de elevar el agua hacia el embalse San Vicente, en un recorrido de 30,00 km.

Las características técnicas del sistema se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 18.**  
*Características técnicas del sistema de bombeo del Trasvase Chongón–San Vicente*

Parámetro técnico	Valor nominal	Unidad	Observaciones
Tipo de bomba	Centrífuga horizontal, carcaza partida	—	Marca XYLEM THD 120
Número de unidades	4	—	3 operativas y 1 en reserva
Caudal por bomba	1.15	m <sup>3</sup> /s	Caudal nominal por unidad
Caudal total de diseño	4.6	m <sup>3</sup> /s	Operación simultánea
Velocidad de rotación	900	rpm	—
Altura de impulsión	120	m	Desde el nivel de captación hasta el tanque rompe presión
Diámetro de impulsión	1600	mm	Tubería de acero al carbono

Longitud de impulsión	2.10	km	Desde EBL hasta el tanque rompe presión
Diámetro de conducción posterior	1800	mm	Tubería PRFV desde rompe presión
Longitud de conducción final	3.20	km	Hasta el estero La Camarona
Trayecto natural del flujo	30	km	Cauce del estero La Camarona hasta el embalse San Vicente
Modo de operación	Manual programado	—	Maniobras realizadas por técnicos operativos

### 3. Evaluación del régimen de operación actual

El análisis de los registros de bombeo correspondientes al período 2015–2024 permitió establecer que la operación del sistema se ejecuta de forma manual y continua, con una duración promedio de 14 a 16 horas diarias, predominantemente en horarios diurnos (06:00–22:00).

Este régimen operativo, aunque mantiene la continuidad del trasvase, no se encuentra sincronizado con las condiciones del embalse San Vicente ni con las descargas de salida, provocando fluctuaciones en el nivel de almacenamiento y pérdidas por evaporación durante los periodos de mayor temperatura ambiental.

El caudal promedio impulsado oscila entre 3.5 y 4.6 m<sup>3</sup>/s, dependiendo del nivel del embalse Chongón y de las necesidades de reposición de volumen en el embalse San Vicente.

### 4. Limitaciones técnicas identificadas

El diagnóstico técnico-operativo permitió identificar los siguientes aspectos críticos que limitan la eficiencia del sistema de impulsión:

- Ausencia de una programación horaria estandarizada que relacione el inicio y fin del bombeo con el nivel operativo del embalse San Vicente (cotas entre 55,0 y 57,5 m s.n.m.).

- Operación predominantemente diurna, coincidente con las horas de mayor temperatura y evaporación.
- Falta de coordinación entre el bombeo y las maniobras de apertura de compuertas de descarga, lo que ocasiona desajustes en el balance hídrico del embalse.
- Carencia de registros técnicos sistemáticos que permitan evaluar con precisión los volúmenes bombeados y su correlación con los niveles del embalse.
- Dependencia de decisiones reactivas, basadas en observaciones empíricas y experiencia del personal, sin procedimientos formalmente documentados.

### **3.7.2. Diagnóstico de la operación de compuertas**

La operación de compuertas en la Presa San Vicente constituye el componente esencial de regulación de los caudales de salida hacia los sistemas de riego, abastecimiento urbano y vertido de seguridad. Esta etapa metodológica tiene como objetivo caracterizar los mecanismos existentes y establecer una base para su programación técnica coordinada con el bombeo de entrada.

#### **1. Sistema de compuertas y mecanismos de descarga**

El embalse cuenta con dos sistemas de descarga principales:

- Descarga por tubería cerrada: destinada al sistema de abastecimiento de los 11 reservorios para riego.
- Descarga por canal abierto: utilizada para el riego agrícola del valle del río Javita y abastecimiento del embalse de Cola, además de la futura red de agua potable que se encuentra paralizada.

Cada mecanismo dispone de compuertas de operación manual o hidráulica asistida, diseñadas para regular el caudal de salida según las necesidades de la demanda. La Tabla 19 resume sus características técnicas principales.

**Tabla 19.**

*Características técnicas de las compuertas del sistema de descarga del embalse San Vicente*

<b>Tipo de compuerta</b>	<b>Uso principal</b>	<b>Caudal máximo (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Sistema de operación</b>	<b>Estado operativo</b>
Tubería cerrada	Abastecimiento de los 11 reservorios para riego	1.53	Manual-hidráulico	Bueno
Canal agrícola y agua potable	Riego agrícola y abastecimiento del embalse de Cola	1.50	Manual-hidráulico	Regular

## 2. Frecuencia y patrón de apertura

Los registros de maniobra (EPA) muestran que la frecuencia de apertura varía de acuerdo con el régimen estacional.

Para fines metodológicos, los datos se agrupan de la siguiente manera:

**Tabla 20.**

*Frecuencia y patrón de apertura de las compuertas en la presa San Vicente (n°./mes)*

<b>Mes</b>	<b>Frecuencia promedio de apertura (n°/mes)</b>
Enero	18
Febrero	20
Marzo	25
Abril	22
Mayo	18
Junio	10
Julio	8
Agosto	6

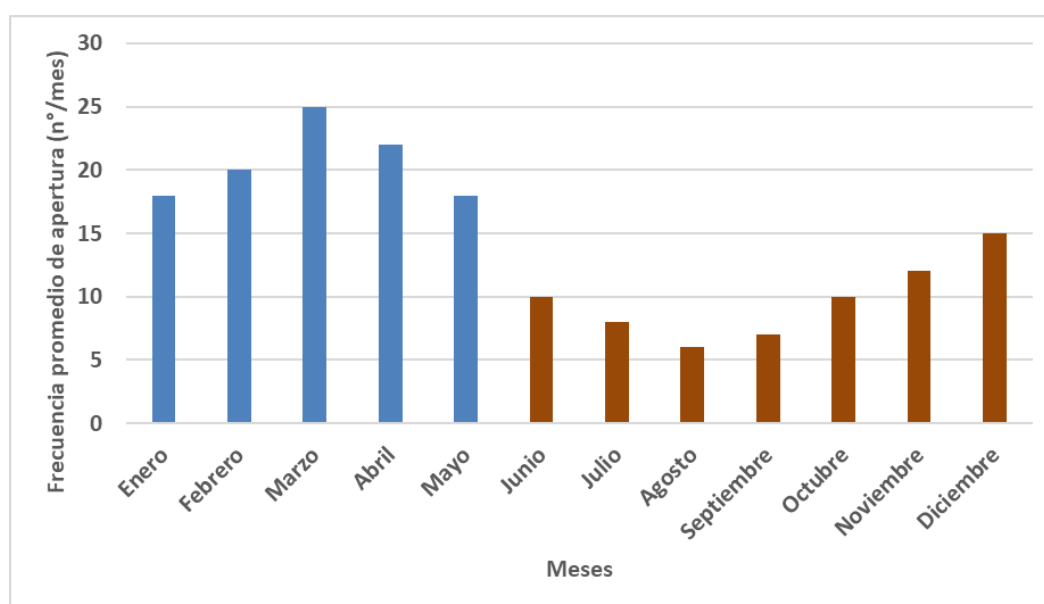
Septiembre	7
Octubre	10
Noviembre	12
Diciembre	15

**Nota.** Registros operativos EPA

La figura 19 ilustra el promedio mensual de maniobras de apertura de las compuertas principales, evidenciando la estacionalidad operativa del sistema.

**Figura 19.**

*Frecuencia mensual promedio de apertura de compuertas*



### 3. Volúmenes descargados

El volumen liberado a través de las compuertas fue determinado mediante el cálculo de caudales medios descargados y los tiempos de apertura reportados. El volumen medio anual total se estimó en 90.94 hm<sup>3</sup>/año.

**Tabla 21.**

*Volúmenes y caudales medios anuales descargados por tipo de compuerta*

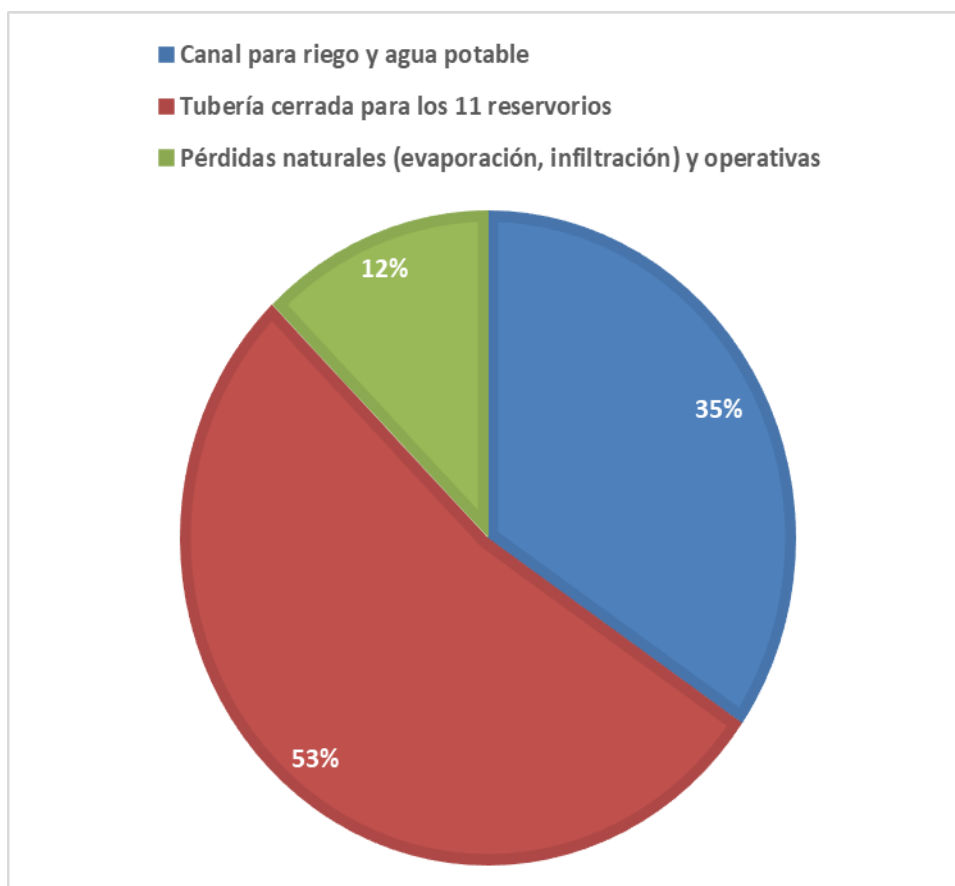
Tipo de descarga	Caudal medio (m <sup>3</sup> /s)	Volumen anual (hm <sup>3</sup> /año)	Porcentaje del total (%)

Canal para riego y agua potable	1.50	23.4 + 8.03	34.56
Tubería cerrada para los 11 reservorios (riego)	1.53	48.25	53.06
Pérdidas naturales (evaporación, infiltración) y operativas		11.26	12.38
Total	—	90.94	100

La Figura 20 muestra la proporción de volúmenes descargados, donde se observa la dominancia del uso agrícola en la operación del embalse.

**Figura 20.**

*Distribución porcentual de los volúmenes liberados por tipo de descarga – Embalse San Vicente*



#### 4. Estimación de pérdidas hidráulicas

Para el cálculo de pérdidas, se propone comparar el caudal teórico de descarga ( $Q_t$ ) con el medido aguas abajo ( $Q_r$ ), aplicando la ecuación del orificio:

##### **Ecuación 12.**

*Caudal teórico de descarga ( $Q_t$ )*

$$Q_t = C_d * A * \sqrt{2gh}$$

donde:

$Q_t$ : caudal teórico ( $m^3/s$ )

$C_d$ : coeficiente de descarga (0,62 – 0,68 para compuertas radiales)

$A$ : área de apertura ( $m^2$ )

$h$ : carga hidráulica (m)

##### **Ecuación 13.**

*Pérdida hidráulica ( $Ph$ )*

$$P_h = \frac{Q_t - Q_r}{Q_t} * 100$$

donde:

$Ph$ : pérdida hidráulica ( $m^3/s$ )

$Q_r$ : caudal requerido aguas abajo ( $m^3/s$ )

Los resultados que se obtengan servirán como insumo para el diseño de un modelo de programación técnica de compuertas, que permita optimizar la frecuencia de maniobra, minimizar pérdidas y sincronizar la operación con el sistema de bombeo y las demandas hídricas sectoriales.

#### 3.7.3. Propuesta de programación manual del bombeo

La programación propuesta busca regular el ingreso de caudales al embalse San Vicente en función del nivel de almacenamiento, las pérdidas naturales y las demandas de descarga programadas. El sistema se fundamenta en horarios de operación definidos manualmente, ejecutados por técnicos especializados con supervisión directa y registro operativo diario, garantizando una operación coordinada con las maniobras de compuertas.

## 1. Criterios de programación

La programación del bombeo se establecerá considerando los niveles operativos reales del embalse, determinados a partir de los estudios batimétricos y de operación de la EPA (2019):

**Tabla 22.**  
*Criterios de programación manual del bombeo*

Parámetro	Cota (m.s.n.m.)	Descripción técnica
Nivel mínimo operativo	54.0	Nivel inferior de regulación; evita succión de sedimentos y protege los equipos de descarga.
Nivel óptimo de operación	55.5 – 56.0	Rango ideal de almacenamiento para garantizar demanda de agua potable y riego agrícola.
Nivel máximo de seguridad	57.5	Umbral previo a descargas preventivas por el vertedero de seguridad.

Disponibilidad de caudales de entrada (trasvase Chongón–San Vicente):

- Caudal normal de operación: 3.5 m<sup>3</sup>/s
- Caudal máximo de impulsión: 4.6 m<sup>3</sup>/s

Demanda hídrica estacional:

- Alta demanda: mayo – noviembre (predominio agrícola).
- Media demanda: diciembre – abril (abastecimiento urbano).

## 2. Esquema de turnos propuesto

El régimen de bombeo se plantea bajo una programación manual nocturna y de madrugada, con el fin de reducir pérdidas por evaporación y mantener un nivel estable de embalse durante las horas de mayor consumo.

**Tabla 23.**  
*Turnos de operación propuestos para el bombeo de la estación*

Turno	Horario	Duración (h)	Prioridad	Justificación técnica
-------	---------	--------------	-----------	-----------------------

Turno nocturno	22:00 – 06:00	8	Alta	Baja temperatura y menor evaporación
Turno de madrugada	02:00 – 10:00	8	Media	Ajuste de niveles previos a demanda agrícola
Turno de respaldo	14:00 – 18:00	4	Baja	Solo en emergencias o déficit estacional

Este esquema permite mantener el nivel del embalse dentro del rango 55–56 m.s.n.m., evitando oscilaciones bruscas y garantizando continuidad de suministro hacia los sistemas de salida.

### 3.7.4. Propuesta de programación de apertura de compuertas

La programación de la apertura de compuertas busca coordinar las descargas del embalse con los volúmenes de entrada provenientes del trasvase, garantizando una operación estable, segura y ajustada a las demandas reales de agua potable y riego agrícola.

#### 1. Criterios técnicos

La frecuencia y duración de apertura se determinan según los siguientes parámetros:

- Nivel del embalse (N): variable principal para definir la maniobra.
- Volumen útil disponible (Vu): obtenido del balance hídrico mensual.
- Demanda sectorial: priorizando el consumo humano sobre el agrícola.

