

GUIDELINES FOR RESERVOIR EVALUATION, APPLIED TO THE MULTIPURPOSE DAM "EL AZÚCAR," SANTA ELENA - ECUADOR

Rodriguez Santos Josue, MSc¹, Cevallos Wong Walther, MSc¹, Herbozo León Jorge MSc¹, Rodriguez Baquerizo Jonatan MSc²,

josue.rodriguez@ug.edu.ec¹ <https://orcid.org/0000-0002-1195-7153>, Universidad de Guayaquil

walther.cevalloswon@ug.edu.ec¹ <https://orcid.org/0000-0003-1172-3346>, Universidad de Guayaquil

jorge.herbozols@ug.edu.ec¹ <https://orcid.org/0009-0001-9283-6969>, Universidad de Guayaquil

j.rodriguezbaquerizo@uandresbello.edu² <https://orcid.org/0009-0001-6737-3915>, Universidad Andrés Bello

Abstract– The El Azúcar dam, built in the sixties, meets the demands for drinking water and irrigation in the provinces of Guayas and Santa Elena (among other sectors, Playas de Villamil, San Pablo, Chanduy). Historically, the region has a water deficit (the reservoir was filled twice in more than 60 years - El Niño phenomena).

The Project operator considerably decreases the supply around 265 days a year; even so, the level of operation of the reservoir has minimum levels of operation, which is why the transfer of flows from the Chongón dam is essential. The useful volume of the reservoir, used at approximately 50% of its capacity, could receive higher transfer flows.

Due to cracks in the subsoil, the reservoir receives water that appears to be brackish, with a salinity of less than 110 ppm (international standard < to 500 ppm); waters of similar appearance to those of the San Vicente spa.

This research considered the behavior of the reservoir, through: (i) analysis of storage volume – dam height, area – height of the dam (ii) the analysis of supply – demand of the project (iii) the operation curve of the reservoir and (iv) the analysis of flood lamination through the evaluation of the discharge structures (spillways).

It is recommended to raise the level of the emergency spillway by 55 centimeters, and to implement gates in the service spillway to increase the useful volume of the reservoir (elevation 46.20 meters above sea level – maximum historical flood); thus minimizing the effects of flooding downstream of the reservoir.

Keywords-- El Azúcar Multipurpose Dam, Reservoir Operation Curve, Flood Attenuation Structures, Salinity of El Azúcar Reservoir.

Keywords-- El Azúcar Multipurpose Dam, Reservoir Operation Curve, Flood Attenuation Structures, Salinity of El Azúcar Reservoir.

PAUTAS PARA EVALUACIÓN DE EMBALSES, APLICADO A LA PRESA MULTIPROPÓSITO “EL AZÚCAR”, SANTA ELENA - ECUADOR

Rodriguez Santos Josue, MSc¹, Cevallos Wong Walther, MSc¹, Herbozo León Jorge MSc¹, Rodriguez Baquerizo Jonatan MSc²,

josue.rodriguez@ug.edu.ec¹ <https://orcid.org/0000-0002-1195-7153>, Universidad de Guayaquil

walther.cevalloswon@ug.edu.ec¹ <https://orcid.org/0000-0003-1172-3346>, Universidad de Guayaquil

jorge.herbozols@ug.edu.ec¹ <https://orcid.org/0009-0001-9283-6969>, Universidad de Guayaquil

j.rodriguezbaquerizo@uandresbello.edu² <https://orcid.org/0009-0001-6737-3915>, Universidad Andrés Bello

Resumen– La presa El Azúcar, construida en los años sesenta, atiende demandas de agua potable y riego, a las provincias de Guayas y Santa Elena (entre otros sectores, Playas de Villamil, San Pablo, Chanduy). Históricamente la región presenta déficit hídrico (el embalse en más de 60 años se llenó dos veces - fenómenos del Niño).

La operadora del Proyecto disminuye considerablemente la oferta alrededor de 265 días al año; incluso así, el nivel de operación del embalse presenta cotas mínimas de operación, por lo cual es imprescindible el trasvase de caudales desde la presa Chongón. El volumen útil del embalse, utilizado aproximadamente en el 50 % de su capacidad, podría recibir caudales mayores de trasvase.

Debido a grietas en el subsuelo, el embalse recibe aguas que parecen ser salobres, con una salinidad menor a 110 ppm (norma internacional < a 500 ppm); aguas de apariencia similar a las del balneario San Vicente.

La presente investigación consideró el comportamiento del embalse, mediante: (i) análisis volumen almacenamiento – altura de la presa, área - altura de la represa (ii) el análisis de oferta – demanda del proyecto (iii) la curva de operación del embalse y (iv) el análisis de laminación de crecidas mediante la evaluación de las estructuras de descarga (vertederos).

Se recomienda subir 55 centímetros la cota del vertedor de emergencias, e implantar compuertas en el vertedor de servicios para incrementar el volumen útil del embalse (cota 46,20 msnm – máxima crecida histórica); minimizando así afectaciones por crecidas aguas abajo del embalse.

Palabras claves: Presa multipropósito El Azúcar, curva operación embalse, estructuras laminación crecidas, salinidad del embalse El Azúcar.

I. INTRODUCCION

Históricamente la región presenta déficit hídrico, el embalse en más de 60 años de operación se llenó dos veces (fenómenos del Niño). Proyecto destinado a captar y regular aguas lluvias, mismas que serían utilizadas para riego agrícola.

Proyecto que en su construcción inicial no considero las obras de toma y el vertedor de servicio, mismos que fueron construidos 10 años después. Proyecto hidrotécnico que ha

experimentado modificaciones y reconstrucciones, para subsanar los daños ocasionados por el fenómeno climatológico de El Niño en los periodos 1982 – 1983 y 1997 – 1998.

En el año 1995, la Comisión de Estudios de la Cuenca del Rio Guayas (CEDEGE), y el Centro de Estudios y Experimentación de España (C.E.D.E.X), realizó el estudio para la reparación del vertedor de servicio, afectado por el fenómeno de El Niño del periodo 1982 - 1983, pasando de la cota 44.20 msnm, a su cota actual de 45.00 msnm con un desarrollo de cresta 16 metros; el estudio, además sugirió la construcción de otro vertedor auxiliar, también tipo Creager, para laminar crecidas, con cota de cresta en 45.50 msnm y una longitud de 50 metros, estructuras a ser evaluadas.

