



Análisis de la variación de la superficie del Lago Caburgua mediante imágenes satelitales y algoritmos de clustering.



Frugone R.¹ Llanos A.¹ Neira F.¹ Huerta M.² Rodríguez M.²

Universidad Católica del Maule

Introducción y Objetivos

El Lago Caburgua es uno de los recursos hídricos más grandes de la región de la Araucanía, el cual ha mostrado fluctuaciones preocupantes en su superficie en los últimos años.

- **Objetivo de Investigación:** Realizar un modelo de estimación de la superficie del Lago Caburgua mediante Clustering de imágenes satelitales
- **Método:** Implementar Clustering y modelos ARIMA para predecir fluctuaciones.

Los factores meteorológicos utilizados en este estudio son:

- Precipitaciones Anuales
- Temperaturas Máximas
- Fenómenos Climáticos

El factor antrópico relacionado con la disminución del lago corresponde a la construcción de un dique en el río Trafampulli, uno de sus afluentes, señalado como una de las causas principales (Sustenta Pucón, 2021).



Figura 1. Lago Caburgua en 1984



Figura 2. Lago Caburgua en 2022

Revisión de Literatura y Contribuciones

Los autores Ozdemir, Yaqub & Ozkan (2023), destacan la importancia de realizar estudios de predicción de niveles de agua en lagos y embalses, especialmente en el contexto del cambio climático y la escasez de agua, debido a que esto es crucial para una gestión eficiente de los recursos hídricos. También se recopilan diferentes algoritmos utilizados para predecir niveles de agua en lagos, tales como:

- Modelos basados en series de tiempo (ARIMA, SARIMA, ARMA, etc.)
- Redes Neuronales
- Árboles de decisión

Además presentan la importancia de evaluar y comparar el rendimiento de estos modelos para mejorar la precisión de las predicciones. Se menciona la necesidad de seguir avanzando en el desarrollo de técnicas de modelado basadas en inteligencia artificial, y señalan que la integración de estos modelos de predicción con sistemas de gestión del agua puede mejorar la toma de decisiones y la planificación de medidas de adaptación frente a eventos extremos como sequías.

Materiales y Métodos

Recopilación de imágenes satelitales desde Google Earth Time-Lapse (1984-2022)

Estimación de superficie utilizando Clustering

Determinación de factores climáticos y antrópicos que influyen en las fluctuaciones del lago

Predicción de la superficie utilizando modelo ARIMA

Resultados

Aplicado el método de Clustering k-means en las imágenes satelitales, se logra obtener la superficie estimada para todos los datos anuales recolectados.

Con estos datos, se obtuvieron predicciones de las variables climáticas predictoras, para finalmente implementar el modelo predictivo.

Así mismo, se plantearon 2 escenarios distintos para la predicción de la superficie del cuerpo de agua, en dónde se desea visualizar como puede afectar una posible reconstrucción del dique en 2026. Además, se validó la precisión del modelo ARIMA aplicado con una prueba de Ljung-Box, obteniendo un buen ajuste del modelo con un 95 % de confianza.

El modelo predictivo utilizando ARIMA (3,0,1) con las variables predictoras mencionadas se visualiza de la siguiente manera:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1,t} + \beta_2 X_{2,t} + \beta_3 X_{3,t} + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \phi_3 Y_{t-3} + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \epsilon_t \quad (1)$$

- Y_t : Superficie del lago en el tiempo t.
- $X_{1,t}$: Precipitaciones en el tiempo t.
- $X_{2,t}$: Temperatura máxima en el tiempo t.
- $X_{3,t}$: Presencia dique en el tiempo t (0:Ausente, 1: Presente).
- β_0 : Intercepto.
- β_1 : Coef. asociado a precipitaciones.
- β_2 : Coef. asociado a Temperatura máxima.
- β_3 : Coef. asociado a presencia del dique.
- ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 : Coef. asociado a cada término autorregresivo.
- θ_1 : Coef. asociado a cada término de media móvil.
- ϵ_t : Error en el tiempo t.