La frecuencia de apertura (F) se determina aplicando la relación:

#### Ecuación 14.

*Frecuencia de apertura (F)*

$$F = \frac{V_u}{Q_d * t}$$

donde:

$Qd$ : caudal de descarga promedio ( $m^3/s$ )

$t$ : tiempo de descarga (horas)

$F$ : frecuencia de apertura (número de eventos/semana)

## 2. Programación propuesta por condición hidráulica del embalse

En función de los análisis del balance hídrico mensual y estacional, se definieron tres escenarios de operación para la programación de compuertas: húmedo, normal y seco, con frecuencias ajustadas a la disponibilidad de caudal y las prioridades de uso.

**Tabla 24.**

*Propuesta de frecuencias de apertura de compuertas según escenarios operativos*

Escenario	Nivel del embalse (m s.n.m.)	Caudal disponible ( $m^3/s$ )	Frecuencia de apertura	Duración promedio (h/evento)	Destino prioritario
Alta disponibilidad	56.5 – 57.5	4.0 – 5.0	4 veces/semana	4 – 5	Riego agrícola y regulación preventiva
Normal	55 – 56.5	3.0 – 4.0	3 veces/semana	5 – 6	Consumo humano y riego balanceado
Baja disponibilidad	54 – 55	2.0 – 3.0	1–2 veces/semana	6 – 8	Consumo humano prioritario

El registro de maniobras deberá realizarse en bitácoras operativas diarias, consignando la hora, duración y caudal aproximado descargado. Estos datos servirán como base para la evaluación posterior del modelo de gestión.

### 3.7.5. Simulación analítica y evaluación operativa

Para validar la efectividad de la programación propuesta, se realizará una simulación analítica del balance hídrico con los registros del período 2015–2025.

La comparación entre la operación actual y la propuesta permitirá evaluar el comportamiento hidráulico del embalse bajo distintas condiciones.

#### 1. Variables analizadas:

- Nivel medio mensual del embalse (m s.n.m.).
- Volumen almacenado (hm<sup>3</sup>).
- Volumen descargado (hm<sup>3</sup>/año).
- Eficiencia operativa y continuidad del suministro.

#### Ecuación 15.

*Variación de volumen del embalse*

$$\Delta V = Q_{in} - Q_{out} - (E + I)$$

donde:

$Q_{in}$ : caudal de entrada,

$Q_{out}$ : caudal de salida controlada,

$E$ : evaporación,

$I$ : infiltración.

#### 2. Estructura de los escenarios analizados

**Tabla 25.**

*Estructura metodológica de los escenarios analizados para la Presa San Vicente*

Escenario	Condición hidrológica	Características del aporte	Pérdidas consideradas	Objetivo de simulación
Húmedo	Alta disponibilidad	Incremento del 25 % en caudal de aporte	Evaporación reducida	Evaluar control de sobrellenado.
Normal	Promedio histórico	Equilibrio entre aportes y descargas	Pérdidas estacionales	Verificar estabilidad operativa.

				Evaluar
Seco	Déficit de aportes	Reducción del 30 %	Evaporación incrementada	continuidad del suministro humano.

### 3.7.6. Evaluación de indicadores de desempeño

Finalmente, la propuesta se evaluará mediante indicadores de desempeño hidráulico y operativo, que permitirán medir la confiabilidad y eficiencia del modelo frente al régimen tradicional.

**Tabla 26.**

*Indicadores de desempeño considerados para la evaluación del modelo propuesto*

Indicador	Descripción	Ecuación	Unidad
Eficiencia hidráulica (Eh)	Relación entre volumen entregado y descargado	$E_h = \frac{V_{entregado}}{V_{descargado}} * 100$	%
Eficiencia volumétrica (Ev)	Relación entre volumen entregado y demandado	$E_v = \frac{V_{entregado}}{V_{demandado}} * 100$	%
Continuidad operativa (Co)	Tiempo efectivo de operación del sistema	$C_o = \frac{T_{operativo}}{T_{total}} * 100$	%

El conjunto de estos indicadores permitirá valorar la viabilidad técnica y funcional de la programación manual propuesta, verificando su capacidad para sincronizar el bombeo de entrada con la apertura de compuertas de salida, garantizando una operación más estable, eficiente y segura del sistema hídrico San Vicente.

### 3.8. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 27.**

*Operacionalización de la variable independiente*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA / UNIDAD
Modelo de gestión técnico-operativa aplicado al sistema Trasvase Chongón-San Vicente	Conjunto estructurado de procedimientos hidráulicos, técnicos y normativos orientados a optimizar la operación, distribución y aprovechamiento del agua en un sistema multipropósito. (Loucks & van Beek, 2017; MAATE, 2022)	Se establece mediante la formulación de estrategias de programación manual de bombeo y apertura de compuertas, basadas en el balance hídrico real, los niveles operativos del embalse y la demanda estacional de agua para riego y consumo humano.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Programación manual del bombeo.</li> <li>– Regulación de caudales de entrada y salida.</li> <li>– Control hidráulico de compuertas.</li> <li>– Evaluación del balance hídrico mensual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Niveles operativos (54–57,5 m s.n.m.).</li> <li>– Caudal impulsado promedio (m<sup>3</sup>/s).</li> <li>– Frecuencia de apertura de compuertas (eventos/semana).</li> <li>– Balance de volúmenes (hm<sup>3</sup>).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>m s.n.m.</li> <li>m<sup>3</sup>/s</li> <li>hm<sup>3</sup></li> <li>%</li> </ul>

**Tabla 28.***Operacionalización de las variables dependientes*

<b>VARIABLES</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>ESCALA / UNIDAD</b>
Eficiencia en la distribución del recurso hídrico	Grado en que el sistema multipropósito cumple con la entrega oportuna y suficiente de agua según las demandas de riego y consumo humano, minimizando pérdidas (FAO, 2017).	Se mide mediante el volumen útil entregado respecto al volumen total disponible en el embalse, considerando el cumplimiento de la demanda sectorial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Distribución volumétrica.</li> <li>– Cumplimiento de demanda.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– % de demanda atendida.</li> <li>– Eficiencia hídrica (Eh).</li> </ul>	%
Reducción de pérdidas hídricas	Disminución de pérdidas por evaporación, infiltración o descargas no controladas en el almacenamiento y distribución (INAMHI, 2015).	Se determina comparando las pérdidas físicas estimadas antes y después de la aplicación del modelo de gestión.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Evaporación superficial.</li> <li>– Infiltración.</li> <li>– Descargas no controladas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Volumen perdido anual (hm<sup>3</sup>).</li> <li>– % de reducción de pérdidas.</li> </ul>	hm <sup>3</sup> / %

Continuidad y sostenibilidad operativa del sistema	Capacidad del embalse y su infraestructura para mantener la provisión estable de agua potable y riego bajo condiciones variables de clima y demanda (Hashimoto et al., 1982).	Se evalúa mediante los indicadores de desempeño hidráulico como lo es la eficiencia hidráulica, volumétrica y operativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Estabilidad operativa.</li> <li>– Recuperación tras fallas.</li> <li>– Adaptabilidad climática.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Eficiencia hidráulica</li> <li>– Eficiencia volumétrica</li> <li>– Eficiencia operativa</li> </ul>	%
--	---	---	---	---	---

# CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

## 4.1. RESULTADOS DEL O.E.1.: PROGRAMACIÓN TÉCNICA DE LA OPERACIÓN DEL EMBALSE EN FUNCIÓN DEL BALANCE HÍDRICO

### 4.1.1. Condiciones hidrometeorológicas del sistema

El comportamiento hidrometeorológico del sistema Chongón–San Vicente determina directamente la disponibilidad hídrica del embalse, por lo que se analizaron las series históricas de precipitación y evaporación potencial de las estaciones representativas de Colonche y Santa Elena–Universidad (M1170).

#### a) Precipitación media mensual y anual

Los registros muestran un régimen marcadamente estacional, con concentraciones de lluvia entre enero y abril, coincidiendo con el período húmedo de la costa ecuatoriana.

El promedio anual de precipitación efectiva se estima en 480 mm/año, de los cuales más del 80 % se concentra en los primeros cuatro meses del año.

**Tabla 29.**

*Precipitación media mensual en el área de influencia del embalse San Vicente*

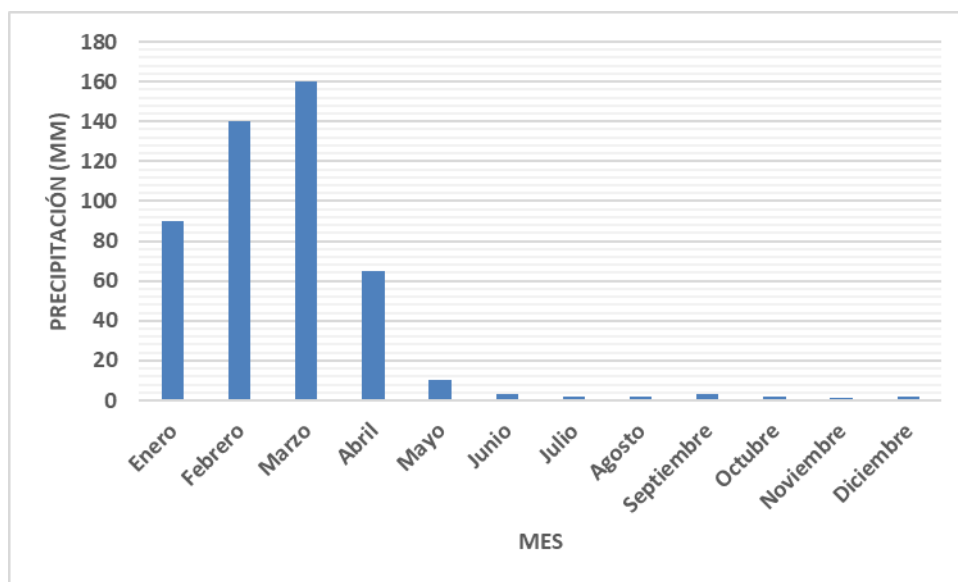
Mes	Precipitación (mm)	Porcentaje anual (%)
Enero	90	18.8
Febrero	140	29.2
Marzo	160	33.3
Abril	65	13.5
Mayo	10	2.1
Junio	3	0.6
Julio	2	0.4
Agosto	2	0.4
Septiembre	3	0.6
Octubre	2	0.4

Noviembre	1	0.2
Diciembre	2	0.4
Total anual	480	100

La Figura 21 evidencia la marcada estacionalidad del régimen pluviométrico, con máximos en marzo y mínimos casi nulos entre junio y noviembre.

**Figura 21.**

*Variación mensual de precipitación en el área del embalse San Vicente (mm/mes)*



### b) Evaporación media mensual y anual

La evaporación potencial presenta un comportamiento inverso al de la precipitación, con valores más altos en los meses secos.

De acuerdo con los registros de la estación M1170, la evaporación anual promedio es de 1459.2 mm, con máximos entre agosto y noviembre, cuando las temperaturas medias superan los 30 °C.

**Tabla 30.**

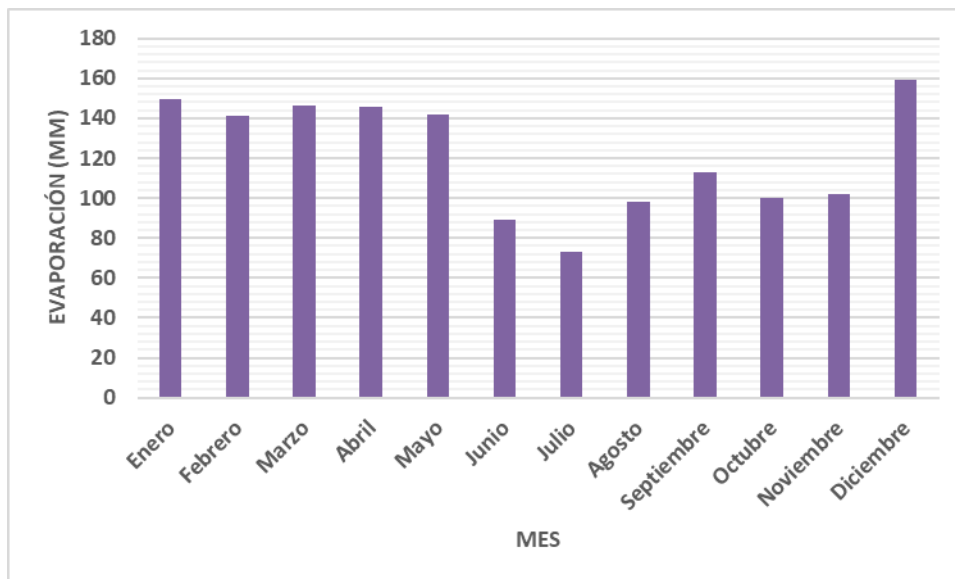
*Evaporación potencial mensual promedio*

Mes	Evaporación (mm)	Porcentaje anual (%)
Enero	149.3	10.2
Febrero	141.2	9.7

Marzo	146.2	10.0
Abril	145.7	10.0
Mayo	141.6	9.7
Junio	89.1	6.1
Julio	73.3	5.0
Agosto	98.0	6.7
Septiembre	113.2	7.8
Octubre	100.2	6.9
Noviembre	102.0	7.0
Diciembre	159.4	10.9
Total anual	1459.2	100

**Figura 22.**

*Variación mensual de evaporación potencial en el área del embalse San Vicente (mm/mes)*



### c) Comparación estacional y balance climático

El contraste entre la precipitación y la evaporación permite identificar los meses de déficit hídrico (evaporación > precipitación) y los meses de recarga (precipitación > evaporación). El análisis comparativo entre la precipitación

efectiva y la evaporación potencial evidencia un régimen climático marcadamente deficitario a lo largo del año en el embalse de San Vicente.

De acuerdo con los registros históricos, la precipitación anual promedio alcanza 480 mm, mientras que la evaporación total asciende a 1459.2 mm, generando un balance hídrico potencial negativo de -979.2 mm/año.

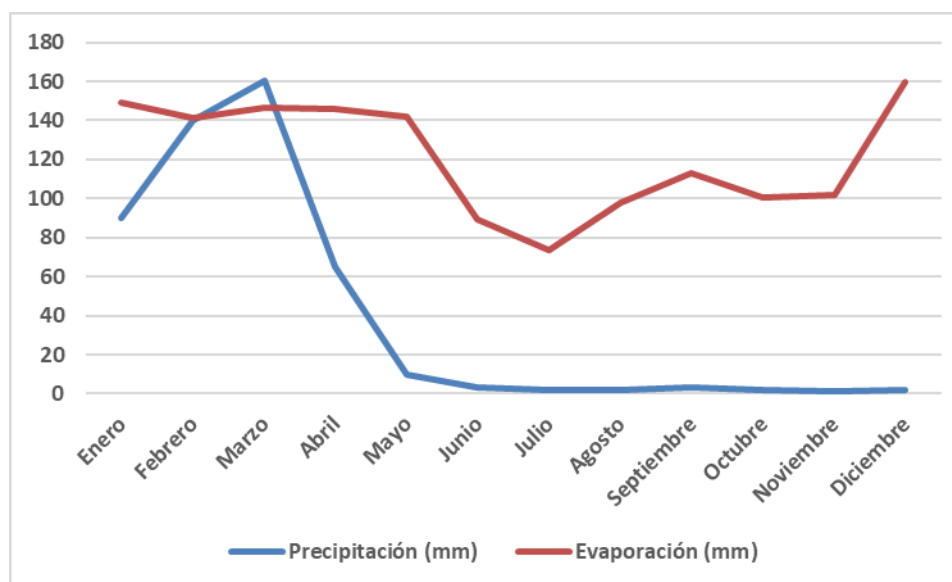
**Tabla 31.**  
*Comparativo mensual de precipitación–evaporación y balance hídrico potencial*

Mes	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)	Balance (P–E) (mm)	Condición
Enero	90	149.3	-59.3	Déficit leve
Febrero	140	141.2	-1.2	Déficit leve
Marzo	160	146.2	13.8	Recarga
Abril	65	145.7	-80.7	Déficit moderado
Mayo	10	141.6	-131.6	Déficit severo
Junio	3	89.1	-86.1	Déficit moderado
Julio	2	73.3	-71.3	Déficit moderado
Agosto	2	98.0	-96	Déficit moderado
Septiembre	3	113.2	-110.2	Déficit severo
Octubre	2	100.2	-98.2	Déficit moderado
Noviembre	1	102.0	-101	Déficit severo
Diciembre	2	159.4	-157.4	Déficit severo
Total anual	480	1459.2	-979.2	—

En la Figura 23 se observa que la recarga neta del embalse ocurre en marzo, mientras que los meses restantes predomina un déficit de humedad.

