



THEK RESEARCH INSTITUTE **LREM** LOW-FLOW RESERVOIR EVOLUTION MODEL



THEK RESEARCH INSTITUTE

LREM

LOW-FLOW RESERVOIR EVOLUTION MODEL

MAZAR · ESTIAJE

Aplicación del método FGET-VRR-NFF para modelar el comportamiento del embalse Mazar durante el estiaje

THEK-LREM-MAZAR

Modelo parsimonioso construido a partir de datos reales del sistema eléctrico ecuatoriano y una ventana histórica 2017–2025.

Marcelo Moncayo Theurer

THEK Research Institute

Versión 1.0 · octubre de 2026

hithek.com · research@hithek.com

RESUMEN

Este trabajo presenta una formulación empírica y parsimoniosa para describir la evolución de la cota del embalse Mazar durante el estiaje y relacionar esa evolución con una estimación de horas diarias de racionamiento eléctrico. El modelo nace de la secuencia metodológica FGET $\rightarrow$ VRR $\rightarrow$ NFF desarrollada por Moncayo Theurer: primero se exploran relaciones entre variables observables; después se reducen y jerarquizan variables, coeficientes y escalas; finalmente se reorganizan las relaciones en un sistema compacto de ecuaciones encadenadas.

La ventana histórica de observación comprende datos reales entre 2017 y 2025. La comparación multianual permite reconocer patrones de descenso, recuperación y severidad del estiaje, mientras que 2023 y 2024 aportan los casos de comprobación directa de las expresiones finales y 2025 aporta una condición estable de referencia. El modelo define un factor Invernal Type, I_T , a partir de la pérdida de cota durante septiembre, proyecta $Z(d)$ mediante una forma cuadrática y estima H mediante una relación no lineal entre $I_T^{3.7}$ y Z .

Para 2023 y 2024, la cota mínima calculada coincide con los valores reales con diferencias relativas de 0.0029 % y 0.0540 %, respectivamente; la estimación de horas reproduce 3.00 y 14.00 h/día con diferencias de 1.57 % y 0.12 %, y una diferencia porcentual media de aproximadamente 0.84 %. El resultado es una herramienta compacta para caracterizar el estiaje, proyectar la trayectoria de Mazar y cuantificar su relación con las horas de racionamiento.

Palabras clave: Embalse Mazar; estiaje; FGET; VRR; NFF; Invernal Type; cota de embalse; racionamiento eléctrico; energía hidroeléctrica; Ecuador; THEK Research Institute; Marcelo Moncayo Theurer.

MÉTODO LREM

LOW-FLOW RESERVOIR EVOLUTION MODEL · APLICACIÓN THEK-LREM-MAZAR

El modelo condensa una secuencia histórica de observación y reducción en la cadena $\Delta Z_{sep} \rightarrow I_T \rightarrow Z(d) \rightarrow H$. La Fórmula 1 describe la trayectoria de cota durante el estiaje; la Fórmula 2 traduce el estado de cota a una señal empírica de horas de racionamiento.

1. INTRODUCCIÓN

El embalse Mazar es un elemento de regulación del complejo hidroeléctrico Paute Integral. Su almacenamiento permite desplazar agua entre períodos y apoyar una operación hidrotérmica de mediano plazo; por ello, el nivel del embalse constituye una variable operacionalmente relevante durante los meses secos [1–10]. La literatura técnica de CENACE destaca que Mazar posee capacidad de regulación de varios meses y que su gestión afecta la utilización coordinada de Mazar, Molino y Sopladora [10].

El desarrollo parte de la observación directa de series reales: cota de Mazar en el tiempo, pérdida de nivel durante septiembre, mínimos alcanzados en el estiaje y, para los años con racionamiento, horas programadas de corte. A partir de estas observaciones se buscó una formulación compacta que conservara significado físico-operativo y fuera fácil de aplicar.

La ventana histórica de desarrollo abarca 2017–2025. Los años 2017 y 2018 aportan el contexto inicial de comportamiento hidrológico; la secuencia 2019–2025 permite comparar la evolución mensual del embalse; y 2023–2024 proporcionan los casos de mayor utilidad para comprobar directamente las fórmulas. El año 2025 completa la lectura con una condición de cota alta y un comportamiento estable. En conjunto, la serie permite observar distintos niveles de severidad del estiaje y organizar el modelo sobre una base multianual.

2. BASE TEÓRICA: ESTIAJE, REGULACIÓN Y VARIABLE DE ESTADO

En un embalse de regulación, la cota es una variable de estado que resume el agua almacenada y, por tanto, parte de la capacidad temporal de sostener generación hidroeléctrica. Durante el estiaje, el sistema combina afluencias, almacenamiento, despacho hidroeléctrico, respaldo térmico, intercambios internacionales y decisiones operativas. Dentro de este conjunto, el nivel de Mazar constituye una señal directa y cuantificable del estado hidrológico del complejo Paute [1–10].