En el periodo 1997-1998 se presentó la precipitación máxima histórica de 120 mm/día, el nivel del agua en el embalse llegó a la cota 46.20 msnm, con una descarga combinada de los vertedores, próxima a 110 m³/s. [1], creciente que causó las siguientes afectaciones:

- Socavación aguas abajo de la estructura del vertedor de emergencias.
- Colapso del enrocado de protección de la zapata del puente principal de acceso a la comuna El Azúcar.
- Destrucción de la estructura del paso mojado que atravesaba el río.
- Socavación aguas abajo del vertedor auxiliar.
- Colapso de viviendas en la comuna.

El proyecto fue diseñado para almacenar las precipitaciones, mismas que al ser insuficientes, hace que reciba aguas del proyecto Multipropósito Chongón, para su operación en época de estiaje y en condiciones mínimas de operación.

El embalse El Azúcar, debido a grietas existentes en el subsuelo recibe aguas que parecen ser salobres (similares a las del balneario turístico San Vicente); aguas que, de ser salobres, deberían ser neutralizadas con agua del trasvase de la presa Multipropósito Chongón, y así evitar la salinidad de los suelos agrícolas y su posible desertificación [2].

De visitar los embalses Leoncito, San Vicente y El Azúcar, se constató que los niveles de operación se ubicaban en niveles mínimos de operación; en un día el nivel del agua en el embalse multipropósito El Azúcar puede llegar a descender hasta 50 cm, razón por la cual es imprescindible el trasvase de caudales desde la presa Chongón, recibiendo en época de estiaje un caudal promedio de 4.6 m³/s [1], además si el nivel del embalse se ubica bajo la cota de 40.00 msnm, la operación del canal Río Verde se torna crítico, respecto a la aportación de agua para su potabilización y el abastecimiento a los cantones de Santa Elena, La Libertad, Salinas y las comunidades circundantes.

El embalse El Azúcar, administrado por Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE); debería proveer del recurso hídrico para el de riego de 6.000 Ha, además del abastecimiento de agua potable a los cantones de Santa Elena, La Libertad, Salinas y comunidades aledañas [3] [4].

Delimitación del problema

En la Fig. 1, se presenta la implantación del embalse multipropósito El Azúcar, ubicado a 1.5 Km aguas arriba de la comuna que lleva el mismo nombre, región costera del litoral ecuatoriano, provincia de Santa Elena.



Fig. 1 Ubicación general del embalse multipropósito El Azúcar
Fuente: Mapa hidrológico de la provincia de Santa Elena

La presente investigación considerará la evaluación de la curva de capacidad del embalse (curva integral), la misma que considera las curvas:

- Altura presa - Área de inundación del embalse.
- Altura de presa - Volumen de almacenamiento del embalse.
- Curva de masas (oferta – demanda).
- Curva de operación del embalse

A partir de lo cual se propondrá alternativas de solución para el embalse El Azúcar, entre las cuales se tiene:

- Evaluación de las estructuras de laminación de crecidas, para minimizar afectaciones aguas abajo.
- Evaluación de la capacidad de almacenamiento del embalse.

Consideraciones Generales

Nivel Socioeconómico

Las actividades principales de la zona son, la agricultura como actividad familiar principal, y a menor escala la industria, el comercio, y el turismo.

Tipo de Agricultura de la Zona

Los cultivos agrícolas predominantes en la zona son de ciclo corto, entre ellos: uva, café, ciruela costeña, paja toquilla, melón, plátano, sandía, pimiento, maíz y papaya; la mayor producción se concentra en medianos productores [5] [6].

Características de la Zona

Es el hábitat de alrededor de 80 especies de plantas típicas de la región costera, pertenecientes a zonas áridas, entre ellos helechos arborescentes, maderas finas como: cedro, laurel rosa y caoba, especies de uso industrial como: caña brava, achiote, balsa, el árbol del pan, guarumo, vainillas y la zarzaparrilla; en cuanto a la fauna es también el hábitat de mamíferos como la carachupa o zarigüeya, iguanas, serpientes, algunos tipos de lagartijas, además se puede encontrar aves costeras emblemáticas del país, entre ellos pelicanos, gaviotines, piqueros, pelicanos, y petreles (aves marinas) [7] [8].

El estudio realizado por el “Centro de Producción y Prácticas Río Verde - Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, caracterizo los suelos considerando parámetros morfológicos, químicos y físicos, pruebas de infiltración y la fertilidad, en suelos como: “Typic Haplocambids, de textura franco-arcillo-arenosa, de buen drenaje, con poca a moderada profundidad efectiva, bajos contenidos de materia orgánica, de fósforo y de potasio, limitantes para algunos cultivos característicos del área” [9].

Características de un embalse

El principal criterio técnico para construir un embalse, es el déficit hídrico, son estructuras hidrotécnicas que almacenan aguas de ríos, precipitaciones y/o trasvases. Un embalse multipropósito, cumple varias finalidades, entre otras, centrales hidroeléctricas, riego, abastecimiento de agua potable, control de inundaciones [10] [11], entre las que destacan:

- El caudal regularizado. - aquel que puede entregar el proyecto para el periodo considerado.
- El caudal firme. - es el máximo que se puede obtener en periodos críticos (sequías).
- Altura de presa - área de inundación del vaso.
- Altura de presa - volumen almacenado.
- La curva de operación del embalse.
- La curva oferta - demanda.
- Obras de captación y descarga.
- Volúmenes: muerto, reserva, útil y crecidas.
- Nivel mínimo aprovechable (NmA). - es aquel hasta el cual el embalse puede entregar caudal.

- Nivel máximo aprovechable (NMA). - nivel a partir del cual empiezan a operar las obras de descarga.
- Nivel máximo de crecida (NCM). - nivel a partir del cual deben operar las alertas de alarma, respecto a la seguridad del embalse.
- Nivel de corona, es la cota máxima de la presa.



Fig. 2 Volúmenes que integran un embalse
Elaboración: Propia

Curva de capacidad o curva integral del embalse

La curva de capacidad del embalse (curva integral), se determinó con la data proporcionada por el Gobierno Autónomo Descentralizado de Santa Elena (alrededor de 12.500 datos). Data que permitirá generar las siguientes curvas:

- Altura de presa versus área del embalse.
- Altura de presa versus volumen de almacenamiento.
- Curva de operación del embalse.
- Curva de masas (Aportes – Demandas).