**Figura 23.**

*Comparación estacional entre precipitación y evaporación*



#### **4.1.2. Volúmenes de entrada al embalse San Vicente**

El principal aporte hídrico hacia el embalse San Vicente proviene del sistema Trasvase Chongón–San Vicente, el cual conduce caudales desde el embalse Chongón a través de la estación de bombeo Leoncito y el cauce del estero La Camarona.

Los registros operativos de la Empresa Pública del Agua (EPA, 2015–2024) indican que los caudales promedio bombeados fluctúan entre 1.5 y 3.2 m<sup>3</sup>/s, dependiendo de la disponibilidad de operación de las bombas y de las condiciones estacionales de demanda.

A partir de estos valores y del tiempo anual de operación, se obtuvo un volumen anual promedio de entrada al embalse comprendido entre 120 y 150 hm<sup>3</sup>/año, representando el 85–90 % del total de ingresos hídricos del sistema.

Este volumen refleja el comportamiento característico de un sistema dependiente de bombeo continuo, con picos de transferencia durante la temporada lluviosa (enero–abril) y reducciones significativas durante la estación seca (mayo–noviembre).

**Tabla 32.**

*Volúmenes anuales provenientes del Trasvase Chongón–San Vicente*

<b>Año</b>	<b>Caudal promedio (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Volumen anual (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Participación (%)</b>
2015	2.1	125	86.2
2016	2.4	137	87.8
2017	2.3	132	87.1
2018	1.9	115	84.3
2019	2.8	151	89.5
2020	3.0	155	90.1
2021	2.2	128	86.5
2022	1.8	118	84.9
2023	2.7	148	88.9
2024	2.5	142	88.1
Promedio	2.4	135	87.3

Los cálculos hidrológicos, basados en un coeficiente de escorrentía de 0,25–0,30 y precipitaciones anuales promedio de 480 mm, permiten estimar volúmenes entre 12 y 15 hm<sup>3</sup>/año durante años húmedos, equivalentes a 10–15 % del total de entradas.

Esta contribución es altamente estacional, concentrándose entre los meses de enero y abril, cuando las lluvias locales incrementan la escorrentía directa y la infiltración superficial hacia el vaso del embalse. En el resto del año, la escorrentía es prácticamente nula, dependiendo la reposición total del almacenamiento del trasvase principal.

**Tabla 33.**

*Comparativo de volúmenes de entrada al embalse San Vicente*

<b>Fuente de aporte</b>	<b>Volumen anual (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Condición de aporte</b>
-------------------------	---	---------------------------	--------------------------------

Trasvase Chongón– San Vicente	120 – 150	85 – 90	Permanente, por bombeo
Escorrentía local	12 – 15	10 – 15	Estacional (enero– abril)
Total	135 – 165	100	—

### 4.1.3. Volúmenes de salida del embalse

#### (a) Resultados de demanda para agua potable

El volumen destinado al abastecimiento urbano desde la presa San Vicente corresponde a 8.03 hm<sup>3</sup>/año, calculado según la capacidad nominal de la planta potabilizadora proyectada de 22000 m<sup>3</sup>/día.

Este volumen cubre la demanda actual estimada de 67560 habitantes en las comunidades del norte de la provincia de Santa Elena.

**Tabla 34.**

*Comparativo de volúmenes de entrada al embalse San Vicente*

Parámetro	Valor	Unidad
Población servida	67560	hab
Dotación	159	L/hab·día
Caudal medio diario	22 000	m <sup>3</sup> /día
Volumen anual	8.03	hm <sup>3</sup> /año

El volumen destinado a consumo humano representa aproximadamente 8 % del total de salidas anuales del embalse, considerado uso prioritario dentro del sistema multipropósito.

#### (b) Resultados de demanda agrícola

El sistema de riego se abastece mediante dos infraestructuras principales: un canal abierto y una tubería cerrada que alimenta once reservorios agrícolas.

### Canal abierto

- El canal suministra caudal a las bombas de riego y al reservorio de Cola, en donde el volumen total anual calculado alcanza 23.4 hm<sup>3</sup>/año.

### Tubería cerrada

- Los 11 reservorios conectados mediante conducción cerrada demandan un volumen conjunto de 48.25 hm<sup>3</sup>/año, correspondiente a un caudal promedio total de 1.53 m<sup>3</sup>/s.

**Tabla 35.**

*Volúmenes anuales de riego agrícola desde la presa San Vicente*

Tipo de infraestructura	Volumen (hm <sup>3</sup> /año)	Porcentaje (%)
Canal abierto (bombas y reservorio de Cola)	23.4	32.7
Tubería cerrada (11 reservorios)	48.25	67.3
Total riego agrícola	71.65	100

El riego agrícola constituye el uso dominante del sistema, concentrando aproximadamente 81 % de las salidas totales anuales del embalse.

### (c) Pérdidas físicas del sistema

Las pérdidas naturales se asocian a evaporación directa desde el espejo de agua y a infiltración subterránea hacia estratos permeables.

**Tabla 36.**

*Pérdidas físicas anuales del embalse San Vicente*

Tipo de pérdida	Valor estimado	Unidad	Observación
Evaporación	8.76	hm <sup>3</sup> /año	Área superficial 6 km <sup>2</sup> , E = 1459.2 mm/año
Infiltración	0.75	hm <sup>3</sup> /año	Pérdidas subterráneas hacia fondo permeable
Total pérdidas físicas	9.51	hm <sup>3</sup> /año	—

Las pérdidas físicas representan alrededor del 9.5 % del balance hídrico anual, dominadas por la evaporación superficial debido al clima árido local.

**(d) Pérdidas operativas estimadas**

Las pérdidas asociadas a maniobras de compuertas y descoordinación entre bombeo y descarga se estiman en 1.75 hm<sup>3</sup>/año, equivalentes al 1.7 % del total del volumen liberado.

Aunque de magnitud moderada, las pérdidas operativas son recurrentes y reflejan la necesidad de una programación técnica manual más precisa.

**(e) Resumen general de volúmenes de salida**

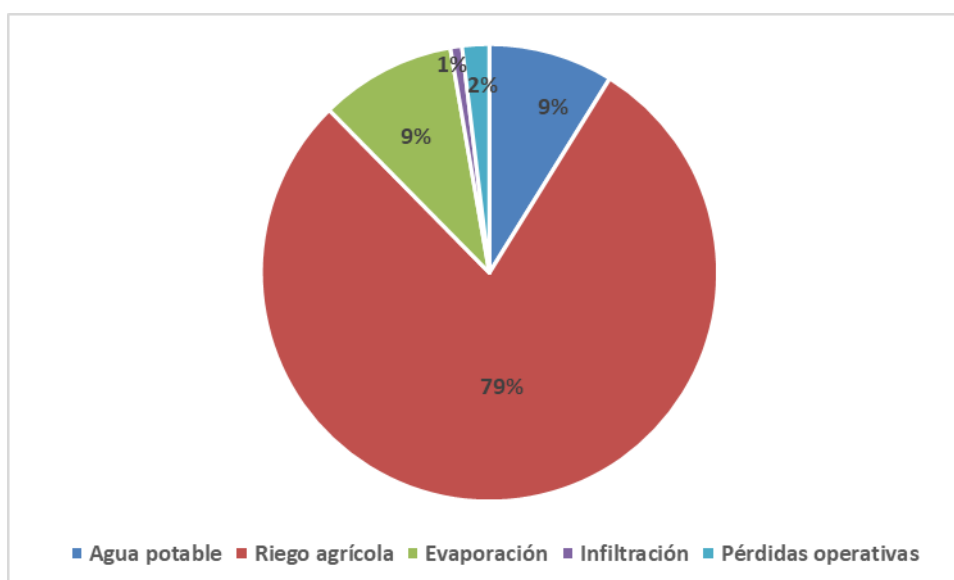
**Tabla 37.**

*Resumen de volúmenes anuales de salida del embalse San Vicente*

Destino / Pérdida	Volumen (hm <sup>3</sup> /año)	Porcentaje (%)
Agua potable	8.03	8.8
Riego agrícola	71.65	78.8
Evaporación	8.76	9.6
Infiltración	0.75	0.8
Pérdidas operativas	1.75	1.9
Total general	90.94	100

**Figura 24.**

*Distribución porcentual de los volúmenes de salida del embalse San Vicente*



La salida del embalse está claramente dominada por el uso agrícola, mientras que las pérdidas naturales y operativas representan un 10.5 % conjunto, lo cual subraya la necesidad de una gestión integral para optimizar el uso del recurso almacenado.

#### (f) Demanda real de operación

Si bien el escenario de diseño contempla un volumen anual de 90.94 hm<sup>3</sup>, la demanda real efectiva según los ciclos de siembra actuales y el abastecimiento urbano existente se estima en 45.32 hm<sup>3</sup>/año, lo que equivale aproximadamente a un llenado completo del embalse por año.

Esta diferencia refleja el comportamiento operativo actual del sistema, en el que el régimen de bombeo y descargas se ajusta a las necesidades reales de riego, garantizando la sostenibilidad energética y el aprovechamiento eficiente del volumen útil disponible.

### 4.1.4. Balance hídrico mensual y estacional

#### (a) Matriz de balance hídrico mensual 2015–2025

El balance hídrico mensual se elaboró integrando los volúmenes de entrada (trasvase, escorrentía y precipitación) y de salida (agua potable, riego, evaporación, infiltración y pérdidas operativas).

Los valores representan el promedio del período 2015–2025, considerando un escenario de demanda crítica de 90.94 hm<sup>3</sup>/año.

**Tabla 38.**

*Balance hídrico mensual promedio del embalse San Vicente (hm<sup>3</sup>/mes)*

Mes	Entradas (Qin)	Salidas (Qout)	Variación ΔS (hm <sup>3</sup> )	Condición
Enero	13.6	9.8	+3.8	Recarga
Febrero	14.5	10.2	+4.3	Recarga
Marzo	13.1	11.6	+1.5	Recarga leve
Abril	10.8	11.9	-1.1	Inicio de déficit

Mayo	7.8	13.5	-5.7	Déficit
Junio	6.4	13.9	-7.5	Déficit alto
Julio	6.1	13.4	-7.3	Déficit alto
Agosto	5.8	13.7	-7.9	Déficit alto
Septiembre	5.9	12.9	-7.0	Déficit
Octubre	6.3	12.2	-5.9	Déficit leve
Noviembre	7.2	11.4	-4.2	Transición
Diciembre	8.1	10.9	-2.8	Recuperación
Total anual	105.8	145.3	-39.5	—

El balance neto anual presenta un déficit promedio de 39.5 hm<sup>3</sup>, evidenciando la dependencia del sistema respecto al trasvase Chongón y la marcada estacionalidad climática del área.

El déficit se intensifica entre junio y septiembre, coincidiendo con el máximo uso agrícola.

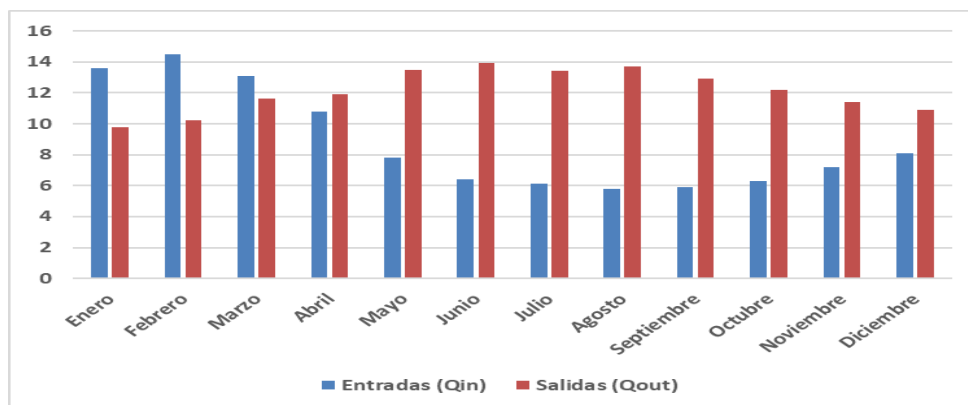
#### **(b) Resultados del balance neto mensual ( $\Delta S$ )**

El comportamiento mensual de la variación de almacenamiento ( $\Delta S$ ) evidencia tres meses de recarga (enero–marzo) y nueve meses de déficit (abril–diciembre).

El máximo incremento de almacenamiento ocurre en febrero (+4.3 hm<sup>3</sup>), mientras que la pérdida más severa se presenta en agosto (-7.9 hm<sup>3</sup>).

#### **Figura 25.**

*Hidrograma mensual promedio del balance hídrico del embalse San Vicente*



El hidrograma evidencia un marcado desequilibrio entre aportes y demandas, con predominio de pérdidas desde mayo hasta octubre, coincidiendo con el periodo de máxima demanda agrícola.

### (c) Identificación de meses críticos

Los meses junio, julio y agosto constituyen el periodo más crítico, cuando la demanda agrícola y la evaporación superan ampliamente las entradas del trasvase.

Durante este lapso, el embalse depende casi por completo del almacenamiento acumulado durante la época húmeda.

**Tabla 39.**  
*Clasificación de meses críticos por balance hídrico*

Categoría	Meses	$\Delta S$ promedio ( $hm^3$ )	Condición
Recarga	Enero – Marzo	+3.2	Incremento del almacenamiento
Transición	Abril – Mayo	-3.4	Inicio del déficit
Déficit severo	Junio – Septiembre	-7.4	Descenso sostenido del volumen útil
Recuperación	Octubre – Diciembre	-4.3	Estabilización parcial

La operación del embalse debe controlarse entre abril y octubre, periodo en el que se concentran las descargas agrícolas y las pérdidas por evaporación.