De esta forma, el modelo queda expresado de la siguiente manera:

$$Y_t = 56,412 - 0,043 \cdot X_{1,t} - 0,069 \cdot X_{2,t} - 0,553 \cdot X_{3,t} + 0,048 \cdot Y_{t-1} + 0,246 \cdot Y_{t-2} + 0,155 \cdot Y_{t-3} + 0,292 \cdot \epsilon_{t-1} + \epsilon_t \quad (2)$$

Entrenamiento del Modelo

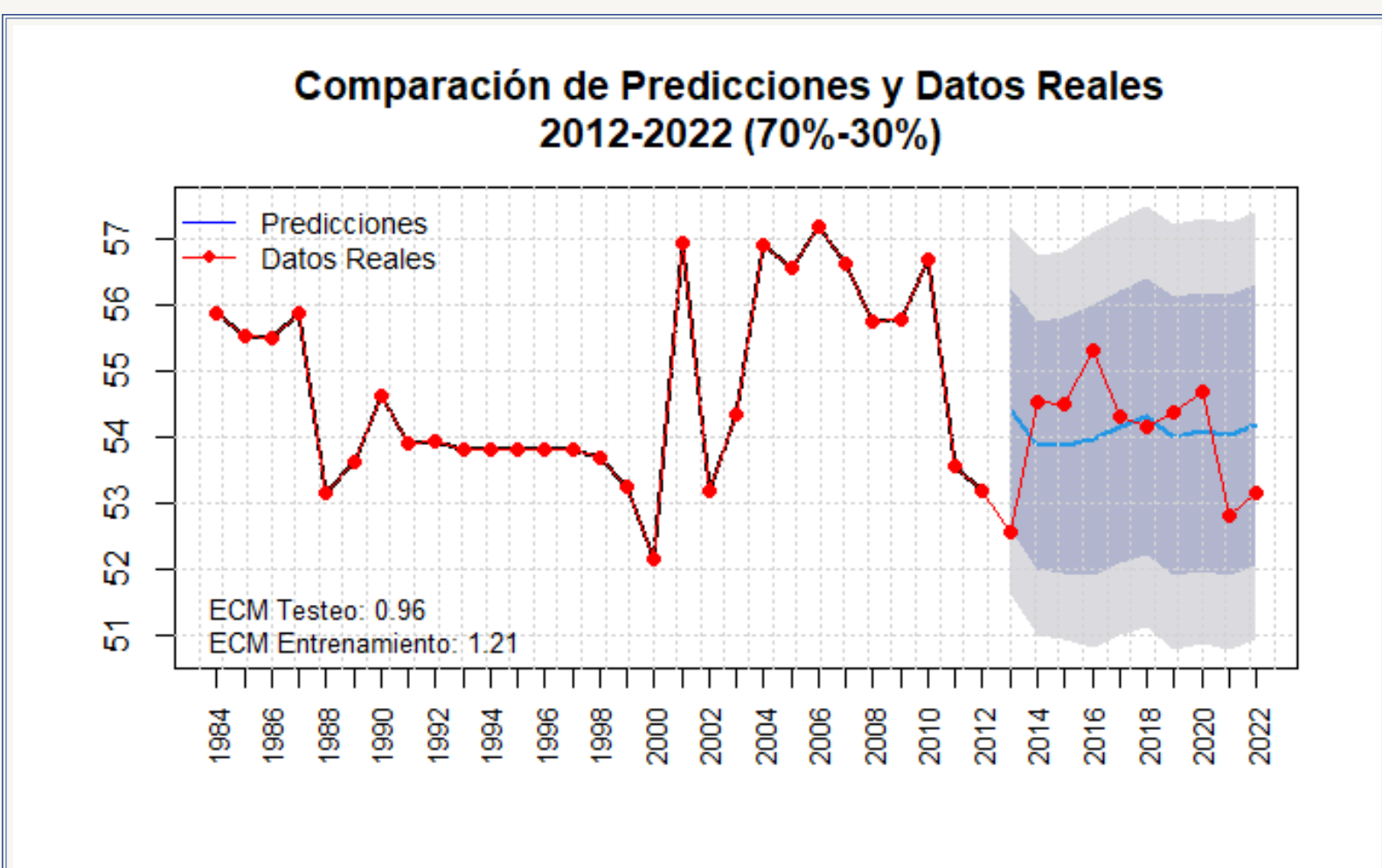