El modelo propuesto utiliza dos ideas simples. Primero, la severidad del estiaje se caracteriza por la pérdida de cota durante septiembre, incorporando así la dinámica real del embalse. Segundo, una trayectoria de descenso–mínimo–recuperación se representa de forma parsimoniosa

mediante una función cuadrática. Con estas dos decisiones se construye un factor adimensional de severidad y una ecuación temporal de cota.

La segunda relación vincula empíricamente la cota de Mazar con las horas de racionamiento. La formulación integra el estado hidrológico del embalse con la severidad representada por I_T y transforma ambos elementos en una magnitud H expresada en horas por día. De esta manera, el modelo conecta la evolución física del reservorio con una variable operativa de impacto directo sobre el sistema eléctrico.

3. ORIGEN METODOLÓGICO: FGET → VRR → NFF

La arquitectura del modelo deriva de tres marcos desarrollados por Moncayo Theurer: Formula Genomics and Evolution Theory (FGET), Variable Reduction and Ranking (VRR) y Nested Formula Framework (NFF) [11–13]. La secuencia FGET → VRR → NFF permite pasar de observaciones reales a una formulación compacta: FGET explora relaciones candidatas, VRR identifica las variables y escalas dominantes, y NFF reorganiza los resultados en ecuaciones encadenadas. Esta arquitectura también ha sido aplicada en otras formulaciones THEK [14–17].

3.1 FGET: explorar relaciones candidatas

En la fase FGET se exploraron varias representaciones del mismo problema: cota–tiempo, horas–tiempo y horas–cota. Se compararon años, se probaron rectas de referencia para medir escalas relativas y se ajustaron parábolas a la trayectoria temporal del embalse. Esta exploración generó una familia de relaciones candidatas y permitió reconocer la estructura matemática que se repetía entre los años estudiados.

3.2 VRR: reducir variables y jerarquizar escalas

La fase VRR comparó coeficientes y magnitudes. La relación cota–horas mostró una escala relativa cercana a 4.8 entre 2024 y 2023, mientras que los coeficientes dinámicos de las parábolas de cota mostraron una razón del orden de 2.2. Esta comparación permitió separar escalas y reducir el problema a cuatro variables principales: d , Z , H e I_T , utilizando ΔZ_{sep} como descriptor de severidad del estiaje.

3.3 NFF: reorganizar la solución en una cadena compacta

En la fase NFF las relaciones reducidas se reorganizaron como un sistema encadenado y se concentraron en un único factor I_T . El resultado final es la secuencia operativa: pérdida de septiembre $\rightarrow I_T \rightarrow$ cota $Z(d) \rightarrow$ horas H . Esta estructura conserva el significado de cada etapa y permite comprobar directamente cada resultado frente a los datos reales.

CADENA DEL MODELO

$\Delta Z_{\text{sep}} \rightarrow I_T \rightarrow Z(d) \rightarrow H$. Primero se caracteriza la severidad del estiaje, después se proyecta la cota y finalmente se calcula la señal empírica de horas.

4. DATOS REALES UTILIZADOS: VENTANA 2017–2025

El desarrollo se apoyó en registros históricos de cota, caudales, operación y racionamientos correspondientes al período 2017–2025 [1–9,18–19]. La Tabla 1 resume el aporte de cada año al proceso. Esta secuencia multianual permitió observar diferentes condiciones de estiaje, comparar la evolución de Mazar y seleccionar los casos más informativos para construir y comprobar las ecuaciones finales.

Año	Información real utilizada	Papel en el desarrollo
2017	Cotas, caudales y operación anual	Base histórica del comportamiento hidrológico
2018	Embalse, reservas y caudales	Continuidad histórica del comportamiento del embalse
2019	Cotas de fin de mes	Comparación multianual de niveles
2020	Cotas de fin de mes	Comparación multianual de niveles
2021	Cotas de fin de mes	Comparación multianual de niveles
2022	Cotas de fin de mes	Comparación de un descenso relevante de cota
2023	Cota, caída de septiembre, mínimo y horas de racionamiento	Ajuste y comprobación directa de las fórmulas
2024	Cota, caída de septiembre, mínimo y horas de racionamiento	Ajuste y comprobación directa de las fórmulas
2025	Cotas de fin de mes y condición estable del embalse	Referencia de condición estable y cota elevada

Tabla 1. Ventana histórica 2017–2025 y función de cada subconjunto de datos en el desarrollo del modelo.

4.1 Comparación multianual de cotas 2019–2025

La Tabla 2 organiza la secuencia histórica mediante la cota de fin de agosto, la cota de fin de septiembre, la pérdida mensual, el valor de I_T y el mínimo registrado en cada año. Esta lectura permite visualizar cómo cambia el comportamiento de Mazar entre condiciones estables, descensos moderados y estiajes de mayor severidad. La comprobación detallada de

2023–2024 utiliza la serie específica de verificación, de mayor resolución temporal, por lo que algunos valores pueden diferir del resumen mensual de esta tabla.