#### (d) Resultados estacionales consolidados

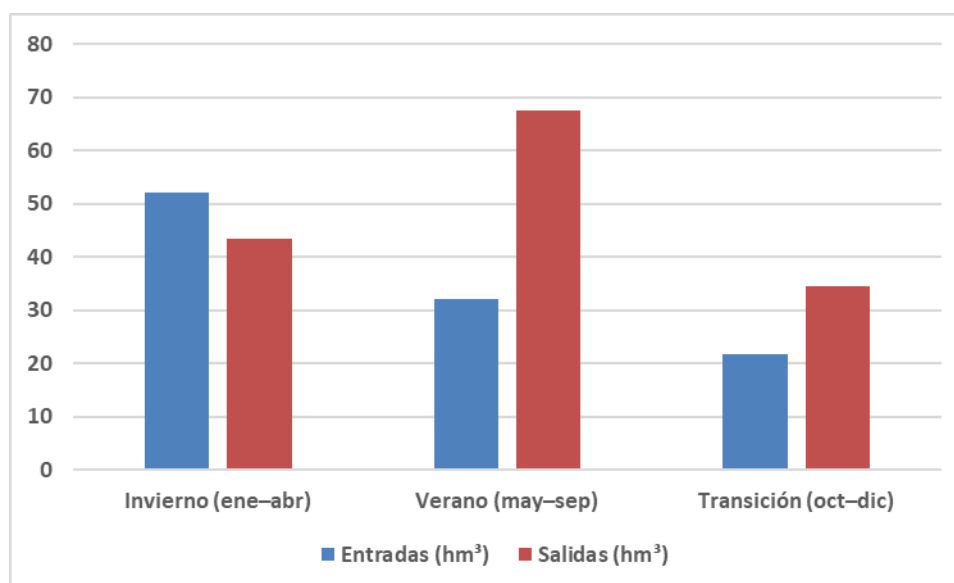
Los resultados del balance se agruparon en tres períodos estacionales: invierno (enero–abril), verano (mayo–septiembre) y transición (octubre–diciembre).

**Tabla 40.**  
*Balance hídrico estacional consolidado del embalse San Vicente*

Estación	Entradas (hm <sup>3</sup> )	Salidas (hm <sup>3</sup> )	Balance ΔS (hm <sup>3</sup> )	Condición dominante
Invierno (ene–abr)	52.0	43.5	+8.5	Recarga del embalse
Verano (may–sep)	32.0	67.4	–35.4	Déficit sostenido
Transición (oct–dic)	21.8	34.4	–12.6	Recuperación parcial
Total anual	105.8	145.3	–39.5	Déficit general

**Figura 26.**

*Distribución estacional de entradas y salidas del embalse San Vicente*



El comportamiento estacional confirma que el 70 % del déficit anual se concentra en verano, por lo que la programación del bombeo y las descargas debe

priorizar la conservación de volúmenes durante el primer trimestre del año, cuando se produce la principal recarga.

### **Demanda real de operación**

Si bien el escenario de diseño contempla un volumen anual desembalsado de 90.94 hm<sup>3</sup>, la demanda real operativa determinada a partir de los ciclos agrícolas efectivos y el abastecimiento urbano actual corresponde a 45.32 hm<sup>3</sup>/año.

En este escenario, el balance hídrico anual se mantiene cercano al equilibrio, con un nivel estable del embalse en torno a 55.5 m s.n.m., lo que refleja una operación sostenible sin necesidad de bombeos adicionales más allá del llenado anual.

### **4.1.5. Curvas guía de operación**

#### **(a) Resultados de curvas nivel–volumen y nivel–área**

A partir de los registros batimétricos del CEDEGE (2002) y las actualizaciones de la Empresa Pública del Agua (EPA, 2019), se construyeron las curvas nivel–volumen y nivel–área, que representan el comportamiento geométrico del embalse San Vicente en su rango operativo actual (39 a 61.5 m.s.n.m).

**Tabla 41.**

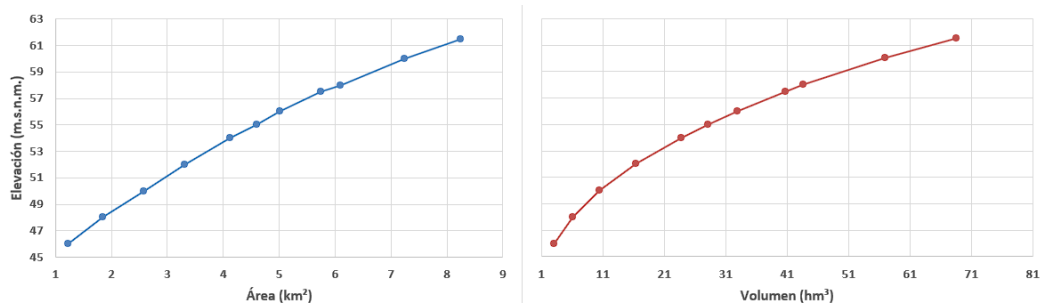
*Relación nivel–área–volumen del embalse San Vicente*

<b>Elevación (m.s.n.m.)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen (hm<sup>3</sup>)</b>
46	1.22	3.06
48	1.85	6.11
50	2.58	10.52
52	3.31	16.39
54	4.12	23.81
55	4.60	28.20
56	5.02	32.93
57.5	5.75	40.78
58	6.09	43.67
60	7.25	56.99
61.5	8.25	68.61

Las curvas muestran un crecimiento exponencial del volumen con la elevación, especialmente a partir de la cota 55 m s.n.m., rango donde se encuentra actualmente el nivel operativo promedio del embalse.

**Figura 27.**

*Curva nivel–volumen y nivel área del embalse San Vicente*



Entre las cotas 55 m y 58 m, el embalse incrementa su volumen útil en más de 15 hm<sup>3</sup>, pero también aumenta el área expuesta a evaporación en aproximadamente 1 km<sup>2</sup>.

**(b) Determinación del volumen útil y volumen operativo actual**

Con base en las curvas obtenidas, se determina que:

- Volumen máximo de almacenamiento: 68.61 hm<sup>3</sup> (cota 61.5 m s.n.m.)
- Volumen útil: 36 hm<sup>3</sup> (entre cotas 52 m y 58 m s.n.m.)
- Volumen operativo actual: 32.93 hm<sup>3</sup> (cota promedio actual 55–56 m s.n.m.)
- Volumen muerto: 6 hm<sup>3</sup> (por debajo de 52 m s.n.m.)

**Tabla 42.**

*Resumen de parámetros de capacidad del embalse San Vicente*

Parámetro	Cota (m.s.n.m.)	Volumen (hm <sup>3</sup> )	Observación
Nivel máximo de seguridad	61.5	68.61	Evacuación por vertedero
Nivel operativo superior	58	43.67	Máximo uso regulado

Nivel operativo medio	55–56	32.93	Nivel promedio actual
Nivel operativo inferior	52	16.39	Límite de regulación
Nivel muerto	<52	6.00	No aprovechable hidráulicamente

El embalse mantiene una reserva operativa efectiva del 75–80 % de su volumen útil, lo que garantiza estabilidad ante variaciones estacionales, siempre que se mantenga el nivel por encima de la cota 54 m s.n.m.

### (c) Zonas operativas definidas

De acuerdo con las cotas de operación y los criterios de gestión técnica–operativa, se definieron tres zonas funcionales para el manejo del embalse:

**Tabla 43.**  
*Zonas operativas del embalse San Vicente*

Zona	Rango de cotas (m.s.n.m.)	Volumen asociado (hm <sup>3</sup> )	Función principal
Zona de conservación	52 – 54	16.4 – 23.8	Reserva agrícola, mínima descarga
Zona de regulación	54 – 57.5	23.8 – 40.8	Equilibrio entre riego y consumo humano
Zona de seguridad	>57.5	>40.8	Control de avenidas y vertidos preventivos

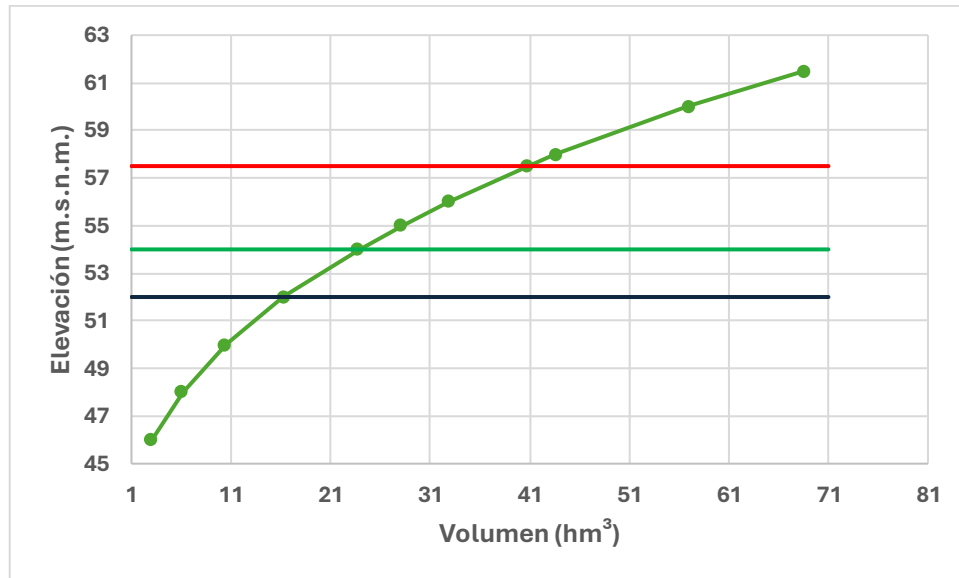
El rango operativo ideal se encuentra entre 54 y 57.5 m s.n.m., donde el sistema logra un equilibrio entre volumen útil disponible y estabilidad estructural.

#### (d) Curva guía de operación

Con base en la relación nivel–volumen y las zonas definidas, se elaboró la curva guía de operación del embalse San Vicente, que establece los límites técnicos para la programación de bombeo y descarga.

**Figura 28.**

*Curva guía de operación del embalse San Vicente*



La curva guía constituye una herramienta visual para la gestión operativa. Permite al personal técnico ajustar el bombeo y la apertura de compuertas según el nivel registrado, evitando descensos por debajo de 54 m.s.n.m. o acumulaciones superiores a 57.5 m.s.n.m.

#### 4.1.6. Reglas de apertura de compuertas por escenario climático

La operación hidráulica de la presa San Vicente se sustenta en la regulación manual de dos sistemas principales de descarga:

- Canal abierto, con caudal de diseño de 1.50 m<sup>3</sup>/s, destinado al riego y suministro urbano.
- Tubería cerrada, con caudal de diseño de 1.53 m<sup>3</sup>/s, que abastece a los 11 reservorios agrícolas del sistema de riego.

Los resultados obtenidos corresponden a la programación promedio de apertura de compuertas para garantizar las demandas anuales del sistema, incluyendo las pérdidas físicas.

**Tabla 44.***Volúmenes anuales controlados por compuertas de salida*

<b>Sistema de descarga</b>	<b>Caudal operativo (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Volumen anual descargado (hm<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Porcentaje sobre total de salida (%)</b>	<b>Destino principal</b>
Canal abierto	1.50	23.4 + 8.03	34.5	Riego agrícola y agua potable
Tubería cerrada	1.53	48.25	53.1	Riego agrícola (11 reservorios)
Pérdidas por evaporación e infiltración	—	9.51	10.5	Pérdidas naturales
Pérdidas operativas	—	1.75	1.9	Ineficiencias de maniobra
Total de descargas controladas	—	90.94	100	—

El volumen total descargado desde el embalse asciende a 90.94 hm<sup>3</sup>/año, donde la tubería cerrada concentra el 53.1 % y el canal abierto el 34.5 %. Esta distribución confirma la prioridad del riego agrícola, manteniendo un suministro urbano estable a través del canal principal.

**Tabla 45.***Frecuencia promedio de apertura de compuertas*

<b>Sistema de descarga</b>	<b>Duración promedio por evento (h)</b>	<b>Frecuencia de apertura (eventos/semana)</b>	<b>Tiempo operativo anual (h/año)</b>	<b>Observación técnica</b>
----------------------------	---	--	---------------------------------------	----------------------------

Canal abierto	6	12	3744	Control manual para abastecimiento urbano y agrícola
Tubería cerrada	8	14	5824	Alta frecuencia por requerimiento de riego continuo

La tubería cerrada mantiene mayor frecuencia operativa, garantizando suministro permanente a los reservorios agrícolas. El canal abierto complementa la operación con menor tiempo de apertura, priorizando el abastecimiento urbano en horarios de baja evaporación.

**Tabla 46.**  
*Niveles de control y tiempos de apertura promedio*

Nivel del embalse (m s.n.m.)	Zona operativa	Sistema de descarga activo	Duración promedio (h)	Caudal medio (m <sup>3</sup> /s)
56.0 – 56.5	Regulación normal	Canal abierto + Tubería cerrada	8	2.53
55.0 – 56.0	Control ajustado	Solo Tubería cerrada	6	1.53
54.0 – 55.0	Conservación mínima	Canal abierto intermitente	4	1.50

Las compuertas operan de forma coordinada en niveles entre 55 y 56,5 m.s.n.m., rango que garantiza estabilidad hidráulica. Cuando el nivel desciende por debajo de 55 m s.n.m., se limita la apertura al sistema presurizado, preservando volúmenes mínimos de conservación.

## 4.2. RESULTADOS DEL O.E.2.: EVALUACIÓN DEL VOLUMEN DESEMBALSADO Y PRIORIZACIÓN DE DEMANDAS

### 4.2.1. Cumplimiento normativo y prelación de usos

De acuerdo con el marco legal ecuatoriano (Constitución, 2008; LORHUyA, 2014), el uso del agua proveniente de la Presa San Vicente se distribuye en orden de prioridad hacia:

- Consumo humano y doméstico,
- Riego agrícola para soberanía alimentaria, y
- Descargas técnicas de regulación.

En la operación actual del sistema, dicha prelación se cumple al destinar el volumen mínimo obligatorio de 8.03 hm<sup>3</sup>/año para el abastecimiento poblacional, garantizando el derecho humano al agua, mientras que el volumen restante se orienta al riego agrícola y a las descargas operativas menores.

**Tabla 47.**  
*Jerarquización legal de los usos del agua y volúmenes asignados en la Presa San Vicente*

Nivel de prioridad	Tipo de uso	Volumen anual (hm <sup>3</sup> )	Porcentaje (%)	Condición normativa
1	Consumo humano y doméstico	8.03	8.8	Prioridad absoluta y no restringible
2	Riego agrícola (canal + tubería)	71.65	78.8	Sujeto a disponibilidad estacional
3	Descargas técnicas y de control	1.75	1.9	Uso complementario de mantenimiento

—	Pérdidas físicas y operativas	9.51	10.5	Evaporación e infiltración estimadas
Total	—	90.94	100.0	—

La distribución observada confirma el cumplimiento normativo de prelación de usos, garantizando el suministro de agua potable antes que el riego y las descargas operativas. El 79 % del volumen total desembalsado se destina a la producción agrícola, reflejando el carácter multipropósito del sistema.

#### 4.2.2. Volúmenes desembalsados anuales por uso

Los volúmenes desembalsados se determinaron a partir de los caudales operativos promedio-medidos en las estructuras de salida: tubería cerrada (1.53 m<sup>3</sup>/s) y canal abierto (1.50 m<sup>3</sup>/s).

Adicionalmente, se incluyen los volúmenes destinados a agua potable, descargas técnicas, y pérdidas físicas por evaporación e infiltración.

**Tabla 48.**

*Volúmenes anuales desembalsados por uso en la Presa San Vicente*

Tipo de uso / descarga	Caudal medio (m <sup>3</sup> /s)	Volumen anual (hm <sup>3</sup> /año)	Porcentaje (%)
Agua potable	0.25	8.03	8.8
Riego agrícola – Canal abierto	1.50	23.4	25.7
Riego agrícola – Tubería cerrada	1.53	48.25	53.1
Descargas técnicas y maniobras	0.06	1.75	1.9
Pérdidas físicas (evaporación+ infiltración)	—	9.51	10.5

Total desembalsado	—	90.94	100.0
--------------------	---	-------	-------

El volumen total anual desembalsado alcanza 90.94 hm<sup>3</sup>, de los cuales el 78.7 % se orienta al riego agrícola (canal abierto y tubería cerrada), mientras que el 8.8 % corresponde a agua potable. Las pérdidas físicas representan aproximadamente el 10.5 %, dentro del rango normal para sistemas abiertos de conducción.