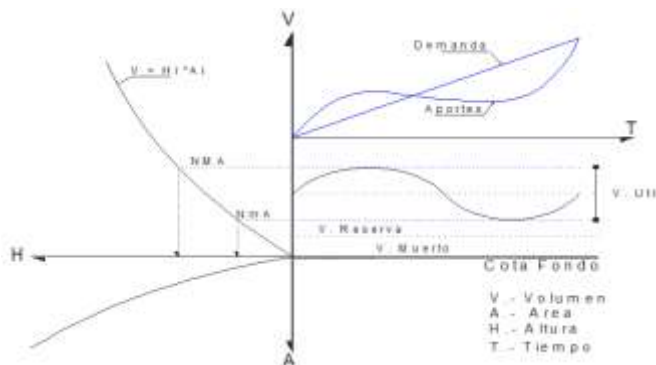


Fig. 3 Curva de capacidad (curva integral) del embalse
Elaboración: Propia.

Nivel de protección del embalse frente crecidas

El objetivo de un embalse frente a precipitaciones es retrasar el pico de la crecida, la cual es retenida para descargar de manera controlada; para alcanzar este objetivo, la capacidad del embalse debe ser igual o mayor al volumen del hidrógrama para el periodo de retorno de diseño considerado.

Respecto a la seguridad de la población frente a las avenidas, es mejor considerar avenidas de periodo corto, y así no generar una falsa confianza, que produciría mayores daños cuando se tengan avenidas de periodo de retorno mayores. Así la población será consciente que cuando llueve en la cuenca hidrográfica, tienen que tomar precauciones [12].

Vertederos de servicio y emergencia

Los vertederos de servicio y emergente de la presa El Azúcar son tipo Creager, la geometría de su cresta genera coeficientes de descarga semejantes a 2,0; mientras que otro tipo de vertederos presentan coeficientes de descarga inferiores a 1. Serán evaluados para un periodo de retorno de 1000 años, se considerará el hidrógrama de crecidas presentado en la investigación denominada “Optimización de la Capacidad del Embalse Azúcar con el Funcionamiento Combinado del Vertedor de Servicio más el Vertedor Auxiliar” [1].

Cuando la longitud de la cresta, es igual a la solera del canal de descarga, el perfil del vertedero Creager, es similar al perfil inferior de la líquida aireada descargada por sobre un vertedero de pared delgada [11] ([13].

Entre las ventajas del vertedero Creager, tenemos:

- Su sección transversal ayuda a su estabilidad.
- Se tiene flujo estable y sin vibraciones.
- No presenta turbulencias en la descarga y reduce la presión sobre el vertedero.
- Trabajan con cargas de hasta el 50% mayores, respecto a la de diseño, sin efectos de cavitación en la estructura.

El caudal de descarga de los vertederos Creager, está dado por el modelo matemático de Francis [14].

$$Q = CLH^{3/2} \quad (1)$$

Dónde:

Q.- Gasto m^3/s .

C.- Coeficiente de descarga, según Fig. 4 o ecuación 2.

L.- Longitud de la cresta, m.

H.- Carga hidrostática, m.

P.- Paramento

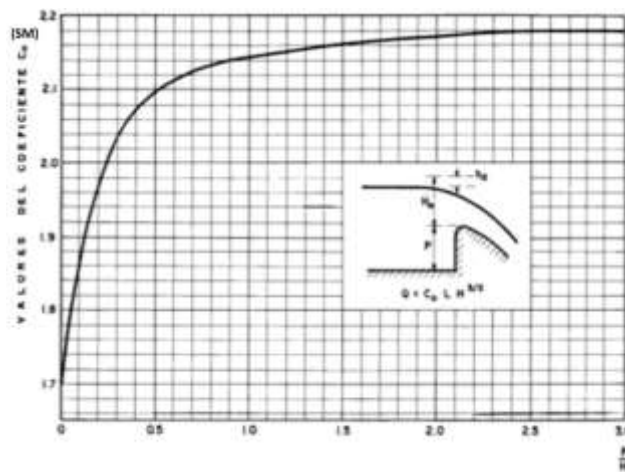


Fig. 4 Coeficientes de descarga vertedero Creager
Fuente: (BUREAU RECLAMATION, 1983)

Nota. – Del análisis a la Fig. 4, se determinó la ecuación del coeficiente de descarga para este vertedor:

$$C = C_0 = 1.7 + 1.995 * X - 3.9723 * X^2 + 4.221 * X^3 - 2.432 * X^4 + 0.71423 * X^5 - 0.0835 * X^6 \quad (2)$$

Donde:

X = P/Ho

Ho = H. - Carga de presión.

Química del agua para riego agrícola

“La calidad del agua de uso agrícola está definida por iones específicos Mg²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Na⁺ como cationes; Cl⁻, CO₃²⁻ y SO₄²⁻ como aniones, y otros en menor cantidad, como el I⁻, B³⁺ y NO₃⁻ [15].

La operadora del embalse, debería también determinar: sustancias orgánicas, plaguicidas, residuos de desinfectantes, desinfección, cianotoxinas, microbiológicos [16].

Calidad y salinidad del agua del embalse

Calidad del agua potable

La calidad del agua es vital: pequeña variación en los contenidos químicos alterará su condición, por cuál debe ser salubre y que no contenga microorganismos que supongan un riesgo para la salud. Definida por características químicas, físicas, biológicas, microbiológicas y radiológicas evaluadas a través del análisis de parámetros diversos y comparados con valores aceptados por la normativa ecuatoriana, referencia que dependen del uso la conservación de los ecosistemas [17] [18].

Entre los parámetros que definen el agua potable tenemos:

- El color: Se establece cuando es incolora.
- El olor: Se considera como potable si es inolora.
- El sabor: es esta definida por su pureza, se considera agua de mala calidad aquella que presenta cierto sabor.

Además de los parámetros indicados, se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

La turbiedad de las aguas debe ser considerada de acuerdo a los siguientes límites:

- a) Condición natural (Valor de fondo) más 5%, si la turbiedad natural varía entre 0 y 50 UTN (unidad de turbidez nefelométrica);
- b) Condición natural (Valor de fondo) más 10%, si la turbiedad natural varía entre 50 y 100 UTN, y,
- c) Condición natural (Valor de fondo) más 20%, si la turbiedad natural es mayor que 100 UTN;
- d) Ausencia de compuestos químicos y microbiológicos producidos por actividades antropogénicas que alteren la calidad del agua, de modo que no perjudiquen a la vida acuática y silvestre y que tampoco impidan el aprovechamiento óptimo del cuerpo receptor [19].

Salinidad y NaCl (sal común)

Salinidad se define como la cantidad de sales minerales disueltas en el agua referidas a una unidad de volumen [20]., llevando un ejemplo al agua para uso agrícola una alta concentración de iones disueltos en el agua de riego y, por tanto, en la solución del suelo, es una condición restrictiva para el crecimiento de cultivos debido al alto potencial osmótico de la solución, que restringe la absorción de agua por la planta produciendo estrés osmótico en cultivos e induciendo el efecto de iones específicos en el suelo, provocando desequilibrios nutricionales [21].