Año	Ago. (m)	Sep. (m)	ΔZ (m)	I_T histórico	Mín. mensual (m)	Lectura del año
2019	2153.67	2149.16	4.51	1.2819	2147.28	Condición estable
2020	2148.34	2152.19	-3.85	0.7594	2129.14	Condición estable
2021	2146.78	2149.08	-2.30	0.8563	2142.45	Condición estable
2022	2153.63	2144.94	8.69	1.5431	2120.26	Descenso relevante
2023	2150.84	2139.29	11.55	1.7219	2115.85	Estiaje con $H > 0$
2024	2139.28	2118.31	20.97	2.3106	2112.41	Estiaje severo, H alta
2025	2152.98	2152.95	0.03	1.0019	2139.43	Condición estable

Tabla 2. Cotas de fin de mes y lectura histórica 2019–2025. Fuente de datos: series anuales 2019–2025 [3–9].

En 2024, los 20.97 m de la Tabla 2 corresponden a la diferencia entre las cotas de fin de agosto (2139.28 m) y fin de septiembre (2118.31 m), y producen $I_T=2.3106$ como indicador histórico de cierre mensual. Para la comprobación de las fórmulas se usa la pérdida estricta del 1 al 30 de septiembre, $\Delta Z_{\text{sep}}=20.49$ m, que produce $I_T=2.280625$. Del mismo modo, 2112.41 m es el mínimo mensual de la serie anual, mientras que 2110.73 m es el mínimo de referencia conservado en la serie de regresión/verificación.

4.2 Clasificación del invierno mediante Invernal Type, I_T

Se establece una clasificación en cinco tipos: $I_T \leq 1.00$ corresponde al Tipo 1; desde 1.00 hasta 2.30, el intervalo se divide en cuatro tramos iguales de amplitud 0.325.

Tipo 1 · Mínimo · $I_T \leq 1.000$	Tipo 2 · Leve · $1.000 < I_T \leq 1.325$
Tipo 3 · Intermedio · $1.325 < I_T \leq 1.650$	Tipo 4 · Fuerte · $1.650 < I_T \leq 1.975$
Tipo 5 · Muy fuerte · $I_T > 1.975$	

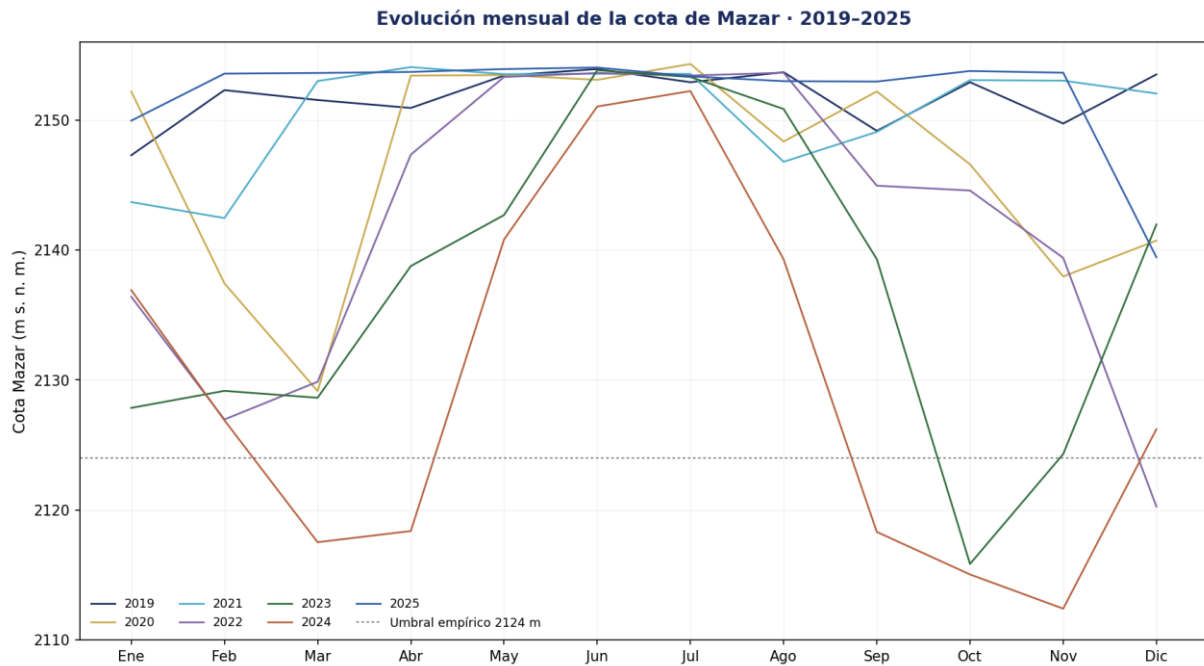


Figura 1. Evolución mensual de la cota de Mazar entre 2019 y 2025. La referencia de 2124 m corresponde al punto de transición contenido en la forma equivalente de la Fórmula 2.