Figura 3. Modelo predictivo utilizando el 70 % de los datos

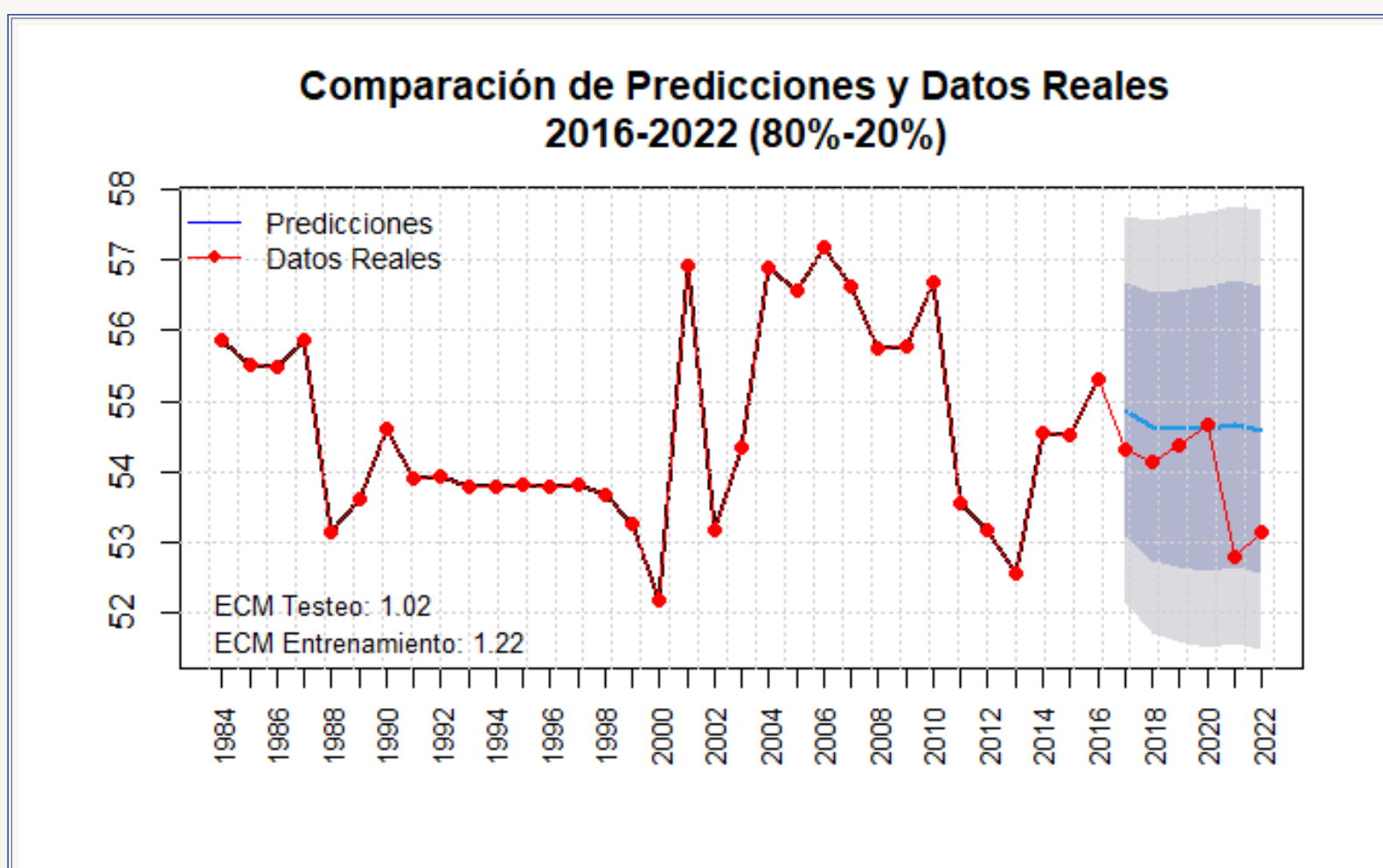


Figura 4. Modelo predictivo utilizando el 80 % de los datos

Predicciones

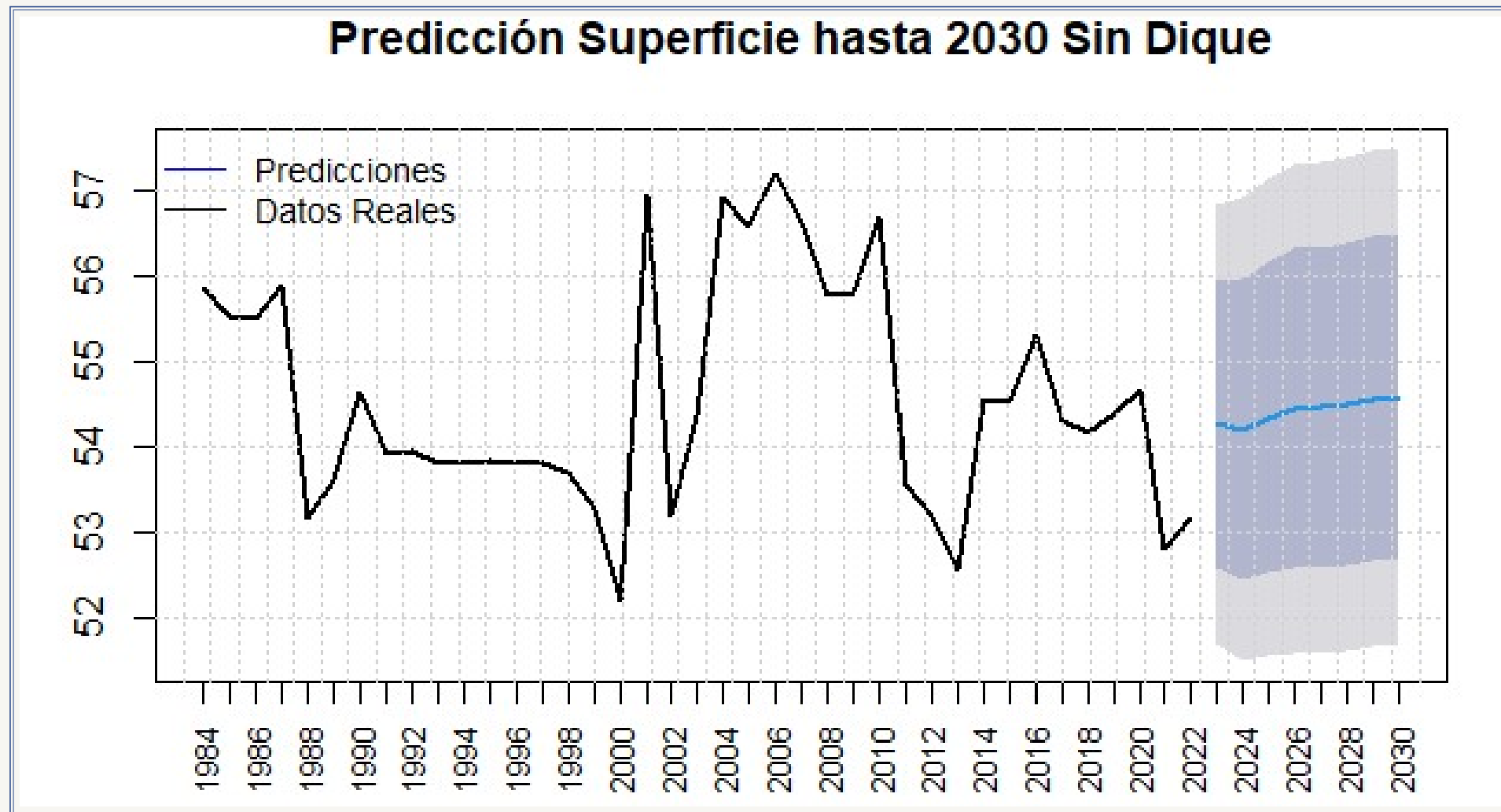


Figura 5. Predicción sin reinstalación del Dique en el Río Trafampulli

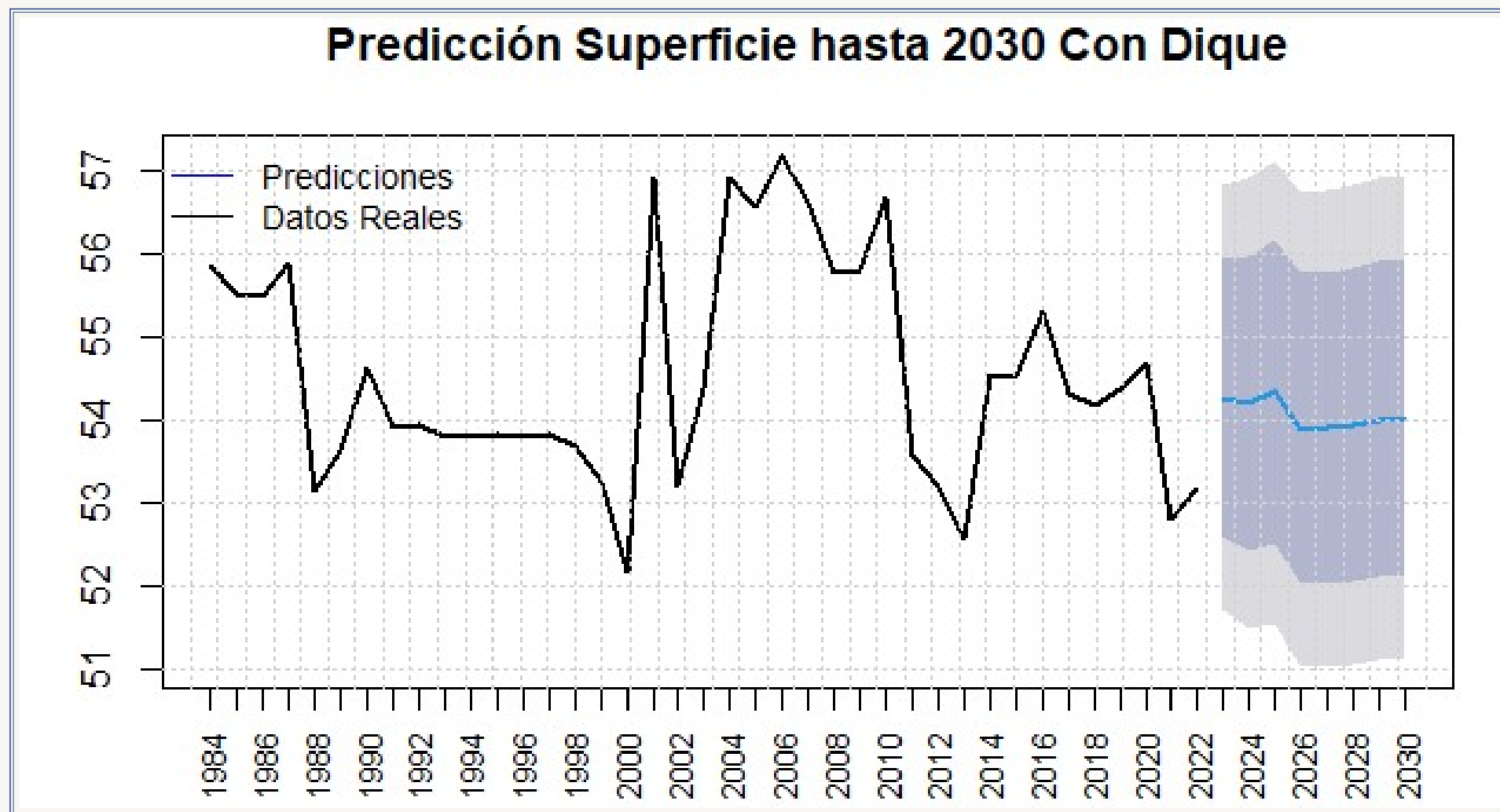


Figura 6. Predicción con reinstalación del Dique en el Río Trafampulli en el año 2026

Conclusiones

Factores Clave	Se identificaron las temperaturas, precipitaciones y la presencia del dique como factores cruciales en la variación de la superficie del lago.
Predicciones	Las temperaturas seguirán en aumento y las precipitaciones se mantendrán bajo el promedio. Además, se anticipa una disminución de la superficie del lago si el dique es reinstalado en los próximos años.
Desafíos y Recomendaciones	Se sugiere realizar monitoreo continuo sobre las fluctuaciones del lago y el desarrollo de estrategias flexibles para gestionar el dique en el Río Trafampulli.

Cuadro 1. Resumen de Conclusiones del Estudio

Anexos y Referencias



Códigos



Referencias



Variación Lago