La salinidad del agua se determina a partir de sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica [22]

La sal de la comida es 100% NaCl, mientras que la salinidad del agua es potasio, calcio, magnesio, hierro, bicarbonatos, sodio, cloruros, sulfatos, bromuros, fluoruros, selenio, cobre, zinc. Es decir, la sal doméstica no es igual a la salinidad del agua [23].

Salinidad y sólidos disueltos del agua ¿Qué significa?

Qué son los sólidos disueltos totales del agua

Los sólidos disueltos totales (SDT) (llamados también sales o iones) del agua, son todos los minerales disueltos presentes; el concepto de salinidad del agua equivale a los sólidos disueltos totales, y se expresan en UPS, mg/l, ppm. La Tabla I, muestra los minerales principales del agua que conforman SDT, aceptados por la OMS y estos respecto a lo recomendado en la ingesta diaria por persona [23].

Tabla I: Principales minerales del agua que conforman los SDT
Fuente: [23].

PRINCIPALES SÓLIDOS DISUELTOS O MINERALES (SDT) DEL AGUA POTABLE			
SDT	RANGO TÍPICO mg/l	SEGUN OMS mg/l	VALOR RECOMENDADO PERSONA/DÍA
Calcio	1 - 150	No presenta	1200 – 1500 mg/día
Magnesio	10 - 40	No presenta	310 - 420 mg/día
Sodio	5 - 370	200 por sabor	Promedio mundial 4000 mg/día
Potasio	1 - 40	No presenta	3700 - 4700 mg/día
Hierro	0 - 10	No presenta	10 - 50 mg/día. 0.30 mg/l (presenta tono rojo).
Bicarbonato	0 - 1000	No presenta	300 mg por kg de masa de la persona por día.
Sulfatos	0 - 3000	No presenta	500 mg/l por sabor. 500mg/día
Cloruros	0 - 100	No presenta	250 mg/l por sabor.
Nitratos	4 - 5	10	37 mg/kg de masa de la persona por día.
Dureza	0 - 800	No presenta	1200-1500 mg/día en forma de carbonato de calcio

Sólidos Disueltos Totales (SDT) y su Efecto en la Salud

La OMS no establece un límite para SDT en el agua y establece la siguiente categorización:

Con SDT menores a 1000 mg/l, aceptada por la población, y agua con SDT mayores a 1000 mg/l puede ser rechazada por el sabor y formación de sarro en las tuberías y electrométricos.

La conductividad eléctrica (CE) del agua medida por simplicidad en µS/cm a una temperatura de 25°C. La conductividad está relacionada con la concentración de las sales en disolución.

La dureza del agua mide la cantidad de metales alcalinotérreos, fundamentalmente calcio (Ca) y magnesio (Mg). Su expresión más conocida es en mg/l como carbonato de calcio (CaCO₃). Existen diferentes tipos de dureza:

- Dureza total: producidas por la concentración de sales de calcio y magnesio disueltas en el agua.
- Dureza carbonatada o temporal: producida por hidrogeno, carbonatos y carbonatos de calcio y magnesio.
- Dureza no carbonatada o permanente: producida por las sales de cloruro, sulfato y nitrito de calcio y magnesio.

Asimismo, las aguas pueden clasificarse de acuerdo a su contenido de dureza en]:

- Aguas blandas: < 60 mg/L
- Aguas ligeramente duras: (60-120) mg/L
- Aguas moderadamente duras: (120-180) mg/L
- Aguas duras: > 180 mg/L

Existen otros iones capaces de incrementar la dureza; por ejemplo, el agua cargada con cloruro de sodio. En la mayoría de las aguas subterráneas (pozos y nacientes) existe una relación muy alta entre la conductividad y la dureza [24].

No hay estudios recientes sobre la relación entre SDT y la salud, solo estudios entre dureza y salud. Estos estudios consideran asociaciones inversas entre SDT y las dolencias como el cáncer, enfermedades coronarias, arteriosclerosis y enfermedades cardiovasculares, es decir a mayor dureza, menor incidencia de las enfermedades antes descritas [23].

Algunas Consideraciones

Un agua con la salinidad máxima permitida por la OMS de 1000 mg/l, aporte sodio entre 20 y 200 mg/l. Si se consume alimentos procesados, comida chatarra, pescado o carne deshidratada con sal, su ingesta en el día podría ser hasta 20 veces mayor [23]. Es frecuente que la persona rechace el agua de la llave por su "alta salinidad, pero las bebidas deportivas y sueros tienen en promedio 500 mg/l de sodio (5 - 10 veces más que el agua de la llave) [23].

Para Ecuador los parámetros de calidad del agua potable vienen definidos en la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1 108:2011, cuarta revisión y en la norma TULSMA "Criterio de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico. – Registro oficial – Edición especial N°387- miércoles 4 de noviembre de 2015".

DQO, Demanda química de oxígeno.

La DBO, proceso biológico que mide el grado de contaminación, es la demanda bioquímica de oxígeno que requieren para su degradación los microorganismos (aeróbicas o anaeróbicas), hongos y plancton. Como el proceso de descomposición depende de la temperatura, se realiza a 20°C durante 5 días de manera estándar, denominándose DBO₅.

Unos niveles elevados de DBO en el agua pueden indicar la presencia de contaminantes orgánicos, que pueden provocar el agotamiento del oxígeno y tener repercusiones negativas en los ecosistemas acuáticos [25].

Agua para riego agrícola

Del análisis del uso consuntivo de los cultivos, se determina la cantidad de agua que requieren los mismos, la disponibilidad del recurso hídrico definirá qué cultivos realizar para que sean sustentables y rentables [26].

Las aguas naturales superficiales en el proceso de escorrentía arrastran y disuelven minerales, compuestos orgánicos, gases, microorganismos, entre otros; además estas aguas, pueden presentar contaminantes inorgánicos, como fertilizantes y metales pesados, mismos que generan toxicidad y otras afecciones a los organismos vivos [27].

Referentes Empíricos

Evaluación de Embalses

En Ecuador la falta de información y normativa ha llevado a que se desarrolle esta investigación. Se procesó la data de campo facilitada por el Honorable Gobierno Autónomo de Santa Elena "HGASE" y La Empresa Pública Municipal Mancomunada de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales de los Cantones Santa Elena, Salinas y la Libertad "AGUAPEN EP", además de información proporcionada por el Ing. Jorge Herbozo Alvarado, entre otras fuentes; información a partir de la cual se generó la curva integral de masas, análisis de salinidad del agua.