5. FORMULACIÓN DEL MODELO

5.1 Pérdida de cota en septiembre

La variable de severidad se construye con la pérdida de cota entre el 1 y el 30 de septiembre. Cuando el descenso es mayor, ΔZ_{sep} aumenta; cuando el embalse se mantiene estable o se recupera, ΔZ_{sep} permanece próximo a cero y representa una condición de baja severidad.

$$\Delta Z_{sep} = Z_{1sep} - Z_{30sep}$$

Ecuación (1). Pérdida de cota durante septiembre.

Donde:

ΔZ_{sep} = pérdida neta de cota de Mazar entre el 1 y el 30 de septiembre, en m;

Z_{1sep} = cota de Mazar el 1 de septiembre, en m s. n. m.;

Z_{30sep} = cota de Mazar el 30 de septiembre, en m s. n. m..

5.2 Invernal Type, I_T

I_T transforma la caída de septiembre en un factor adimensional. El valor 1 representa la referencia base; valores superiores a 1 indican una pérdida creciente de cota durante septiembre. La constante 16 es el escalamiento empírico definido durante la reducción del modelo.

$$I_T = 1 + \frac{\Delta Z_{sep}}{16} = 1 + \frac{Z_{1sep} - Z_{30sep}}{16}$$

Ecuación (2). Definición final del factor Invernal Type.

Donde:

I_T = factor Invernal Type, adimensional, que representa la severidad del estiaje;

ΔZ_{sep} = pérdida de cota durante septiembre, en m;

Z_{1sep} = cota de Mazar el 1 de septiembre;

Z_{30sep} = cota de Mazar el 30 de septiembre.

5.3 Fórmula 1: trayectoria temporal de la cota de Mazar

El tiempo se expresa mediante d , con $d=1$ para el 1 de septiembre. La trayectoria se representa con una parábola cuya amplitud depende de I_T . La forma final conserva una estructura simple y permite obtener el mínimo teórico directamente.

$$Z(d) = \frac{-b_0}{2200} \left[\frac{I_T d^2}{141} - I_T d + 6663.51 \right], \quad b_0 = -705$$

Ecuación (3). Fórmula final para la cota de Mazar durante el estiaje.

Donde:

Z = cota proyectada del embalse para el día d , en m s. n. m.;

d = número de día contado desde el 1 de septiembre, con $d = 1$ ese día;

I_T = factor Invernal Type del año analizado;

b_0 = coeficiente base empírico de la Fórmula 1.

$$\frac{dZ}{dd} = 0 \Rightarrow \frac{2d}{141} - 1 = 0 \Rightarrow d_{min} = 70.5$$

Ecuación (4). Posición del mínimo de la parábola.

Donde:

dZ/dd = tasa de cambio de la cota proyectada Z respecto del día d ;

d = número de día contado desde el 1 de septiembre;

d_{min} = día en el que la trayectoria alcanza su cota mínima; en el modelo.

La Ecuación (4) muestra una propiedad estructural importante: el mínimo de la trayectoria se localiza en $d=70.5$, aproximadamente entre el 9 y el 10 de noviembre. Esta posición resulta directamente de la geometría de la

parábola adoptada y proporciona una fecha característica para interpretar el punto de máxima severidad del estiaje dentro del modelo.

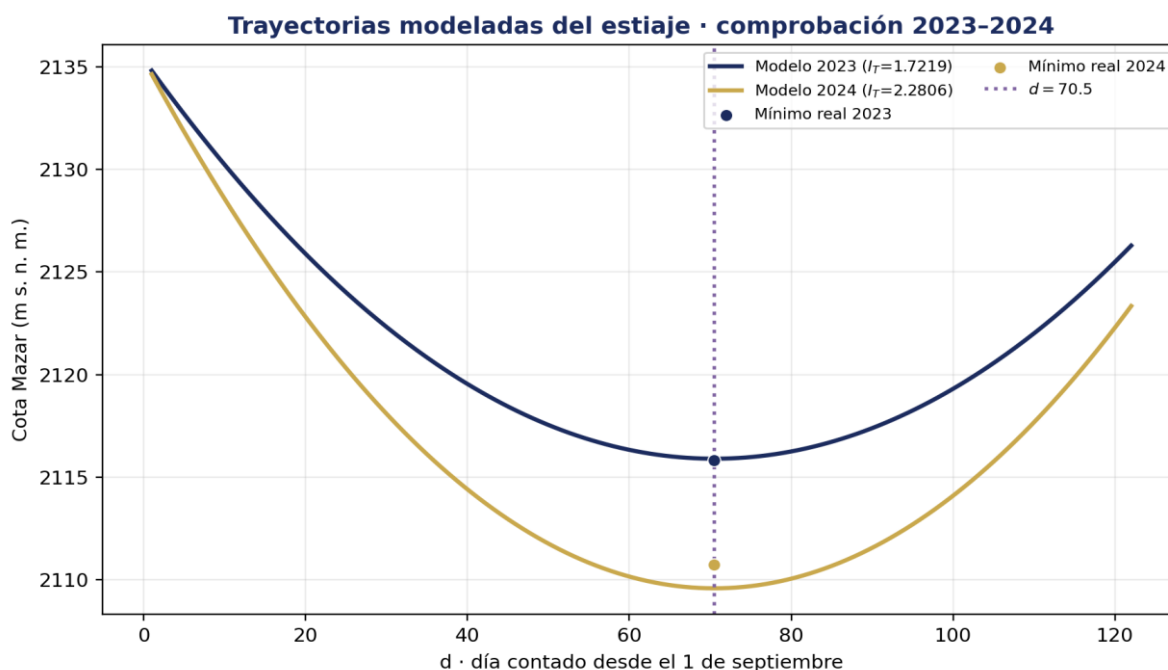


Figura 2. Trayectorias modeladas para 2023 y 2024 y mínimos reales utilizados en la comprobación.