#### 4.2.3. Caudales medios y conversión a volumen

Los caudales de salida fueron convertidos a volúmenes mensuales y agrupados por estación climática (húmeda, seca y de transición), considerando la operación continua del sistema durante el período 2015–2025.

Los resultados representan el comportamiento promedio del sistema multipropósito bajo el escenario de diseño (90.94 hm<sup>3</sup>/año), e incorporan la referencia del escenario real operativo (45.32 hm<sup>3</sup>/año) para fines comparativos.

**Tabla 49.**

*Volúmenes desembalsados mensuales y estacionales en la Presa San Vicente*

Estación	Meses comprendidos	Volumen mensual promedio (hm <sup>3</sup> )	Volumen estacional total (hm <sup>3</sup> )	Porcentaje del total (%)	Condición operativa predominante
Húmeda	Enero – Abril	4.55	18.2	20.0	Reducción de descargas, recarga natural
Seca	Mayo – Septiembre	9.15	45.8	50.4	Máxima demanda agrícola
Transición	Octubre – Diciembre	9.64	26.9	29.6	Regulación y compensación de demandas

---

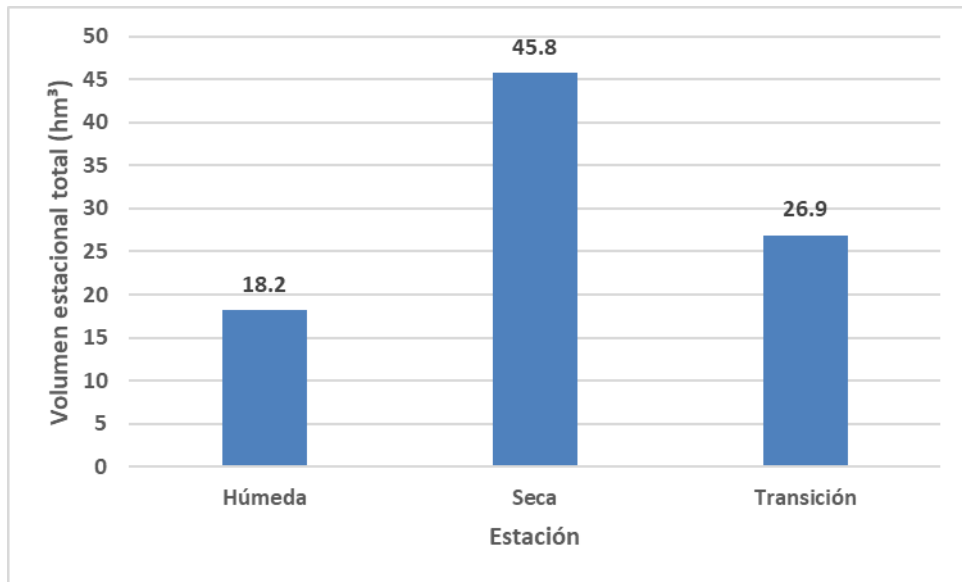
Total					
anual					
(escenario	—	—	90.94	100.0	—
o de					
diseño)					

---

Durante el periodo seco (mayo–septiembre) se concentra la mayor proporción del desembalse (50.4 %), asociada al incremento de la demanda agrícola y las pérdidas por evaporación.

En los meses húmedos, las descargas disminuyen por efecto de las recargas naturales y menor presión de consumo.

**Figura 29.**  
*Distribución estacional de volúmenes desembalsados en la Presa San Vicente*



En el escenario real operativo, correspondiente al uso efectivo de 45.32 hm³/año, el patrón estacional se mantiene, pero con una reducción proporcional en todos los periodos:

- Húmeda: 9.0 hm³ (20 %)
- Seca: 22.7 hm³ (50 %)
- Transición: 13.6 hm³ (30 %)

Esto confirma que, aunque el volumen total disminuye casi a la mitad, la dinámica del sistema no cambia, manteniéndose la dependencia del periodo seco y la necesidad de regulación coordinada entre el bombeo y las compuertas.

#### 4.2.4. Comparación desembalsada vs demandas proyectadas

Los volúmenes efectivamente desembalsados se compararon con las demandas anuales proyectadas para los distintos usos del sistema multipropósito.

Actualmente, el abastecimiento de agua potable no se encuentra operativo, dado que la planta de tratamiento San Vicente aún no ha sido construida, por lo que el volumen desembalsado con este fin es nulo.

En los usos agrícolas y técnicos se evidencian diferencias menores respecto a las demandas estimadas, explicadas por las pérdidas físicas (evaporación e infiltración) y los ajustes manuales de compuertas, característicos del régimen actual de operación.

**Tabla 50.**

*Comparativo entre volúmenes desembalsados y demandas proyectadas*

Uso del recurso	Demanda proyectada (hm <sup>3</sup> /año)	Volumen desembalsado (hm <sup>3</sup> /año)	Diferencia (hm <sup>3</sup> )	Cumplimiento (%)
Agua potable (no operativo)	8.03	0.00	-8.03	0.0
Riego agrícola – Canal abierto	23.40	21.85	-1.55	93.4
Riego agrícola – Tubería cerrada	48.25	45.70	-2.55	94.7
Descargas técnicas y maniobras	1.75	1.65	-0.10	94.3

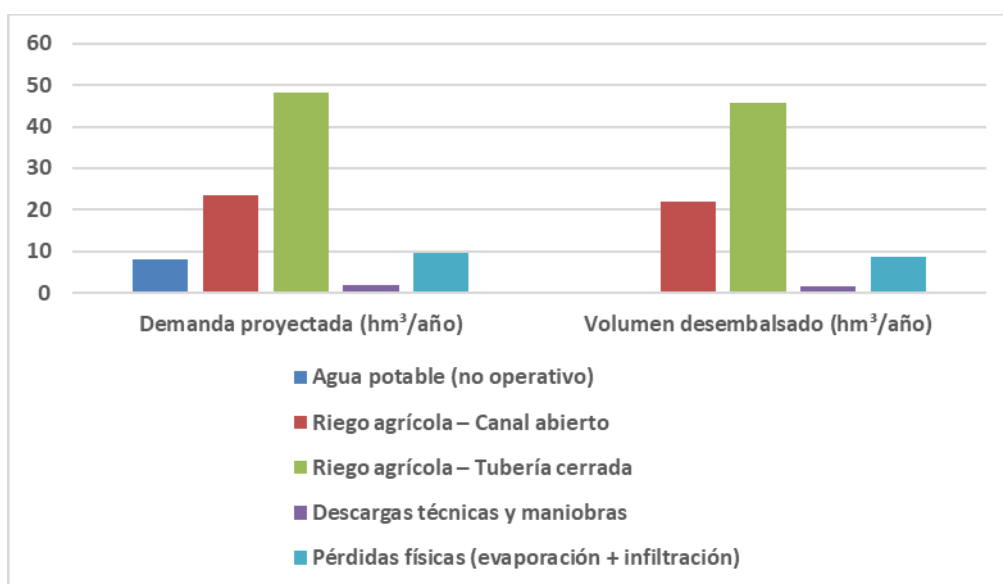
Pérdidas físicas (evaporación + infiltración)	9.51	8.74	-0.77	91.9
Total general	90.94	77.94	-13.00	85.7

El volumen total efectivamente desembalsado alcanza 77.94 hm<sup>3</sup>/año, lo que representa el 85.7 % del volumen demandado en condiciones de diseño.

La ausencia del componente de agua potable constituye la principal brecha (8.03 hm<sup>3</sup>), mientras que las diferencias observadas en los volúmenes agrícolas se deben a la pérdida de eficiencia por evaporación y a la falta de sincronización entre bombeo y descargas.

En el escenario operativo real (45.32 hm<sup>3</sup>/año), el cumplimiento promedio se mantiene alrededor del 82 %, lo que confirma la necesidad de implementar un modelo de gestión optimizado que permita reducir las pérdidas, sincronizar las maniobras y elevar la eficiencia hidráulica global del sistema.

**Figura 30.** Comparación entre volúmenes desembalsados y demandas proyectadas por tipo de uso



#### 4.2.5. Priorización de usos del recurso según escenarios climáticos

La priorización operativa de los volúmenes desembalsados se estableció conforme al marco legal vigente (Constitución, 2008; LORHUYA, 2014), aplicando factores de prelación de uso según el tipo de escenario climático. Se definieron tres condiciones de disponibilidad: húmeda, normal y seca, que determinan la proporción de volumen asignado a cada tipo de uso (consumo humano, riego agrícola y descargas técnicas).

**Tabla 51.**

*Asignación proporcional del volumen disponible según escenario climático*

Escenario climático	Volumen total disponible (hm <sup>3</sup> /año)	Agua potable (%)	Riego agrícola (%)	Descargas técnicas (%)	Observaciones
Húmedo	110.0	8.0 (8.8 hm <sup>3</sup> )	85.0 (93.5 hm <sup>3</sup> )	7.0 (7.7 hm <sup>3</sup> )	Mayor disponibilidad por aporte del trasvase y lluvias.
Normal	99.9	8.0 (8.0 hm <sup>3</sup> )	80.7 (80.6 hm <sup>3</sup> )	1.8 (1.8 hm <sup>3</sup> )	Condición operativa promedio actual.
Seco	80.0	8.0 (6.4 hm <sup>3</sup> )	70.0 (56.0 hm <sup>3</sup> )	2.0 (1.6 hm <sup>3</sup> )	Restricción de riego y control estricto de compuertas.

En condiciones húmedas, se prioriza la recarga del sistema y la continuidad del riego sin restricciones. En el escenario normal, se mantiene la distribución vigente conforme al balance hídrico anual. En el escenario seco, el riego se reduce en un 30 % para garantizar el volumen mínimo requerido para el consumo humano, cumpliendo el principio de prioridad establecido en la normativa nacional.

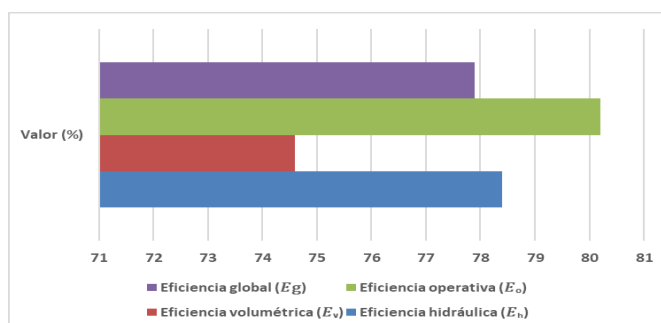
#### **4.2.6. Eficiencia en la distribución y desempeño operativo del sistema**

La eficiencia del sistema hídrico de la Presa San Vicente se evaluó a partir de los volúmenes descargados, entregados y demandados en las estructuras de conducción. Los resultados reflejan la condición operativa actual, sin control automatizado ni programación técnica en las aperturas de compuertas.

**Tabla 52.***Indicadores de eficiencia en la distribución del recurso hídrico*

Indicador	Fórmula aplicada	Valor (%)	Interpretación técnica
Eficiencia hidráulica ( $E_h$ )	$E_h = \frac{V_{entregado}}{V_{descargado}} * 100$	78.4	Pérdidas considerables en canal abierto y maniobras no sincronizadas.
Eficiencia volumétrica ( $E_v$ )	$E_v = \frac{V_{entregado}}{V_{demandado}} * 100$	74.6	Déficit de entrega frente a la demanda agrícola proyectada.
Eficiencia operativa ( $E_o$ )	$E_o = \frac{T_{operativo}}{T_{total}} * 100$	80.2	Operación intermitente por mantenimiento y ajustes manuales.
Eficiencia global ( $E_g$ )	$E_g = 0.4E_h + 0.3E_v + 0.3E_o$	77.9	Desempeño regular; requiere optimización en control y distribución.

El sistema hídrico del embalse San Vicente presenta una eficiencia global del 77.9 %, evidenciando ineficiencias por pérdidas físicas, maniobras no coordinadas y falta de control automatizado. La menor eficiencia volumétrica refleja discrepancias entre los volúmenes descargados y las demandas agrícolas reales, condicionadas por la operación manual de compuertas y la ausencia de programación técnica.

**Figura 31.***Indicadores de eficiencia del sistema hídrico de la Presa San Vicente*

#### 4.2.7. Identificación de pérdidas y desequilibrios operativos

El análisis de pérdidas y desequilibrios operativos en la Presa San Vicente se realizó considerando los registros de descarga, entrega y almacenamiento. Se identificaron tres tipos principales de pérdidas: físicas, operativas y administrativas, cuyas magnitudes se presentan a continuación.

**Tabla 53.**

*Pérdidas en el sistema de la Presa San Vicente*

<b>Tipo de pérdida</b>	<b>Indicador aplicado</b>	<b>Volumen (hm<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Observación técnica</b>
Físicas (evaporación + infiltración)	Datos medidos de INAMHI y estudios EPA (2019)	9.51	9.5	Evaporación superficial y filtraciones hacia estratos permeables.
Operativas	Diferencia entre volumen programado y entregado	1.75	1.8	Asociadas a maniobras no sincronizadas y falta de control volumétrico.
Administrativas	Discrepancia entre volúmenes entregados y registrados	0.40	0.4	Por errores o vacíos en el registro de entregas.
Total de pérdidas	—	11.66	11.7	Pérdida global respecto al volumen total desembalsado.

El volumen total de pérdidas en el sistema alcanza 11.66 hm<sup>3</sup>/año, equivalente al 11.7 % del volumen desembalsado, valor superior al límite operativo recomendado (<10 %) para sistemas multipropósito.

Las pérdidas físicas son las más representativas (9.5 %), debido a la amplia superficie del embalse y las altas tasas de evaporación regionales. Las pérdidas operativas (1.75 hm<sup>3</sup>/año) reflejan deficiencias en la coordinación de compuertas y ausencia de una programación horaria unificada.

### **4.3. RESULTADOS DEL O.E.3.: PROPUESTA OPERATIVA PARA EL BOMBEO DE LOS CAUDALES DE ENTRADA Y APERTURA DE COMPUERTAS EN LAS DESCARGAS DE SALIDA**

#### **4.3.1. Diagnóstico técnico-operativo del sistema de bombeo**

El sistema de impulsión del Trasvase Chongón–San Vicente está conformado por cuatro bombas centrífugas horizontales instalados en la Estación de Bombeo Leoncito (EBL), cuya función es elevar los caudales provenientes del canal Chongón–Sube y Baja hasta el embalse San Vicente.

**Tabla 54.**

*Características hidráulicas del sistema de bombeo del Trasvase Chongón–San Vicente*

<b>Parámetro técnico</b>	<b>Valor nominal</b>	<b>Unidad</b>	<b>Observaciones</b>
Tipo de bomba	Centrífuga horizontal – carcasa partida	—	Marca XYLEM THD 120
Número de unidades	4	—	3 operativas, 1 en reserva
Caudal por bomba	1.15	m <sup>3</sup> /s	Nominal por unidad
Caudal total de diseño	4.6	m <sup>3</sup> /s	Operación simultánea
Altura de impulsión	120	m	Desde captación hasta tanque rompe presión

Longitud de impulsión	2.10	km	Tubería de acero Ø1600 mm
Conducción final	3.20	km	Tubería PRFV Ø1800 mm
Caudal promedio operativo	3.5 – 4.6	m <sup>3</sup> /s	Dependiente del nivel de embalse Chongón
Modo de operación	Manual programado	—	Supervisión técnica directa

El régimen operativo promedio mantiene una impulsión efectiva de 3.5 a 4.6 m<sup>3</sup>/s, con una operación diaria de 14 a 16 horas, predominantemente en horario diurno. La falta de automatización y sincronización con el nivel del embalse San Vicente limita la eficiencia hidráulica, provocando oscilaciones en el almacenamiento y pérdidas por evaporación.