En el contexto sudamericano, El Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile en el año 2011, promulga el documento "PAUTA DE EVALUACIÓN PROYECTOS DE EMBALSES" [28], documento que recomienda criterios de evaluación que generan los embalses. Recomendaciones de evaluación que comprende los apartados siguientes:

- Descripción del embalse.
- Medidas e impactos ambientales.
- Medidas de mitigación, compensación y recuperación.
- Seguimiento.

Así por ejemplo dentro del apartado Descripción del embalse, considera los siguientes aspectos:

- Superficie topográfica total del embalse, área actual de inundación y área nueva a ser inundada.
- Cota mínima y máxima de inundación (msnm).
- Capacidad de almacenamiento.
- Tiempo estimado de llenado del embalse.
- Época (estación o meses) de llenado del embalse.
- Fluctuación entre el nivel mínimo y el nivel máximo del embalse" [28].

II. METODOLOGÍA

Metodología

Investigación No Experimental, de enfoque cuantitativo, la data obtenida in situ mantendrá las condiciones existentes del proyecto; datos recopilados en tiempo y momento único; el análisis correlacional especificará las características de la información perteneciente a las condiciones del embalse, se realizó el diseño de correlación, relacionando el comportamiento de las variables relacionadas con la curva integral del embalse, sin precisar sentido de causalidad [29].

Tipo de diseño: Investigación No Experimental

La investigación No Experimental considera que las variables independientes se presentan y no son manipulables, es decir sobre ellas no se puede interferir [30].

Métodos

Método Empírico

Método fundamentado en la observación y medición in situ.

Observación:

Método sistemático confiable, valido, e intencionado para la recolección de información, técnica usada en la investigación con enfoques cualitativos, cuantitativos y mixtos [29].

Medición

Método fundamentado en la recolección de datos cuantitativos (magnitudes conocidas y medibles), así también considera relaciones para representarlas y evaluarlas adecuadamente con procedimientos estadísticos.

La medición in situ de cotas del espejo de agua, volúmenes almacenados, áreas inundadas, caudales que ingresan y salen del embalse, además de los parámetros de diseño de la represa El Azúcar, permitirá evaluar las obras de descarga, la curva integral del embalse, a partir de lo cual se propondrá la repotenciación del proyecto.

Población y Muestra

Población

Conjunto de elementos que poseen características comunes, observables y medibles in situ y en un momento único.

Tabla II: Población y muestra
Fuente: Propia

Homogeneidad	Los elementos del universo (mismas características)	Embalse
Tiempo	Tiempo donde se ubica el estudio.	anual
Espacio	Ubicación del universo en estudio.	Proyecto presa El Azúcar
Cantidad	Tamaño del universo	Datos de los últimos 7 años

Muestra

Subconjunto representativo del universo. La presente investigación considera toda la data proporcionada por el HGASE, aproximadamente 13.000 datos.

Gestión de Datos

Los datos proporcionados por el HGASE, se realizaron visitas técnicas al Proyecto, recabó información de la biblioteca personal del Ing. Herbozo Alvarado Jorge Enrique (Fiscalizador – Tránsito, 1996) y para determinar la posible salinidad del agua del embalse se recurrió a la empresa distribuidora de agua potable AGUAPEN EP.

Limitaciones:

En la investigación su mayor limitante fue la falta de data histórica (únicamente 7 años). Además, no está la información centralizada y no es de libre acceso a investigadores o diseñadores de este tipo de obras hidrotécnicas.

III. RESULTADOS

Características del Embalse El Azúcar

Es una presa de materiales sueltos, diseñada con un periodo de retorno de 10.000 años, su núcleo central impermeable de arcillas y arcillas limosas plásticas, espaldones de limos arenosos de plasticidad media a baja, enrocados en ambos paramentos de roca arenisca de la formación Azúcar, dos vertedores como obras de descarga” [31].

Presa que presenta los parámetros siguientes:

- Ancho de corona: 9.00 m.
- Ancho de base: 170.00 m.
- Cota de cimentación: 30.10 msnm.
- Cota de la corona: 49.10 msnm.
- Cota núcleo impermeable: 48.60 msnm.
- Cota del vertedor de servicio: 45.00 msnm y longitud de cresta de 16 metros.
- Cota del vertedor auxiliar: 45.50 msnm y longitud de cresta de 50 metros.
- Nivel máximo de crecida “NMC”: 48.40 msnm.
- Nivel máximo aprovechable “NMA”: 45.00 msnm. (cota vertedora de servicio).
- Nivel mínimo aprovechable “NmA”: 40.00 msnm.
- Volumen útil: 48.73 Mm³ (cota 45.00 msnm).



Fig. 5 Vertedor de servicio: Paramento y rápida de empate con el río El Azúcar. Longitud de cresta 16 metros, paramento 4 metros y cota de cresta 45.00 msnm.

Fuente: (Herbozo Alvarado, 1996)



Fig. 6 Vertedor de emergencia o auxiliar: Longitud de cresta 50 metros, paramento 1.20 metros y cota de cresta 45.50 msnm.

Fuente: (Herbozo Alvarado, 1996)

Diagnóstico o Estudio de Campo:

De analizar aproximadamente 7400 datos relacionados a cotas de agua en el embalse, volumen almacenado y áreas de inundación, se determinó la curva de capacidad del embalse o curva integral (Altura de presa vs. Área de inundación; Altura de presa vs. Volumen de almacenamiento), en la Tabla III se presenta el análisis condensado de datos.

Tabla III: Datos de las curvas volumen almacenado y área de inundación
Elaboración: Propia

COTA msnm	VOLUMEN ALMACENADO Hm ³	VOLUMEN UTIL Hm ³	AREA Km ²	OBSERVACIONES
39,78	10,83			
40,01	11,89	0,05	4,70	NmA
40,40	13,85		5,26	
41,00	17,29		6,08	
42,00	24,31		7,59	
43,00	32,80		9,09	
43,95	42,25		10,55	
45,00	54,28	42,39	11,86	NMA
46,20	79,04		13,51	Crec. máx. histórica
47,00	81,75		14,86	
48,40	104,55		17,04	Cap. Max. embalse

De analizar 4920 datos relacionados a Oferta Vs. Demanda actual, se genera la curva de masas (Oferta –Demanda Actual – Demanda Propuesta). Ver Fig. 7.