5.4 Fórmula 2: relación empírica entre cota y horas de racionamiento

La segunda ecuación utiliza la cota Z como entrada y amplifica el efecto del tipo de estiaje mediante I_T elevado a 3.7.

$$H = \frac{10620I_T^{3.7} - 5I_T^{3.7}Z}{100}$$

Ecuación (5). Fórmula final de horas diarias de racionamiento.

Donde:

H = horas diarias estimadas de racionamiento, en h/día;

I_T = factor Invernal Type, adimensional;

Z = cota de Mazar utilizada como entrada, en m s. n. m.;

La Fórmula 2 establece una cota de transición de 2124 m: cuando Z se mantiene en 2124 m o por encima, el modelo asigna $H=0$; al descender por debajo de ese nivel, H aumenta progresivamente según I_T y la cota alcanzada.

Símbolo / constante	Definición	Unidad / valor
Z_{1sep}	Cota de Mazar el 1 de septiembre	m s. n. m.
Z_{30sep}	Cota de Mazar el 30 de septiembre	m s. n. m.
ΔZ_{sep}	Pérdida de cota durante septiembre	m
I_T	Invernal Type; severidad adimensional del estiaje	—
d	Número de día; d=1 el 1 de septiembre	día
b_0	Coeficiente base de la Fórmula 1	−705
$Z(d)$	Cota proyectada por la Fórmula 1	m s. n. m.
Z	Cota usada como entrada de la Fórmula 2	m s. n. m.
H	Horas diarias estimadas de racionamiento	h/día
3.7	Exponente empírico de no linealidad en I_T	—
2124	Cota de corte implícita de la forma factorizada	m

Tabla 3. Variables y constantes de la formulación final.

6. COMPROBACIÓN DE LAS DOS FÓRMULAS CON DATOS REALES

La comprobación directa utiliza 2023 y 2024, años que reúnen la pérdida de cota en septiembre, el mínimo real de Mazar y las horas programadas de racionamiento. El año 2025 añade una condición estable de referencia. La comparación se expresa mediante diferencia absoluta y diferencia porcentual:

$$E_Z = \frac{|Z_{calc} - Z_{obs}|}{Z_{obs}} \times 100$$

Ecuación (7). Diferencia porcentual relativa de cota.

Donde:

E_Z = diferencia porcentual relativa de cota;

Z_{calc} = cota calculada por el modelo, en m s. n. m.;

Z_{obs} = cota observada utilizada como referencia, en m s. n. m.

$$E_H = \frac{|H_{calc} - H_{obs}|}{H_{obs}} \times 100$$

Ecuación (8). Diferencia porcentual relativa de horas.

Donde:

E_H = diferencia porcentual relativa de horas;

H_{calc} = horas calculadas por el modelo, en h/día;

H_{obs} = horas observadas o de referencia, en h/día.

6.1 Comprobación de la Fórmula 1

$$I_{T,2023} = 1 + \frac{11.55}{16} = 1.721875$$

Ecuación (9). Cálculo del factor Invernal Type para 2023.

Donde:

$I_{T,2023}$ = factor Invernal Type calculado para 2023;

$$Z_{calc,2023}(70.5) = 2115.9017 \text{ m}$$

Ecuación (10). Cota mínima calculada para 2023.

Donde:

$Z_{calc,2023}$ = cota calculada por el modelo para 2023;

En 2023, el mínimo real fue 2115.84 m y el modelo calculó 2115.9017 m. La diferencia absoluta es 0.0617 m y la diferencia relativa es 0.0029 %, mostrando una coincidencia prácticamente exacta entre la trayectoria calculada y el dato real.

$$I_{T,2024} = 1 + \frac{20.49}{16} = 2.280625$$

Ecuación (11). Cálculo del factor Invernal Type para 2024.

Donde:

$I_{T,2024}$ = factor Invernal Type calculado para 2024;

$$Z_{calc,2024}(70.5) = 2109.5901 \text{ m}$$

Ecuación (12). Cota mínima calculada para 2024.

Donde:

$Z_{calc,2024}$ = cota calculada por el modelo para 2024;

En 2024, el mínimo real utilizado fue 2110.73 m y el modelo calculó 2109.5901 m. La diferencia absoluta es 1.1399 m y la diferencia relativa es 0.0540 %, manteniendo una correspondencia muy cercana con el valor real del estiaje.