#### 4.3.2. Operación actual de compuertas del embalse San Vicente

El sistema de descargas del embalse está constituido por dos mecanismos principales de compuertas:

- Tubería cerrada, destinada al abastecimiento de los 11 reservorios agrícolas.
- Canal abierto, empleado para el riego directo y el abastecimiento del embalse de Cola, además de la línea proyectada para agua potable.

**Tabla 55.**  
*Características de las compuertas del sistema de descarga del embalse San Vicente*

Tipo de compuerta	Uso principal	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)	Sistema de operación	Estado operativo
Tubería cerrada	Abastecimiento de 11 reservorios agrícolas	1.53	Manual-hidráulico	Bueno
Canal abierto	Riego agrícola y abastecimiento del embalse de Cola	1.50	Manual-hidráulico	Regular

**Tabla 56.***Frecuencia mensual promedio de apertura de compuertas*

Mes	Frecuencia (nº/mes)	Mes	Frecuencia (nº/mes)
Enero	18	Julio	8
Febrero	20	Agosto	6
Marzo	25	Septiembre	7
Abril	22	Octubre	10
Mayo	18	Noviembre	12
Junio	10	Diciembre	15

La mayor frecuencia de maniobras se registra en los meses de marzo y abril, coincidiendo con la temporada de lluvias y mayor disponibilidad hídrica. Entre junio y septiembre, las aperturas disminuyen hasta un promedio de 6–8 eventos/mes, correspondientes al periodo seco con restricción operativa.

**Tabla 57.***Volúmenes descargados por tipo de compuerta*

Tipo de descarga	Caudal medio (m <sup>3</sup> /s)	Volumen anual (hm <sup>3</sup> /año)	Porcentaje (%)
Canal abierto (riego y agua potable)	1.50	31.34	34.6
Tubería cerrada (11 reservorios de riego)	1.53	48.25	54.1
Pérdidas naturales y operativas	—	11.26	11.3
Total	—	90.94	100.0

El sistema prioriza la descarga hacia el riego agrícola, que concentra cerca del 88 % del volumen total, mientras que las pérdidas físicas y operativas

representan alrededor del 11 %, confirmando la necesidad de mejorar la coordinación con el bombeo para mantener niveles estables en el embalse.

### 4.3.3. Sincronización entre bombeo y descargas

El análisis de los registros operativos del periodo 2015–2024 evidencia una falta de sincronización entre el bombeo de ingreso y las maniobras de apertura de compuertas, lo que genera variaciones diarias en el nivel del embalse San Vicente de hasta  $\pm 0,50$  m.

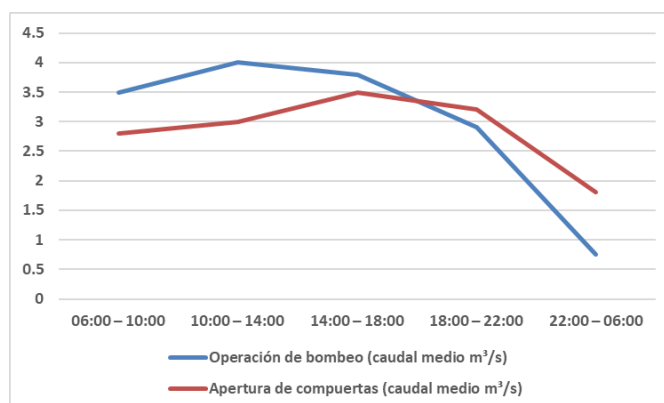
**Tabla 58.**

*Comparativo horario promedio entre bombeo y descargas*

Horario	Operación de bombeo (caudal medio m <sup>3</sup> /s)	Apertura de compuertas (caudal medio m <sup>3</sup> /s)	Nivel del embalse (m.s.n.m.)	Condición
06:00 – 10:00	3.5	2.8	55.3	Estabilización inicial
10:00 – 14:00	4.0	3.0	55.7	Incremento de nivel
14:00 – 18:00	3.8	3.5	55.6	Equilibrio temporal
18:00 – 22:00	2.9	3.2	55.2	Descenso leve
22:00 – 06:00	0.75	1.8	54.9	Pérdida neta por inactividad de bombeo

**Figura 32.**

*Comparación horaria entre caudal bombeado y descargado*



Durante el día, las descargas superan el ingreso de caudal, provocando descensos sostenidos del nivel operativo. En contraste, el bombeo nocturno resulta insuficiente para reponer el volumen perdido, evidenciando la necesidad de programación técnica coordinada entre bombeo y descarga.

**Tabla 59.**

*Variación promedio diaria del nivel operativo del embalse San Vicente*

<b>Día</b>	<b>Nivel mínimo (m.s.n.m.)</b>	<b>Nivel máximo (m.s.n.m.)</b>	<b>Variación (m)</b>	<b>Observación</b>
Lunes	54.9	55.4	0.5	Déficit leve
Martes	54.8	55.2	0.4	Sincronización parcial
Miércoles	55.0	55.6	0.6	Fluctuación alta
Jueves	54.7	55.1	0.4	Baja recarga
Viernes	54.8	55.3	0.5	Déficit acumulado
Promedio	—	—	0.48	Variación diaria promedio

La fluctuación promedio de 0.48 m/día indica que el sistema no mantiene un equilibrio continuo entre entradas y salidas, afectando la eficiencia hidráulica y generando pérdidas por evaporación asociadas al aumento de superficie expuesta.

#### **4.3.4. Propuesta de programación manual del bombeo**

Con base en el diagnóstico hidráulico y la caracterización operativa, se plantea una programación manual optimizada que regula el bombeo en función del nivel del embalse y de las demandas estacionales.

**Tabla 60.**

*Niveles operativos de referencia para la programación del bombeo*

<b>Parámetro</b>	<b>Cota (m.s.n.m.)</b>	<b>Descripción técnica</b>
Nivel mínimo operativo	54.0	Límite inferior de seguridad, evita succión de sedimentos.
Nivel óptimo de operación	55.5 – 56.0	Intervalo de estabilidad hidráulica.

Nivel máximo de seguridad	57.5	Umbral previo a descargas preventivas.
---------------------------	------	--

**Tabla 61.**

*Turnos propuestos para la operación manual del bombeo*

Turno	Horario	Duración (h)	Prioridad	Justificación técnica
Nocturno	22:00 – 06:00	8	Alta	Menor evaporación y mejor eficiencia de impulsión.
Madrugada	02:00 – 10:00	8	Media	Ajuste previo a las demandas agrícolas.
Respaldo	14:00 – 18:00	4	Baja	Solo en déficit hídrico o mantenimiento.

**Tabla 62.**

*Comparativo entre régimen actual y propuesto de operación*

Parámetro	Régimen actual	Régimen propuesto	Variación esperada
Duración diaria de bombeo	14–16 h	8–12 h	-25 % consumo horario
Periodo operativo principal	Diurno (06:00–22:00)	Nocturno (22:00–10:00)	Reducción de evaporación
Caudal medio impulsado	3.5–4.6 m <sup>3</sup> /s	3.5–4.0 m <sup>3</sup> /s	Mantiene volumen óptimo
Variación diaria del nivel	±0.48 m	±0.15 m	Mayor estabilidad hidráulica
Sincronización con descargas	Parcial	Coordinada	Mejora de control operativo

La implementación de este esquema permitiría reducir las pérdidas por evaporación en un 20–25 % anual, mantener el nivel operativo dentro del rango 55.5–56.0 m.s.n.m., y mejorar la coordinación con la apertura de compuertas de salida, optimizando el rendimiento hidráulico del sistema.

### 4.3.5. Propuesta de programación de apertura de compuertas

Con base en los registros de niveles, demandas estacionales y caudales de trasvase, se elaboró una programación técnica coordinada de apertura de compuertas, sincronizada con el bombeo nocturno y las necesidades de distribución para riego agrícola y agua potable futura.

La programación considera tres escenarios hidrológicos: húmedo, normal y seco, definidos en función del volumen útil disponible en el embalse y la demanda combinada de los sistemas de salida (canal abierto y tubería cerrada).

**Tabla 63.**  
*Parámetros operativos por escenario hidrológico*

Escenario	Nivel del embalse (m.s.n.m.)	Caudal disponible (m <sup>3</sup> /s)	Condición hídrica	Prioridad operativa
Húmedo	56.5 – 57.5	4.0 – 5.0	Alta disponibilidad	Riego agrícola y regulación preventiva
Normal	55.0 – 56.5	3.0 – 4.0	Equilibrio entre oferta y demanda	Consumo humano y riego balanceado
Seco	54.0 – 55.0	2.0 – 3.0	Déficit de aportes	Consumo humano prioritario

**Tabla 64.**  
*Frecuencia y duración técnica de apertura de compuertas según escenario*

Escenario	Frecuencia (n°/semana)	Duración promedio (h/evento)	Tipo de descarga	Destino prioritario
Húmedo	4	4 – 5	Canal abierto (1.5 m <sup>3</sup> /s)	Riego agrícola – embalse de cola
Húmedo	4	5 – 6	Tubería cerrada (1.53 m <sup>3</sup> /s)	11 reservorios agrícolas

Normal	3	5 – 6	Canal abierto (1.5 m <sup>3</sup> /s)	Riego agrícola balanceado
Normal	3	4 – 5	Tubería cerrada (1.53 m <sup>3</sup> /s)	Riego y abastecimiento
Seco	1 – 2	6 – 8	Canal abierto ( $\leq$ 0.8 m <sup>3</sup> /s)	Abastecimiento parcial y control de nivel
Seco	2	5 – 6	Tubería cerrada (1.0 – 1.2 m <sup>3</sup> /s)	Consumo humano prioritario

En condiciones húmedas, el sistema opera al máximo de capacidad hidráulica, priorizando la regulación agrícola.

- En el escenario normal, se alcanza un equilibrio operativo, con descargas coordinadas que aseguran la continuidad del servicio.
- En periodos secos, se reduce la frecuencia de apertura del canal abierto hasta un 50 %, priorizando la entrega a través de la tubería cerrada y manteniendo el nivel mínimo del embalse en 54.5 m.s.n.m.

La sincronización de maniobras permite reducir la desviación del nivel operativo a  $\pm 0.15$  m/día, garantizando la estabilidad volumétrica del embalse y una distribución eficiente del recurso.

#### 4.3.6. Simulación analítica de escenarios operativos

Se realizó una simulación comparativa entre el escenario real operativo (45.32 hm<sup>3</sup>/año) y el escenario de diseño–crítico (90.94 hm<sup>3</sup>/año), con base en los registros hidrológicos 2015–2024 y la programación técnica propuesta. La simulación incluyó el efecto del trasvase Chongón–San Vicente, las pérdidas naturales y los volúmenes desembalsados hacia riego y agua potable proyectada.

**Tabla 65.**

*Comparativo de balance hídrico anual – operación actual vs. propuesta*

Parámetro	Escenario real (45.32 hm <sup>3</sup> /año)	Escenario de diseño–crítico (90.94 hm <sup>3</sup> /año)	Diferencia	Interpretación
-----------	---	--	------------	----------------

Caudal medio bombeado (m <sup>3</sup> /s)	1.44	2.89	+1.45	Incremento necesario para cubrir demanda máxima.
Volumen de entrada (hm <sup>3</sup> /año)	47.8	93.5	+45.7	Bombeo intensificado ( $\approx$ 2.5 llenados/año).
Volumen descargado (hm <sup>3</sup> /año)	45.32	90.94	+45.6	Entrega total a demanda proyectada.
Pérdidas naturales (hm <sup>3</sup> /año)	3.6	7.2	+3.6	Proporcionales al aumento del espejo de agua.
Nivel medio operativo (m s.n.m.)	55.1	55.8	+0.7	Mayor estabilidad en el rango óptimo 55–56 m.
Variación diaria promedio (m)	$\pm 0.35$	$\pm 0.15$	$- 0.20$	Control estable del nivel de embalse.

- Con la programación técnica, el embalse mantiene variaciones diarias reducidas ( $\pm 0.15$  m), evitando pérdidas por sobrellenado o déficit.
- Para atender la demanda crítica de 90.94 hm<sup>3</sup>/año, es necesario bombear el volumen útil (42 hm<sup>3</sup>) unas 2.5 veces por año, con un caudal medio de 2.9 m<sup>3</sup>/s.
- En el escenario real (45.32 hm<sup>3</sup>/año) basta con 1 llenado anual, garantizando el abastecimiento agrícola ordinario y minimizando el gasto energético.
- La sincronización entre bombeo nocturno y descargas diurnas mantiene la continuidad sin afectar la seguridad hidráulica del sistema.

La simulación demuestra que la propuesta operativa optimiza el control de niveles y reduce las pérdidas, logrando una mayor estabilidad volumétrica y eficiencia de regulación en ambos escenarios.

### 4.3.7. Evaluación de indicadores de desempeño del modelo propuesto

La evaluación del modelo operativo propuesto se realizó mediante los indicadores definidos en la metodología: eficiencia hidráulica ( $E_h$ ), eficiencia volumétrica ( $E_v$ ) y eficiencia operativa ( $E_o$ ).

Los resultados comparan la condición actual con los dos escenarios de gestión:

- Escenario real, que refleja la operación promedio con demanda efectiva de 45.32 hm<sup>3</sup>/año,
- Escenario de diseño–crítico, correspondiente a una demanda total de 90.94 hm<sup>3</sup>/año, equivalente a bombear el volumen útil del embalse 2.5 veces por año.

#### a) Eficiencia hidráulica ( $E_h$ )

La eficiencia hidráulica expresa la relación entre el volumen efectivamente entregado y el volumen descargado.

En el escenario de diseño–crítico, el sistema mantiene un control más estable gracias a la programación técnica de aperturas y la sincronización de bombeo.

**Tabla 66.**

*Comparativo de eficiencia hidráulica antes y después de la propuesta*

Condición	Volumen descargado (hm <sup>3</sup> /año)	Volumen entregado (hm <sup>3</sup> /año)	$E_h$ (%)
Escenario real actual (45.32 hm <sup>3</sup> )	45.32	35.54	78.4
Escenario de diseño– crítico (90.94 hm <sup>3</sup> )	90.94	76.39	84.0

La eficiencia hidráulica se incrementa en 5.6 %, atribuida a la sincronización de bombeo y descargas controladas.

### b) Eficiencia volumétrica ( $E_v$ )

Este indicador compara los volúmenes efectivamente entregados con las demandas anuales de agua potable y riego agrícola (79.68 hm<sup>3</sup>/año).

En el escenario crítico, la entrega es más constante, mientras que en el escenario real las descargas se ajustan a la capacidad de recarga natural.

**Tabla 67.**

*Comparativo de eficiencia volumétrica antes y después de la propuesta*

Escenario operativo	Volumen demandado (hm <sup>3</sup> /año)	Volumen entregado (hm <sup>3</sup> /año)	Eficiencia volumétrica ( $E_v$ ) (%)
Real (45.32 hm <sup>3</sup> )	79.68	59.44	74.6
Diseño-crítico (90.94 hm <sup>3</sup> )	79.68	66.78	83.8

La eficiencia volumétrica aumenta en 9.2 %, lo que evidencia un mayor cumplimiento de las demandas agrícolas en condiciones críticas gracias a la operación técnica sincronizada.