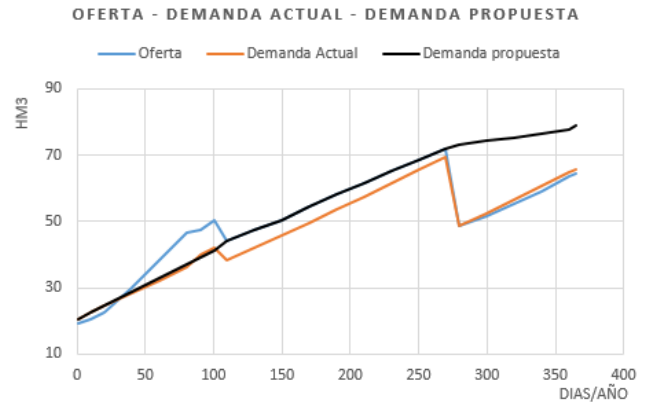


Fig. 7 Curva de Masas

Fuente: HGASE

Elaboración: Propia

Curva de Operación del Embalse

La curva de operación del embalse resulta del análisis de 4920 datos relacionados a niveles de agua en el embalse respecto a los días registrados, resultados en la Fig. 8.



Fig. 8 Curva de Operación del embalse

Elaboración: Propia

La curva de color rojo representa la curva de operación media del embalse, se puede señalar que la curva media de operación del embalse demuestra que el volumen almacenado no llega al nivel máximo aprovechable.

En la Fig. 9. Se presenta el análisis integral de la data proporcionada por el HGASE, para las siguientes curvas:

- Altura de presa – Volumen almacenado.
- Altura de presa – Área inundada por el embalse.
- Curva de masas (oferta – demanda).
- Curva de Operación del embalse.

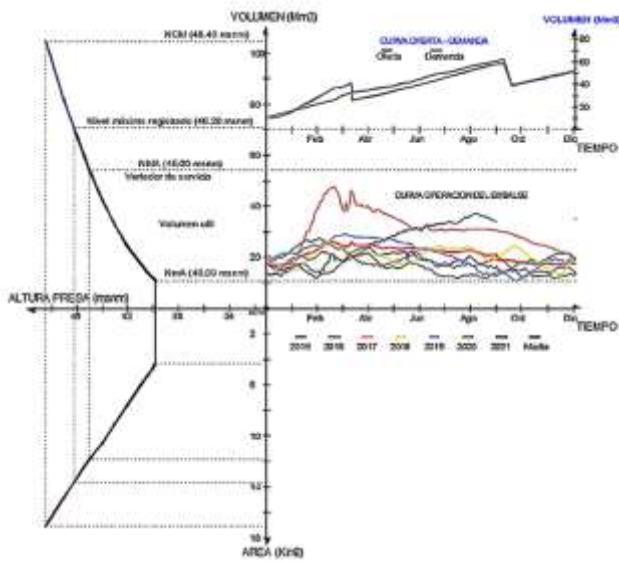


Fig. 9 Curva de capacidad del embalse o curva integral
Fuente: HGASE
Elaboración: Propia

Estructuras de Descarga

Vertederos de Servicio y Emergencia - Condición Actual

Los vertederos de servicio y emergente o auxiliar, son tipo Creager, con modelo matemático de descarga o gasto:

$$Q = CLH^{3/2} \quad (1)$$

Vertederos que en 1997 registraron la crecida histórica máxima, cota 46.20 msnm, mismos que soportaron descargas 45.85 m³/s y 63.33 m³/s, respectivamente; para una descarga combinada de 109.18 m³/s en el río Azúcar.

El caudal de emergencia (63.33 m³/s), ocasiono daños erosivos aguas abajo de la estructura, mientras que para el caudal combinado que descarga en el Río Azúcar, causó las siguientes afectaciones: Colapso del enrocado de protección de la zapata del puente principal de acceso a la comuna, destrucción de la estructura del paso mojado que atravesaba el río, socavación aguas abajo del vertedor auxiliar y el colapso de viviendas en la comuna.

Caudales Descargados por los Vertederos

En la Tabla IV se presentan los caudales de descarga por los vertederos de servicio y auxiliar para las condiciones actuales y la propuesta por la presente investigación.

Tabla IV: Descarga en vertedores de servicio y auxiliar o emergencia
Elaboración: Propia

DESCARGA VERTEDEROS - CONDICION ACTUAL							
COTA	VOLUMEN	AREA	VERTEDEROS		CAUDAL SALIDA TOTAL	dVOL.	OBSERVACION
			SERVICIO	AUXILIAR			
			CAUDALES				
msnm	Hm3	Km2	m3/s	m3/s	m3/s	Hm3	
45,00	54,28	11,86	0,00		0,00		Cota vertedor servicio
45,50	60,58	12,61	12,34		12,34	6,30	Cota vertedor emergente
46,20	70,04	13,51	45,85	63,63	109,48	9,46	Cota máxima histórica
48,40	104,55	17,04	215,82	513,94	729,76	34,51	Cota máxima crecida

DESCARGA VERTEDEROS - CONDICION PROPUESTA							
COTA	VOLUMEN	AREA	VERTEDEROS		CAUDAL SALIDA TOTAL	dVOL.	OBSERVACION
			SERVICIO	AUXILIAR			
			CAUDALES				
msnm	Hm3	Km2	m3/s	m3/s	m3/s	Hm3	
45,00	54,28	11,86	0,00		0,00		Cota vertedor servicio
46,20	70,04	13,51	45,85	0,00	45,85	15,76	Cota vertedor emergente
46,65	87,23	14,35	74,07	32,90	106,97	17,19	Caudal similar a 1997
48,40	104,55	17,04	215,82	348,29	564,11	17,32	Cota máxima crecida

Laminación propuesta de crecidas o avenidas

El análisis considera un periodo de retorno TR = 1000 años, con tiempos de desfase de 1 hora para los hidrógramas [1]. Mientras que la presente investigación en la Fig. 10, propone los hidrógrama de entrada (Qmax, = 1252 m³/s – Carga máxima de 1,64 m) y de salida o laminación de la avenida (Qmax. = 123 m³/s – Carga máxima 0,53 m, los hidrógramas respectivos ver en la Fig. 10.