Año	I_r	Z real (m)	Z calculada (m)	Diferencia abs. (m)	Diferencia relativa
2023	1.721875	2115.84	2115.9017	0.0617	0.0029 %
2024	2.280625	2110.73	2109.5901	1.1399	0.0540 %

Tabla 4. Comprobación de la cota mínima calculada por la Fórmula 1.

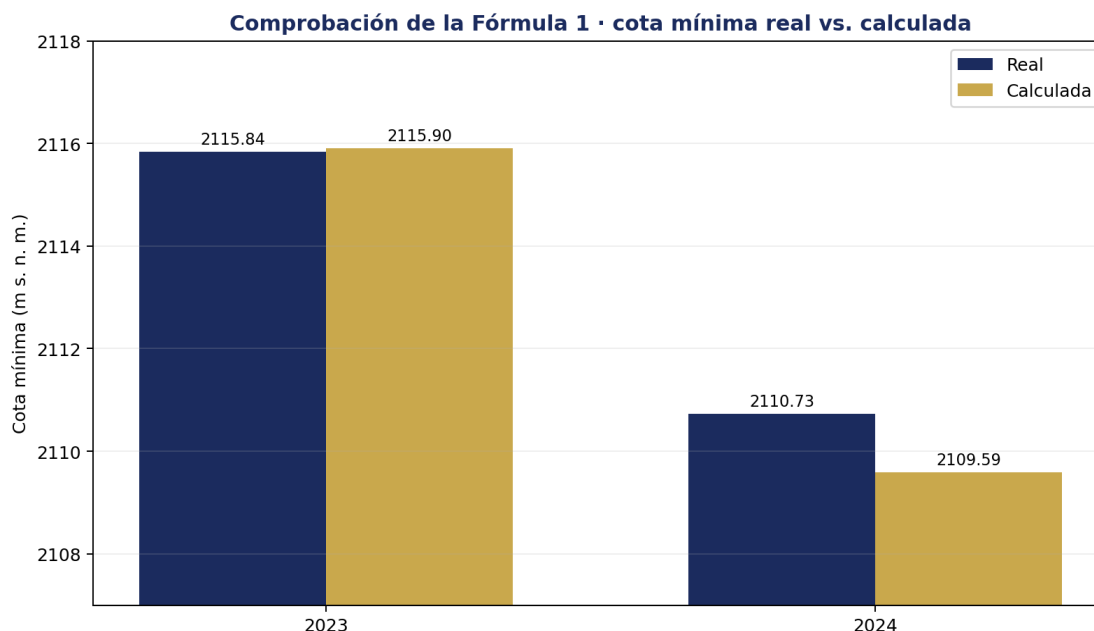


Figura 3. Comparación entre cota mínima real y calculada para 2023–2024.

6.2 Comprobación de la Fórmula 2

$$H_{calc,2023} = 0.05(1.721875)^{3.7}(2124 - 2115.84) = 3.04696 \text{ h/día}$$

Ecuación (13). Horas de racionamiento calculadas para 2023.

Donde:

$H_{calc,2023}$ = horas diarias calculadas por el modelo para 2023;

1.721875 = valor de I_T utilizado para 2023;

Para 2023 se utiliza como referencia 3.00 h/día. El modelo entrega 3.04696 h/día, con una diferencia de 0.04696 h y una diferencia porcentual de 1.57 %, reproduciendo de manera muy cercana el valor real de referencia [18].

$$H_{calc,2024} = 0.05(2.280625)^{3.7}(2124 - 2110.73) = 14.01652 \text{ h/día}$$

Ecuación (14). Horas de racionamiento calculadas para 2024.

Donde:

$H_{calc,2024}$ = horas diarias calculadas por el modelo para 2024;

2.280625 = valor de I_T utilizado para 2024;

Para 2024 se utiliza como referencia 14.00 h/día. El modelo entrega 14.01652 h/día, con una diferencia de 0.01652 h y una diferencia porcentual de 0.12 %, reproduciendo prácticamente el valor real de referencia [19].

$$MAPE_H = \frac{1.565\% + 0.118\%}{2} = 0.842\% \approx 0.84\%$$

Ecuación (15). Diferencia porcentual absoluta media de las horas.

Donde:

$MAPE_H$ = media de las diferencias porcentuales absolutas de H;

La diferencia porcentual absoluta media de los dos puntos de comprobación de horas es aproximadamente 0.84 %, lo que resume la estrecha concordancia obtenida en los dos años utilizados.

$$I_{T,2025} = 1 + \frac{2152.98 - 2152.95}{16} = 1.001875$$

Ecuación (16). Cálculo del factor Invernal Type para 2025.

Donde:

$I_{T,2025}$ = factor Invernal Type calculado para 2025;

$$H_{2025} = \max\left(0, 0.05(1.001875)^{3.7}(2124 - 2139.43)\right) = 0$$

Ecuación (17). Cálculo de horas para la condición 2025.