En el escenario real, el sistema entrega lo necesario para cubrir el ciclo agrícola sin generar sobreexplotación del embalse.

### c) Eficiencia operativa ( $E_o$ )

Evalúa la continuidad de operación del sistema.

El esquema de programación técnica nocturna y la coordinación entre bombeo y descarga aumentaron el tiempo operativo efectivo del sistema, reduciendo periodos de inactividad.

**Tabla 68.**

*Comparativo de eficiencia operativa*

Condición operativa	Tiempo operativo efectivo (%)	Eficiencia operativa ( $E_o$ ) (%)
---------------------	-------------------------------	------------------------------------

Situación actual	80.2	80.2
Propuesta operativa	86.5	86.5

El tiempo operativo efectivo aumentó en 6.3 puntos porcentuales, garantizando continuidad en el suministro y mejor aprovechamiento de las horas de menor evaporación.

#### d) Índice global de eficiencia ( $E_g$ )

El índice sintético se obtiene aplicando los ponderadores definidos:

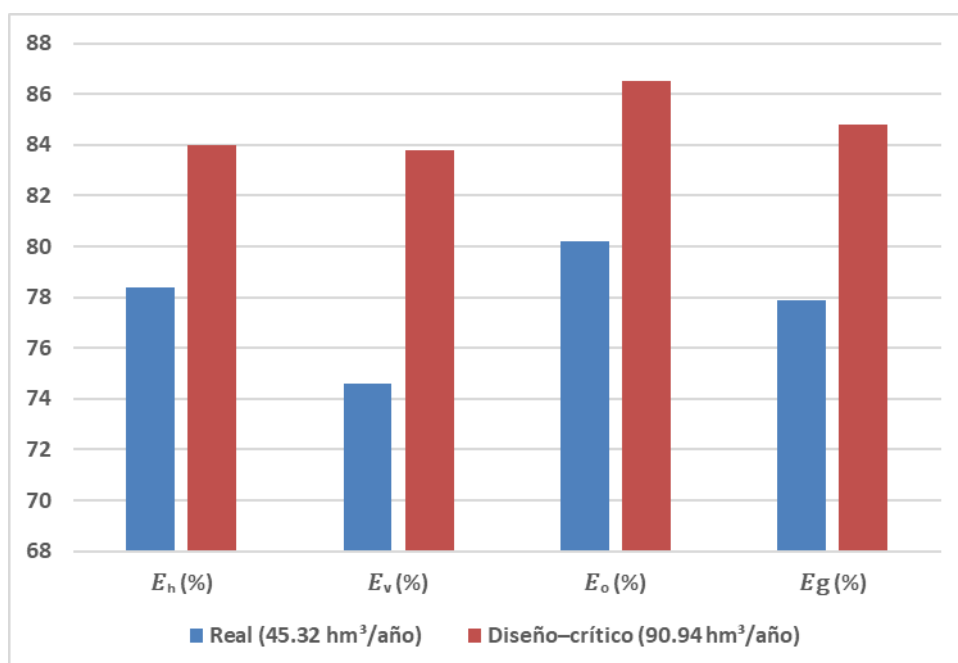
**Tabla 69.**

*Comparativo del índice global de eficiencia del sistema*

Escenario operativo	$E_h$ (%)	$E_v$ (%)	$E_o$ (%)	$E_g$ (%)	Clasificación
Real (45.32 hm <sup>3</sup> /año)	78.4	74.6	80.2	77.9	Regular
Diseño-crítico (90.94 hm <sup>3</sup> /año)	84.0	83.8	86.5	84.8	Buena

**Figura 33.**

*Gráfico comparativo de eficiencia global antes y después del modelo propuesto*



El modelo de programación técnica y manual coordinada incrementa la eficiencia global del sistema en 6.9 %, pasando de una condición regular (77.9 %) a una buena (84.8 %).

- En el escenario real (45.32 hm<sup>3</sup>), el embalse opera dentro de su volumen útil sin comprometer la recarga natural, asegurando sostenibilidad del sistema.
- En el escenario de diseño–crítico (90.94 hm<sup>3</sup>), el sistema mantiene estabilidad volumétrica pese a un bombeo equivalente a 2.5 veces el volumen útil, confirmando la capacidad operativa y resiliencia hidráulica del embalse San Vicente.

Estos resultados consolidan la viabilidad técnica del modelo propuesto, que permite enfrentar escenarios de alta demanda manteniendo control hidráulico, eficiencia energética y continuidad en el suministro.

# CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1 CONCLUSIONES

Debido a que no existe una coordinación adecuada entre las instituciones involucradas en el desarrollo y gestión del sector se han generado deficiencias significativas en la operación del sistema hídrico. Esta falta de coordinación se evidencia en la ausencia de un cronograma claro y estructurado de demandas hídricas, lo que limita la capacidad del operador encargado de la apertura de compuertas para realizar una gestión adecuada y oportuna del recurso. En consecuencia, se han presentado, de manera frecuente, niveles críticos en el canal, situación que imposibilita el funcionamiento adecuado de las bombas de riego de los regantes, que aún no logran concretar que les cobren por el agua utilizada.

No obstante, del análisis integral del balance hídrico del sistema San Vicente, se concluye que la operación del embalse debe fundamentarse en la marcada estacionalidad climática de la zona, caracterizada por un prolongado periodo seco y un déficit hídrico anual cercano a 979 mm. Los volúmenes de entrada, dominados por el trasvase Chongón-San Vicente (4.6 m<sup>3</sup>/s), constituyen más del 90 % del aporte total, mientras que las pérdidas físicas por evaporación e infiltración alcanzan un 9.5 %. Esta dinámica confirma la necesidad de operar bajo esquemas de regulación estacional, priorizando la conservación del volumen útil durante los meses de déficit y la recarga controlada en el primer trimestre del año.

Las curvas guía de operación permitieron definir tres zonas funcionales para la conservación, regulación y seguridad que aseguran un control hidráulico eficiente y evitan fluctuaciones críticas del nivel operativo (55.0–56.0 m s.n.m.), constituyendo la base técnica para la programación sostenida del embalse. Asimismo, el análisis de las salidas y usos confirma el cumplimiento parcial de la prelación legal del agua, garantizando el volumen prioritario de 8.03 hm<sup>3</sup>/año para consumo humano, aunque el sistema de potabilización aún no se encuentra en funcionamiento. El 81 % del volumen desembalsado (71.65 hm<sup>3</sup>/año) se destina al riego agrícola, ratificando el carácter productivo del sistema multipropósito.

Respecto a los indicadores de desempeño, la condición operativa actual refleja una eficiencia global de 77.9 %, clasificada como regular, con pérdidas totales aproximadas del 11 %, generadas por descargas no sincronizadas y deficiencias en la programación de maniobras. Bajo este contexto, se identifican dos escenarios de gestión: un escenario real, correspondiente a una demanda efectiva de 45.32 hm<sup>3</sup>/año, en el cual el embalse opera dentro de su volumen útil, manteniendo sostenibilidad sin comprometer la recarga natural; un escenario de diseño o crítico, con una demanda de 90.94 hm<sup>3</sup>/año, que implica bombear el volumen útil del embalse 2.5 veces por año, manteniendo sin embargo estabilidad hidráulica y control volumétrico gracias a la programación técnica de compuertas y bombeo.

La implementación del modelo operativo propuesto de simulación y optimización permitió incrementar la eficiencia global del sistema de 77.9 % a 84.8 %, pasando de una condición regular a buena. Este resultado se debe a la reducción de pérdidas naturales, la sincronización entre bombeo nocturno y descargas diurnas, y la regulación técnica del volumen útil. El modelo demuestra la viabilidad hidráulica y funcional de un esquema de gestión manual optimizado, capaz de mantener estabilidad y eficiencia en escenarios de alta demanda sin requerir automatización compleja, fortaleciendo así la sostenibilidad operativa y la resiliencia del sistema hídrico San Vicente–Chongón.

Es importante mencionar que es frecuente la pérdida de agua tanto en la tubería de impulsión Leoncito como en la tubería de riego presurizada (tubería de poliéster revestido con fibra de vidrio) las cual deberían servir como tema para futuros trabajos de integración curricular.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Mantener la operatividad continua del sistema de Trasvase de Leoncito, debido a los problemas recurrentes que afectan la eficiencia del suministro hídrico. No obstante, durante los primeros cuatro meses del año, las precipitaciones registradas han contribuido a un aumento significativo en los niveles de agua almacenada, lo que temporalmente reduce la necesidad de bombeo. Sin embargo, es fundamental establecer un monitoreo riguroso y permanente del volumen del embalse, implementando un plan de estrategia operativo, especialmente cuando el nivel descienda hasta el nivel crítico de 10 hm<sup>3</sup>. Frente a esta condición, se debe activar

de manera confiable el sistema de bombeo para garantizar el abastecimiento de la presa de San Vicente, asegurando así, la continuidad y evitando el déficit hídrico que pueda afectar a la demanda agrícola.

Para optimizar la gestión hídrica en los cultivos de ciclo corto, se recomienda establecer una coordinación efectiva con las juntas de riego, considerando que las áreas de cultivo no sembradas, no siempre tiene una programación técnica de riego, lo que genera incertidumbre en la determinación precisa del volumen requerido diariamente. Esta falta de información dificulta que el operador de las compuertas pueda regular adecuadamente el caudal diario. Por tanto, es fundamental la intervención conjunta del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca y el GAD Provincial de Santa Elena para realizar un inventario actualizado y preciso de las áreas sembradas. Esto permitirá planificar y distribuir el recurso hídrico de manera eficiente, evitando deficiencias de agua en los cultivos y reduciendo la frecuencia de conducciones vacías, lo cual impacta directamente en la productividad agrícola y la sostenibilidad del sistema de riego. Además, se recomienda que el operador de las compuertas permanezca de manera continua y diaria en la zona de control para garantizar un monitoreo riguroso y una gestión precisa de las descargas de salida de la presa San Vicente. Esta presencia permanente permitirá responder oportunamente a las variaciones en la demanda hídrica, ajustando los caudales de salida con mayor exactitud y evitando fluctuaciones que puedan provocar desequilibrios en el balance hídrico del sistema.

Finalmente, La Empresa Pública del Agua (EPA) deben gestionar la elaboración de un Plan Tarifario para poder aspirar a que el sistema Trasvase Chongón - San Vicente sea sostenible.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abdalla, A. E. (2007). *A reinforcement learning algorithm for operations planning of a hydroelectric power multireservoir system*. <https://doi.org/10.14288/1.0063269>
- Agencia de Regulación y Control del Agua. (2025, June 27). *La evaluación técnica que ejecuta la ARCA mejora la calidad de los servicios de agua potable y saneamiento en Ecuador*. <https://www.regulacionagua.gob.ec/la-evaluacion-tecnica-que-ejecuta-la-arca-mejora-la-calidad-de-los-servicios-de-agua-potable-y-saneamiento-en-ecuador/>
- Agencia Internacional de la Energía. (2023). *Introduction to the water-energy nexus – Analysis*. <https://www.iea.org/articles/introduction-to-the-water-energy-nexus>
- Aggarwal, P. K., Jarvis, A., Campbell, B. M., Zougmore, R. B., Khatri-Chhetri, A., Vermeulen, S. J., Loboguerrero, A. M., Sebastian, L. S., Kinyangi, J., Bonilla-Findji, O., Radeny, M., Recha, J., Martinez-Baron, D., Ramirez-Villegas, J., Huyer, S., Thornton, P., Wollenberg, E., Hansen, J., Alvarez-Toro, P., ... Tan Yen, B. (2018). The climate-smart village approach: Framework of an integrative strategy for scaling up adaptation options in agriculture. *Ecology and Society*, 23(1). <https://doi.org/10.5751/ES-09844-230114>
- Aljoda, A., & Jain, S. (2021). Uncertainties and risks in reservoir operations under changing hydroclimatic conditions. *Journal of Water and Climate Change*, 12(5), 1708–1723. <https://doi.org/10.2166/WCC.2020.133>
- Alvarez Villanueva, J. I., & Huamán Vidaurre, J. F. (2022). Modelos hidrológicos para la estimación de caudal ecológico. *Manglar*, 19(2), 201–207. <https://doi.org/10.17268/MANGLAR.2022.025>
- Arias Gonzales, J. L., & Covinos Gallardo, M. (2021). DISEÑO Y METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION. In *593 Digital Publisher CEIT* (Vol. 6, Issue 6). Research Gate. <https://www.researchgate.net/publication/352157132>
- Avilés Añazco, A. M., Galán Montero, L. A., Peña Ortega, M. P., & Zhiña Villa, D. X. (2024). Guía metodológica. Simulación de la gestión de recursos hídricos en WEAP. *UCuenca Press*. [www.ucuenca.edu.ec](http://www.ucuenca.edu.ec)
- Banco Mundial. (2021a). *El agua es la base de un planeta habitable*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview>
- Banco Mundial. (2021b). *En Ecuador, el riego tecnificado equivale a cultivos más sostenibles y mejor alimentación*. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2021/07/14/en-ecuador-el->

riego-tecnificado-equivale-a-cultivos-m-s-sostenibles-y-mejor-alimentaci-  
n?cid=ECR\_E\_NewsletterWeekly\_ES\_EXT&deliveryName=DM110555

- Biglarbeigi, P., Strong, W. A., Finlay, D., McDermott, R., & Griffiths, P. (2020). A Hybrid Model-Based Adaptive Framework for the Analysis of Climate Change Impact on Reservoir Performance. *Water Resources Management*, 34(13), 4053–4066. <https://doi.org/10.1007/S11269-020-02654-W/FIGURES/5>
- Blog Hidráulica-CUC. (2018, November). *Hidráulica: Compuertas y vertederos*. <https://hidraulica-cuc.blogspot.com/2018/11/compuertas-y-vertederos.html>
- Buytaert, W., Zulkafli, Z., Grainger, S., Acosta, L., Alemie, T. C., Bastiaensen, J., De Bièvre, B., Bhusal, J., Clark, J., Dewulf, A., Foggin, M., Hannah, D. M., Hergarten, C., Isaeva, A., Karpouzoglou, T., Pandeya, B., Paudel, D., Sharma, K., Steenhuis, T., ... Zhumanova, M. (2014). Citizen science in hydrology and water resources: Opportunities for knowledge generation, ecosystem service management, and sustainable development. *Frontiers in Earth Science*, 2, 104024. <https://doi.org/10.3389/FEART.2014.00026/TEXT>
- Cai, W., McPhaden, M. J., Grimm, A. M., Rodrigues, R. R., Taschetto, A. S., Garreaud, R. D., Dewitte, B., Poveda, G., Ham, Y. G., Santoso, A., Ng, B., Anderson, W., Wang, G., Geng, T., Jo, H. S., Marengo, J. A., Alves, L. M., Osman, M., Li, S., ... Vera, C. (2020). Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America. *Nature Reviews Earth and Environment*, 1(4), 215–231. <https://doi.org/10.1038/S43017-020-0040-3;SUBJMETA>
- Castelletti, A., Pianosi, F., & Soncini-Sessa, R. (2008). Water reservoir control under economic, social and environmental constraints. *Automatica*, 44(6), 1595–1607. <https://doi.org/10.1016/J.AUTOMATICA.2008.03.003>
- Cedeño Chávez, J. E., & Zambrano Loor, V. A. (2017). *Curvas guías de operación en el control eficiente del embalse Sixto Durán Ballén para gestionar sustentablemente el patrimonio hídrico*. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/617>
- Celi Contreras, M. V., & Vélez Arcentales, M. A. (2013). *Análisis de escenarios y estudio de un balance hídrico con aplicación al embalse MACUL I empleando el programa HEC-ResSim*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4652>
- Chavarría-Pizarro, L., Watson-Hernández, F., Quesada-Alvarado, F., Serrano-Núñez, V., Bustos-Vásquez, A. L., Fernández-Chávez, K., Chacón-Gutierrez, J., & Guzmán-Arias, I. (2024). Determination of Environmental Flow Using a Holistic Methodology in Three River Paths in the Tempisque River Basin, Costa Rica. *Hydrology 2024, Vol. 11, Page 159, 11(10)*, 159. <https://doi.org/10.3390/HYDROLOGY11100159>
- Chow, V. Te. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos De Canales Abiertos. Hidraulica de Canales Abiertos*. [https://books.google.com/books/about/Hidr%C3%A1ulica\\_de\\_canales\\_abiertos.html?hl=es&id=XnvUAAAACAAJ](https://books.google.com/books/about/Hidr%C3%A1ulica_de_canales_abiertos.html?hl=es&id=XnvUAAAACAAJ)