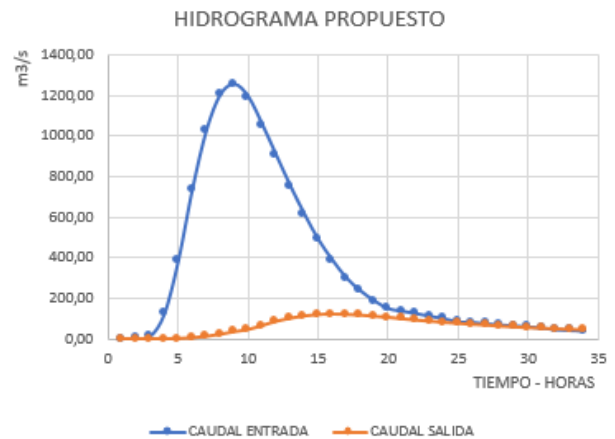


Fig. 10 Hidrogramas de entra y salida propuestos
Elaboración: Propia

Condición de Funcionamiento: Propuesta

Elevar la cota del vertedor de emergencias o auxiliar a 46.20 msnm (nivel máximo de crecida histórica), en el vertedor de servicio se presentará una descarga de 45,85 m³/s; además, para llegar a la descarga combinada histórica el nivel del agua en el embalse debería alcanzar la cota 46,65 msnm (ver Tabla IV).

Con sistema de compuertas sobre el vertedor de servicio se podría llegar a incrementar el volumen útil actual en 40% aproximadamente (ver Fig.9). Otra alternativa a investigar sería la de un vertedero inflable (aplicado en el Proyecto Multipropósito Baba – Ecuador).

Análisis de Salinidad y SDT del Agua

La tabla V, presenta las condiciones más críticas de los parámetros Físico – Químicos del agua potable de la planta de Santa Elena. Ensayos realizados por el laboratorio de AGUAPEN EP.

Tabla V. Características Físico – Químicas del agua: Tulsma versus AGUAPEN EP.
Elaboración: Propia

PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	MAXIMO PERMITIDO TULSMA	PLANTA AGUAPEN	CUMPLE
Color	Color real	(Pt-Co)	75	81	No
Dem. Bioq. De Oxígeno	DBO5	mg/l	< 2	3,3	No
Dem. Quim. Oxígeno	DQO	mg/l	< 4	12	No
Oxígeno disuelto	OD	mg/l	8,12	8,47	No
Potencial hidrogeno	pH	mg/l	6 a 9	8,1	Si
Plomo	Pb	mg/l	0,01	0	Si
Salinidad	UPS	%o	0,5	0,1	Si
Solidos totales disueltos	TDS	mg/l	1000	101,3	Si
Turbiedad		NTU	5	4,87	Si
Coliformes fecales	NMP/100ml		1000	330	Si

Fuente: AGUAPEN EP.

IV. DISCUSIÓN

Contrastación Empírica:

Ecuador no dispone de normativa sobre los parámetros a determinar en la evaluación de embalses. En el contexto sudamericano, El Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile en el año 2011, promulga el documento “PAUTA DE EVALUACIÓN PROYECTOS DE EMBALSES”.

El embalse El Azúcar, diseñado con periodo de retorno de 10.000 años, ubica el NmA en la cota 40.00 msnm y su NMA en la cota 45.00 msnm, para un volumen útil de 42.39 Mm³, mientras que el NCM está en la cota 48.40 msnm para un volumen máximo de almacenamiento de 104.40 Mm³.

En las condiciones actuales, los vertederos de servicio y auxiliar soportarían descargas máximas de 215.82 m³/s y 228.94 m³/s, y una descarga conjunta de 444.76 m³/s, para el nivel máximo de crecidas “NCM” que es la cota 48.40 msnm.

En el periodo 1997 – 1998, se presentó la precipitación de 120 mm/día (histórica máxima registrada), llegando a la cota 46.20 msnm, para un caudal combinado de 109.18 m³/s. Condiciones bajo las cuales el vertedor de emergencias sufrió daños erosivos aguas abajo de la estructura, mientras que para el caudal combinado que descarga en el Río Azúcar, mismo que pasa por la comuna, causó las siguientes afectaciones:

Colapso del enrocado de protección de la zapata del puente principal de acceso a la comuna, destrucción de la estructura

del paso mojado que atravesaba el río, socavación aguas abajo del vertedor auxiliar y colapso de viviendas.

La presente investigación considera mantener la cota de cresta del vertedor de servicio en 45.00 msnm, mientras que la cota del vertedor auxiliar subir a la 46.20 msnm.

Bajo la alternativa propuesta, para la crecida máxima histórica de cota 46.20 msnm, trabajaría solo el vertedor de servicio, con un caudal semejante al 40% del caudal combinado registrado en 109.18 m/s, propuesta que minimizaría los daños aguas abajo del proyecto.

La curva de masas actual (oferta – demanda), presenta déficit hídrico considerable. La demanda actual está condicionada a la oferta, a los 100 días del año calendario aproximadamente la operadora del embalse reduce la oferta, procedimiento que se repite a los 275 días calendario de manera más intensa. Esto estaría afectando al proceso productivo de la zona, Fig. 7.

Respecto a la curva de operación del embalse, considerando la curva de volumen útil medio, este se ubica en 21.11 Mm³, cuando la capacidad útil del embalse es 42.39 Mm³.

Para la condición actual de operación del embalse, el proyecto multipropósito Chongón, de estar en capacidad podría trasvasar caudales en invierno, para llegar al volumen útil de almacenamiento de 42.39 Mm³, ver Fig. 8.

Respecto a la evaluación de salinidad y SDT en el agua, como referente empírico se consideró la ciudad de La Paz – México; la Empresa de Agua Potable de Santa Elena, ocasionalmente determino salinidad, la misma que presenta un valor máximo de 110 mg/l, en época de estiaje, parámetro que cumple con la normativa internacional.

V. RECOMENDACIONES

El Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), como organismo encargado del control de recurso hídrico, en coordinación con instituciones de educación superior, Ministerio de Agricultura, Ministerio del Ambiente, ONG, GADs, entre otras instituciones, deberían generar un manual para evaluación de embalses en el país.

La empresa de agua potable de Santa Elena u otro organismo pertinente deberían generar data de análisis de salinidad en tiempo continuo, a partir de la cual se podría generar un modelo matemático para neutralizar la salinidad del embalse (en caso de presentarse), a través de procesos químicos o trasvasando agua desde el embalse Chongón, en caso de presentarse este fenómeno.

En las cuencas hidrográficas se deberían mantener operativas y/o implementar estaciones meteorológicas, información necesaria para el análisis de balances hídricos.

La operadora del embalse debería generar información de la calidad del agua, desde el punto de vista de riego agrícola, con el objetivo de recomendar cultivos posiblemente más rentables para las condiciones de la calidad de agua del embalse.