Donde:

H_{2025} = horas diarias calculadas para 2025;

En 2025, las cotas de fin de agosto y de septiembre permanecieron prácticamente estables y el mínimo mensual del año fue 2139.43 m. La Fórmula 2 entrega $H=0$, mostrando el comportamiento esperado del modelo para una condición de cota elevada y estiaje de baja severidad.

Año	H real / referencia	H modelo	Diferencia abs. (h)	Diferencia %
2023	3.00	3.04696	0.04696	1.57 %
2024	14.00	14.01652	0.01652	0.12 %
2025 estable	0.00	0.00	0.00	—

Tabla 5. Comprobación de la Fórmula 2 con 2023–2025.

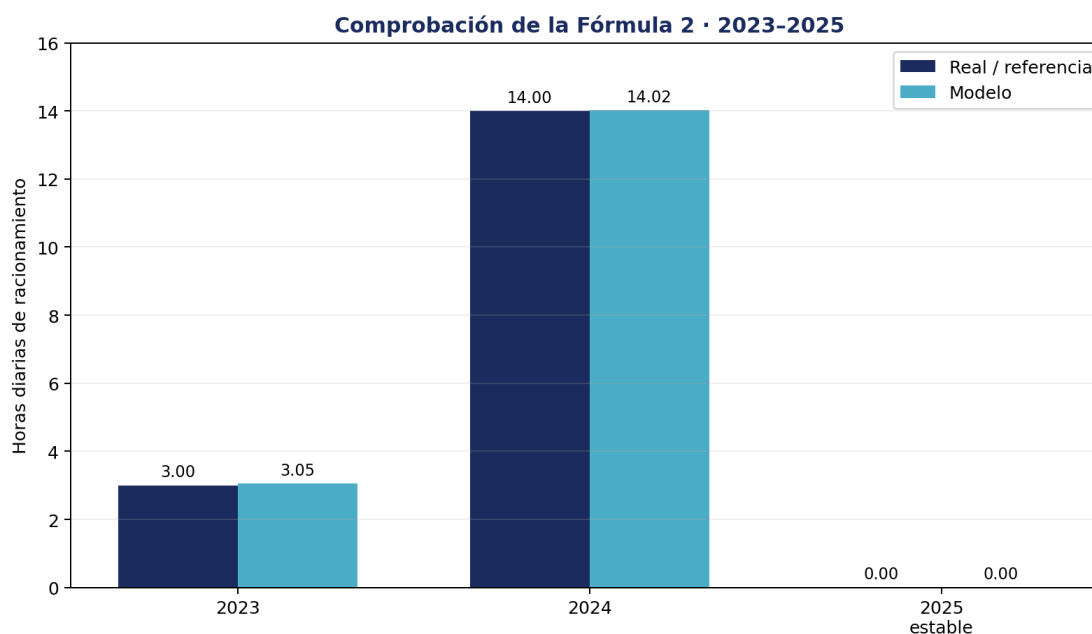


Figura 4. Comparación entre horas reales de referencia y horas calculadas por el modelo.

7. INTERPRETACIÓN DEL MODELO

Los resultados 2023–2024 muestran una estrecha concordancia entre los valores reales y los calculados. La Fórmula 1 reproduce la posición de los mínimos del embalse, mientras que la Fórmula 2 reproduce las horas de racionamiento utilizadas como referencia. La coincidencia obtenida confirma que la cadena $\Delta Z_{\text{sep}} \rightarrow I_T \rightarrow Z(d) \rightarrow H$ conserva la relación principal identificada durante el desarrollo $\text{FGET} \rightarrow \text{VRR} \rightarrow \text{NFF}$.

La secuencia histórica muestra que el modelo distingue con claridad diferentes niveles de severidad hidrológica. A medida que aumenta ΔZ_{sep} , I_T crece y la trayectoria $Z(d)$ se profundiza. Cuando la cota desciende por debajo de 2124 m, la Fórmula 2 comienza a producir valores positivos de H ; cuanto mayor es I_T y menor es Z , mayor es la magnitud calculada. Esta relación resume en una sola cadena matemática la evolución del estiaje y su expresión en horas de racionamiento.

La Fórmula 1 describe la trayectoria temporal del estiaje condicionada por I_T y sitúa el mínimo característico en $d=70.5$. La Fórmula 2 recibe la cota calculada u observada y transforma el estado del embalse en H . Juntas, ambas expresiones forman un modelo compacto, reproducible y de cálculo directo, adecuado para comparar años, construir escenarios de estiaje y seguir la evolución de Mazar durante la temporada seca.