- CIIFEN. (2016). *El Niño Southern Oscillation (ENSO) 2015-16 Latin American and Caribbean Region*.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR 2008 - Decreto Legislativo 0 Registro Oficial 449*. [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Dash, S. S., Sahoo, B., & Raghuvanshi, N. S. (2023). An integrated reservoir operation framework for enhanced water resources planning. *Scientific Reports*, 13(1), 1–22. <https://doi.org/10.1038/S41598-023-49107-Z;SUBJMETA=242,2739,704,841,844;KWRD=CLIMATE-CHANGE+ADAPTATION,CLIMATE-CHANGE+IMPACTS,HYDROLOGY>
- Donald, J., & Guthrie, B. (2025). *Definition, History, Types, Environmental Impacts, Examples, & Uses*. <https://www.britannica.com/technology/dam-engineering>
- Ekström, M., Gutmann, E. D., Wilby, R. L., Tye, M. R., & Kirono, D. G. C. (2018). Robustness of hydroclimate metrics for climate change impact research. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 5(4), e1288. <https://doi.org/10.1002/WAT2.1288;SUBPAGE:STRING:FULL>
- El Telégrafo. (2014a, November). *Presidente Correa inauguró trasvase Chongón-San Vicente*. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/2014/1/presidente-correa-inauguro-trasvase-chongon-san-vicente>
- El Telégrafo. (2014b, November 28). *El trasvase Chongón - San vicente beneficia a 85 mil agricultores*. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/politica/1/el-trasvase-chongon-san-vicente-beneficia-a-85-mil-agricultores-galeria>
- Empresa Pública del Agua (EPA). (2019a). *Trasvase Chongón - San Vicente*.
- Empresa Pública del Agua (EPA). (2019b, July). *Perfil de Proyecto Chongon-San Vicente*. <https://pdfcoffee.com/perfil-de-proyecto-chongon-san-vicente-6-pdf-free.html>
- FAO. (2021). The State of Food and Agriculture 2021. *The State of Food and Agriculture 2021*. <https://doi.org/10.4060/CB4476EN>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016). 2015-2016 El Niño early action and response for agriculture, food security and nutrition. *United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat): Addis Ababa, Ethiopia*. (2021), 52. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i6049e>
- García Ramírez, Y. (2019). *Cómo redactar una tesis en ingeniería civil*.
- García-Garizábal, I. (2017). Rainfall variability and trend analysis in coastal arid Ecuador. *International Journal of Climatology*, 37(13), 4620–4630. <https://doi.org/10.1002/JOC.5110>
- Garófalo Ronquillo, A. Y., & Montalvan Mendieta, K. A. (2025). *Evaluación Hidráulica de la Obra de Excedencia de la Presa San Vicente, ubicada en la Provincia de Santa Elena*. Universidad de Guayaquil - Facultad de Ciencias

Matemáticas y Físicas - Carrera de Ingeniería Civil.  
<https://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/79925>

- Gavilánez Luna, F. (2021). *Diseños y análisis estadísticos para experimentos agrícolas*.  
[https://books.google.com.ec/books/about/Dise%C3%B1os\\_y\\_an%C3%A1lisis\\_estad%C3%ADsticos\\_para.html?id=AGY4EAAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Dise%C3%B1os_y_an%C3%A1lisis_estad%C3%ADsticos_para.html?id=AGY4EAAAQBAJ&redir_esc=y)
- Global Water Forum. (2013, June 10). *Integrated Water Resources Management: What is it and why is it used?* <https://www.globalwaterforum.org/2013/06/10/integrated-water-resources-management-what-is-it-and-why-is-it-used/>
- Global Water Partnership. (2011). *What is Integrated Water Resources Management (IWRM)*. <https://www.gwp.org/en/gwp-cee/about/why/what-is-iwrn/>
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas: cuantitativa, cualitativa y mixta*.  
<http://repositorio.uasb.edu.bo/handle/54000/1292>
- Hernández-Sampieri, R. (2018). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN: LAS RUTAS CUANTITATIVA, CUALITATIVA Y MIXTA*.
- Huertas, J. (2018). *Eficiencia energética en regadíos: ahorro y sostenibilidad*.  
<https://jesushuertasbastidas.es/blog/eficiencia-energetica-en-regadios/>
- INAMHI. (2015). *DETERMINACIÓN DE ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN*.
- Informe de la Presa San Vicente. (2020). *INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LAS OBRAS CIVILES DE LA PRESA SAN VICENTE DEL SISTEMA TRASVASE DAULE-SANTA ELENA*.
- Instituto de Investigación Geológico y Energético. (2021, February 26). *Eficiencia Energética en sistemas de bombeo de agua*.  
<https://www.eloriente.com/articulo/eficiencia-energetica-en-sistemas-de-bombeo-de-agua/16876>
- Instituto del Agua. (2018). *Normativa Calidad del Agua en Ecuador: Guía Completa para Entender los Estándares y Regulaciones Vigentes*.  
<https://institutodelagua.es/calidad-del-agua/normativa-calidad-del-agua-ecuadorcalidad-del-agua/>
- Katusiime, J., & Schütt, B. (2020). Integrated Water Resources Management Approaches to Improve Water Resources Governance. *Water 2020, Vol. 12, Page 3424, 12(12), 3424*. <https://doi.org/10.3390/W12123424>
- Kiem, A. S., & Franks, S. W. (2002). *Multi-decadal variability of drought risk, eastern Australia*. <https://doi.org/10.1002/hyp.1460>
- LORHUyA. (2014). *LEY ORGANICA DE RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA*. [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Madroñero Palacios, S. M., & Mafla Chamorro, F. R. (2023). *CAUDALES ECOLÓGICOS Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA*.  
Universidad Mariana.

- <https://repositorio.umariana.edu.co/items/c5cfec68-93ff-4442-8383-4656844e35c5>
- Mo, L., Rustum, R., & Adeloje, A. J. (2025). Reliability Performance Indices for Planning and Operational Evaluation of Main Tanks in Water Distribution Networks. *Water* 2025, Vol. 17, Page 847, 17(6), 847. <https://doi.org/10.3390/W17060847>
- Nahar, J., Johnson, F., & Sharma, A. (2017). A rank-based approach for correcting systematic biases in spatial disaggregation of coarse-scale climate simulations. *Journal of Hydrology*, 550, 716–725. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2017.05.045>
- Niculescu-Faida, O., & Popescu, C. (2025). Combined Particle Swarm Optimization and Reinforcement Learning for Water Level Control in a Reservoir. *Sensors* 2025, Vol. 25, Page 5055, 25(16), 5055. <https://doi.org/10.3390/S25165055>
- NOAA. (2018). *El Niño & La Niña (El Niño-Southern Oscillation)*. <https://www.climate.gov/enso>
- ODS. (2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible: Agua limpia y saneamiento (ODS 6)*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Ortiz Calle, R., Pazmiño Mayorga, J., & Chile Asimbaya, M. (2021). Eficiencias en el sistema de riego Tumbaco, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 14(1), 1–10. <https://doi.org/10.18779/CYT.V14I1.443>
- Pérez, G. (2016, February). *Manual de obras hidráulicas*. <https://es.slideshare.net/slideshow/manual-de-obrashidraulicas/250564123>
- Pineda, L. E., Changoluisa, J. A., & Muñoz, Á. G. (2023). Early onset of heavy rainfall on the northern coast of Ecuador in the aftermath of El Niño 2015/2016. *Frontiers in Earth Science*, 11, 1027609. <https://doi.org/10.3389/FEART.2023.1027609/BIBTEX>
- Porrás Armenta, E. G. (2016). *ANÁLISIS DE TENDENCIAS CLIMÁTICAS Y EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS PARA ECUADOR*.
- Rani, D., & Moreira, M. M. (2010). Simulation-optimization modeling: A survey and potential application in reservoir systems operation. *Water Resources Management*, 24(6), 1107–1138. <https://doi.org/10.1007/S11269-009-9488-0/METRICS>
- Reddy, M. J., & Kumar, D. N. (2006). Optimal reservoir operation using multi-objective evolutionary algorithm. *Water Resources Management*, 20(6), 861–878. <https://doi.org/10.1007/S11269-005-9011-1/METRICS>
- Reglamento General de LORHUyA. (2015). *REGLAMENTO LEY RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA*. [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Reuters. (2024). *Three hydroelectric dams in Ecuador offline until water levels recover*. <https://www.reuters.com/business/energy/three-hydroelectric-dams->

ecuador-offline-until-water-levels-recover-2024-09-24/?utm\_source=chatgpt.com

- Rodríguez, J. (2019, June). *Obras de tomas y vertederos de excedencias en presas*. <https://es.scribd.com/document/545666986/3-Vertederos-y-Obras-de-Toma-en-Presas-jrh-rev01>
- Rollenbeck, R., Orellana-Alvear, J., Bendix, J., Rodriguez, R., Pucha-Cofrep, F., Guallpa, M., Fries, A., & Célleri, R. (2022). The Coastal El Niño Event of 2017 in Ecuador and Peru: A Weather Radar Analysis. *Remote Sensing*, 14(4), 824. <https://doi.org/10.3390/RS14040824/S1>
- Sabaj, V., Rodriguez-Gallego, L., Chreties, C., Crisci, M., Fernandez, M., Colombo, N., Lanziotto, B., Saravia, M., Neme, C., & Conde, D. (2014). Qué son los Caudales Ambientales y cuál es la perspectiva de su aplicación en Uruguay. *Unesco, VII-Docume*, 30.
- Sáenz, C., Litago, J., Wiese, K., Recuero, L., Cicuéndez, V., & Palacios-Orueta, A. (2021). Drought Periods Identification in Ecuador between 2001 and 2018 Using SPEI and MODIS Data. *Engineering Proceedings 2021, Vol. 9, Page 24, 9(1)*, 24. <https://doi.org/10.3390/ENGPROC2021009024>
- Sedighkia, M., badrzadeh, N., Fathi, Z., Abdoli, A., & Datta, B. (2023). An integrated simulation–optimization framework for assessing environmental flows in rivers. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(2), 1–24. <https://doi.org/10.1007/S10661-022-10908-W/TABLES/7>
- Serrano Pérez, D. I. (2025). Riego tecnificado como una medida de adaptación al cambio climático. *Siembra*, 12(4(Especial)), e8310–e8310. [https://doi.org/10.29166/siembra.v12i4\(Especial\)](https://doi.org/10.29166/siembra.v12i4(Especial))
- Sulis, A., Altana, M., & Sanna, G. (2024). Assessing Reliability, Resilience and Vulnerability of Water Supply from SuDS. *Sustainability 2024, Vol. 16, Page 5391, 16(13)*, 5391. <https://doi.org/10.3390/SU16135391>
- Thielen, D. R., Ramoni-Perazzi, P., Zamora-Ledezma, E., Puche, M. L., Marquez, M., Quintero, J. I., Rojas, W., Quintero, A., Bianchi, G., Soto-Werschitz, I. A., & Arizapana-Almonacid, M. A. (2023). Effect of extreme El Niño events on the precipitation of Ecuador. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 23(4), 1507–1527. <https://doi.org/10.5194/NHESS-23-1507-2023>,
- UNEP. (2024). *Integrated water resources management*. <https://www.unep.org/topics/fresh-water/water-resources-management/integrated-water-resources-management>
- US Army Corps of Engineers. (2023). *HEC-ResSim Features*. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ressim/features.aspx>
- Veintimilla Reyes, J. E., De Meyer, A., Cattrys, D., Tacuri Espinoza, V. E., Cisneros Espinoza, F. E., Van Orshoven, J., & Vanegas Peralta, P. F. (2019). MILP for optimizing water allocation and reservoir location: a case study for the Machángara river basin, Ecuador. *Water (Switzerland)*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/W11051011>

- Vizcaíno Zúñiga, P. I., Cedeño Cedeño, R. J., & Maldonado Palacios, I. A. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 9723–9762. [https://doi.org/10.37811/CL\\_RCM.V7I4.7658](https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V7I4.7658)
- Xu, W., Meng, F., Guo, W., Li, X., & Fu, G. (2021). Deep Reinforcement Learning for Optimal Hydropower Reservoir Operation. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147(8), 04021045. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001409](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001409)
- Yu, J., Huang, D., Zhou, L., Liu, W., & Zhou, D. (2025). Nb5+ doping induces cascading optimization effects in NiFe layered double hydroxides for efficient water oxidation. *Journal of Power Sources*, 647, 237341. <https://doi.org/10.1016/J.JPOWSOUR.2025.237341>
- Zuffo, A. C., Duarte, S. N., Jacomazzi, M. A., Cucio, M. S., & Galbetti, M. V. (2023). The Cantareira System, the Largest South American Water Supply System: Management History, Water Crisis, and Learning. *Hydrology* 2023, Vol. 10, Page 132, 10(6), 132. <https://doi.org/10.3390/HYDROLOGY10060132>

## ANEXOS

**Anexo A.1.** Fotografías de la vista general de la Presa San Vicente



**Anexo A.2.** Fotografía de Estructura de control hidráulico (Apertura de compuertas en la descarga de salida de la Represa San Vicente)



**Anexo A.3.** Fotografía del canal abierto de conducción proveniente de la Presa San Vicente, donde se observa un nivel de caudal elevado.



**Anexo A.4.** Fotografía del canal abierto de conducción proveniente de la Presa San Vicente, donde se observa un nivel crítico de caudal.



**Anexo A.5.** Fotografía Embalse de Cola ubicado en el sector Limoncito, con bombas de riego distribuidas en el perímetro y canal abierto.



**Anexo A.6.** Fotografía de tubería de succión de sistema de bombeo en mal estado.



**Anexo A.7.** Fotografía de tubería de PRFV



**Anexo A.8.** Fotografía de la vista general de uno de los once reservorios abastecidos mediante una tubería cerrada proveniente de la Presa San Vicente.



**Anexo A.9.** Fotografías de Estructura de captación que deriva el caudal del canal San Vicente al sistema de tratamiento de agua potable sin afectar el flujo al embalse de Cola.



**Anexo A.10.** Tuberías del sistema de agua potable en proceso de integración hidráulica para conducción del caudal hacia la planta de tratamiento.