REFERENCIAS

- [1] A. Nuñez Bustamente, "OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL EMBALSE AZÚCAR CON EL FUNCIONAMIENTO COMBINADO DEL VERTEDOR DE SERVICIO MÁS EL VERTEDOR AUXILIAR," 2016.
- [2] ww.cip.org.ec, "CAMARA DE INDUSTRIAS Y PRODUCCION," 2012, [Online]. Available: https://www.cip.org.ec/attachments/article/125/BASI_Agosto.pdf
- [3] iAgua, "La SENAGUA repara el vertedero del embalse El Azúcar," 2013. [Online]. Available: <https://www.iagua.es/noticias/ecuador/13/10/28/la-senagua-repara-el-vertedero-del-embalse-el-azucar-39070>
- [4] M. D. E. V. O. T. Y. M. A. (MVOTMA), "Manual de diseño y construcción de pequeñas presas," vol. 1, p. 116, 2011, [Online]. Available: <http://www.mvotma.gub.uy/dinagua/manualdepequenaspresas>
- [5] C. E. Balseca Espinoza and K. V. De La Cruz Lainez, "Caracterización de sistemas de producción agropecuaria, a través de la percepción de los productores en comunas de la parroquia Chanduy, provincia de Santa Elena," 2015. [Online]. Available: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/2743/1/UPSE-TAA-2015-016.pdf>
- [6] E. y Competitividad Ministerio de Coordinación de la Producción, "Agenda para la Transformación, Productiva Territorial: Provincia de Santa Elena," 2011. [Online]. Available: <http://www.produccion.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2013/02/A-GENDA-TERRITORIAL-SANTA-ELENA.pdf>
- [7] EcuRed, "Cantón Santa Elena (Ecuador)," 2022. [Online]. Available: [https://www.ecured.cu/Cantón_Santa_Elena_\(Ecuador\)](https://www.ecured.cu/Cantón_Santa_Elena_(Ecuador))
- [8] G. Manrique M, "Ministerio Ambiente, Agua y Transición Ecológica," 2019. [Online]. Available: https://twitter.com/ambiente_ec/status/1121383172946710528?lang=es
- [9] C. Balmaseda Espinosa and D. Ponce de León Lima, "CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS DEL CENTRO DE PRODUCCIÓN Y PRÁCTICAS RÍO VERDE, SANTA ELENA, ECUADOR," *JOURNAL OF SCIENCE AND RESEARCH*, p. 9, Jul. 2019.
- [10] J. Pérez Porto and M. Merino, "DEFINICIÓN DE EMBALSE," 2014. [Online]. Available: <https://definicion.de/embalse/>
- [11] B. O. F. RECLAMATION, *DISEÑO DE PQUEÑAS PRESAS (traducción de la 3a Edición Americana)*. 1983.
- [12] M. Anadón Bayo, "Anteproyecto de presa de laminación en las ramblas de Pozas, Carrión y Estrecho," 2016. [Online]. Available: https://oa.upm.es/43970/1/Tesis_master_Miguel_Anadon_Bayo_1de2.pdf
- [13] E. Alegret-Brena and Y. Martínez-González, "Estudio integral del aliviadero de abanico o mexicano," *Scielo*, vol. Vol. 1 no., 2010, [Online]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222010000200003
- [14] F. Salcedo Mendoza, "INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DEL COEFICIENTE DE DESCARGA DE VERTEDEROS DE FLUJO LIBRE.," 2017. [Online]. Available: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4661?show=full>
- [15] A. Arévalo, "Evaluación hidrogeo-química e hidroquímica de la subcuenca del río Aranchacal," 2015, *Universidad de El Salvador*. [Online]. Available: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/8237/1/Evaluación>
- [16] M. L. Gómez, "Definición de la aptitud de agua para riego en un agroecosistema del sur de la provincia de Córdoba," *Investigación Cienc.*, vol. 17, pp. 38–43, 2009, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67412188007>
- [17] O. M. de la Salud, *Guías para la calidad del agua potable*. 1999. [Online]. Available: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42187/9243545140-spa.pdf;sequence=1>
- [18] ALCORA, "Agua apta para consumo humano," 2016. [Online]. Available: <https://alcora.es/blog/agua-apta-consumo-humano/>
- [19] FAO, "Acuerdo N° 97/A - Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua (Anexo 1, Libro VI de la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente)."
- [20] C. Arce, "Consecuencias económicas por uso de aguas duras en el gran Santiago,,". *Memoria Ingeniero Civil Industrial. Santiago, Chile. Universidad Técnica Federico Santa María.*, 2017.
- [21] S. Shahid, M. Abdelfattah, and F. Taha, *Developments in soil salinity assessment and reclamation*. Springer, 2013.
- [22] A. C. PÉREZ ULLOA, "AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y SU REUTILIZACIÓN PARA RIEGO AGRÍCOLA EN CHILE," UNIVERSIDAD DE CHILE, 2022.
- [23] F. CASSASSUCE, "Salinidad y sólidos disueltos del agua," 2020. [Online]. Available: <https://www.agualimpia.mx/blogs/news/solidos-disueltos-en-el-agua-que-significa>
- [24] Y. Solís-Castro, L. A. Zúñiga-Zúñiga, and D. Mora-Alvarado, "La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y naces de Costa Rica," *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 31, no. 1, p. 35, Mar. 2018, doi: 10.18845/tm.v31i1.3495.
- [25] D. Isea, L. Vargas, J. Durán, K. Pineda, and J. Delgado, "Revista técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia," *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, vol. 31, no. ESPECIAL, pp. 22–31, 1978, Accessed: Jan. 09, 2025. [Online]. Available: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702008000400004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [26] A. Quinteros Carabali, J. Gómez-García, S. Michelle, G. Llumiquinga, and C. Burgos, "Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Toglhuayco," *SIEMBRA*, vol. 6, pp. 46–57, 2019, doi: <https://doi.org/10.29166/siembra.v6i2.1641>
- [27] F. Millan, *Calidad de Aguas Potables*. 2016. doi: 10.13140/RG.2.1.4267.8000.
- [28] M. A. C., "PAUTA DE EVALUACIÓN PROYECTOS DE EMBALSES," 2011. [Online]. Available: <file:///D:/Asig>
- [29] M. Cortés and C. León, *Generalidades sobre Metodología de la Investigación. Ciudad del Carmen*. México: Universidad Autónoma del Carmen, 2004.
- [30] V. D. Sousa, M. Driessnack, I. Amélia, and C. Mendes, "Online REVISIÓN DE DISEÑOS DE INVESTIGACIÓN RESALTANTES PARA ENFERMERÍA. PARTE 1: DISEÑOS DE INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA." [Online]. Available: www.eerp.usp.br/rlae
- [31] E. H. Alvarado, "INFORME SOBRE EL PROYECTO PARA LA REPARACION DEL CUERPO DE LA PRESA EL AZUCAR," 1996.