8. CONCLUSIONES

- El modelo de Mazar durante el estiaje se construyó a partir de observaciones reales dentro de una ventana histórica 2017–2025, siguiendo una secuencia de exploración, reducción y formulación matemática.
- FGET permitió explorar relaciones candidatas; VRR redujo variables y escalas hasta d , Z , H , ΔZ_{sep} e I_T ; NFF reorganizó el resultado en la cadena $\Delta Z_{\text{sep}} \rightarrow I_T \rightarrow Z(d) \rightarrow H$.
- La definición del factor Invernal Type incorpora la pérdida real de cota durante septiembre y convierte esa dinámica en un indicador adimensional de severidad; su expresión matemática se presenta en la Ecuación (2).
- La Fórmula 1 reproduce los mínimos de 2023 y 2024 con diferencias relativas de 0.0029 % y 0.0540 %, respectivamente.
- La Fórmula 2 reproduce 3.00 h/día en 2023 y 14.00 h/día en 2024 con diferencias de 1.57 % y 0.12 %, y una diferencia porcentual absoluta media de aproximadamente 0.84 %.
- Para 2025, el modelo entrega $H=0$ con una cota elevada, mientras que los casos 2023–2024 muestran el crecimiento progresivo de H al combinar mayores valores de I_T con cotas más bajas.
- La formulación es parsimoniosa, transparente y de aplicación directa. Su estructura permite actualizar I_T cada año, proyectar $Z(d)$, comparar estiajes y calcular H con una misma arquitectura matemática.

REFERENCIAS

- [1] Operador Nacional de Electricidad CENACE. (2017). Informe Anual 2017. CENACE. <https://www.cenace.gob.ec/informe-anual-2017/>
- [2] Operador Nacional de Electricidad CENACE. (2018). Informe Anual 2018. CENACE. <https://www.cenace.gob.ec/informe-anual-2018/>

- [3] Operador Nacional de Electricidad CENACE. (2019). Informe Anual 2019. CENACE. https://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/informe-anual-cenace-2019-10_compressed-1-100.pdf
- [4] Operador Nacional de Electricidad CENACE. (2020). Informe Anual 2020. Biblioteca institucional CENACE.
- [5] Operador Nacional de Electricidad CENACE. (2021). Informe Anual 2021. Biblioteca institucional CENACE.
- [6] Operador Nacional de Electricidad CENACE. (2022). Informe Anual 2022. Biblioteca institucional CENACE.
- [7] Operador Nacional de Electricidad CENACE. (2023). Informe Anual 2023. Biblioteca institucional CENACE. <https://www.cenace.gob.ec/biblioteca/>
- [8] Operador Nacional de Electricidad CENACE. (2024). Informe Anual 2024. https://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/04/Informe-Anual-CENACE-2024-vf-1-88_c.pdf
- [9] Operador Nacional de Electricidad CENACE. (2025). Informe Anual 2025, Parte 1. https://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2026/03/informe_anual_2025_parte_1.pdf
- [10] Operador Nacional de Electricidad CENACE. Despacho Hidrotérmico de Mediano Plazo aplicado al Complejo Hidroeléctrico Paute Integral. Revista Técnica “energía”. <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/465/579>
- [11] Moncayo Theurer, M. (2026). Formula Genomics and Evolution Theory (FGET) — Teoría Genómica y Evolutiva de las Fórmulas. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.20780971.
- [12] Moncayo Theurer, M. (2026). THEK-VRR — Variable Reduction & Ranking Framework. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.21897648.
- [13] Moncayo Theurer, M. (2026). Nested Formula Framework (NFF): A Hierarchical Framework for Mathematical Discovery Through Recursive Coefficient Nesting. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.20781769.
- [14] Moncayo Theurer, M. (2026). THEK-SPOT — Structural Period Estimation Technique. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.21896398.
- [15] Moncayo Theurer, M. (2026). RRAM — Real-Record Attenuation Method: FGET-VRR-NFF Architecture and Development of the Attenuation Laws. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.22649683.
- [16] Moncayo Theurer, M. (2026). RRAM — Real-Record Attenuation Method: Structural Evolution and Second-Generation Attenuation Law — Paper II. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.22650007.
- [17] Moncayo Theurer, M. (2026). Soil Spring Model (SSM): Validated Empirical Correlations for Soil Spring Coefficient Estimation in Clay Soils Derived Through the Nested Formula Framework (NFF). Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.21447728.
- [18] El Universo. (2023, 26–28 de octubre). Estos son los horarios de apagones en Ecuador por provincia. Referencia de 3 h/día en Costa y 4 h/día en Sierra y Oriente. <https://www.eluniverso.com/noticias/ecuador/horarios-de-cortes-de-luz-en-ecuador-2023-nota/>

[19] Primicias. (2024, 25 de octubre). Estos son los horarios de cortes de luz en Ecuador el 25 de octubre de 2024, de 14 horas. <https://www.primicias.ec/economia/horarios-cortes-luz-ecuador-programacion-empresas-electricas-25octubre-81917/>

[20] Moncayo Theurer, M. (2016). Enfoque de energía sísmica liberada: en busca de las características del comportamiento sísmico de Ecuador e identificación de las amenazas sísmicas. *Alternativas*, 17(3), 224–230. DOI: 10.23878/alternativas.v17i3.231.

[21] Moncayo Theurer, M. (2026). Modelo integrado de Mazar y apagones: reconstrucción cronológica del desarrollo del autor. Documento técnico de trabajo, THEK Research Institute.



Transforming Knowledge into Solutions.

