III CONGRESO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS 2025

Análisis comparativo entre estación hidrométrica profesional con sensor de radar y estación hidrométrica elaborada por INSIVUMEH con sensor ultrasónico

Departamento de Investigación y Servicios Hídricos – INSIVUMEH

MSc. Ing. Agr. Francisco Roque

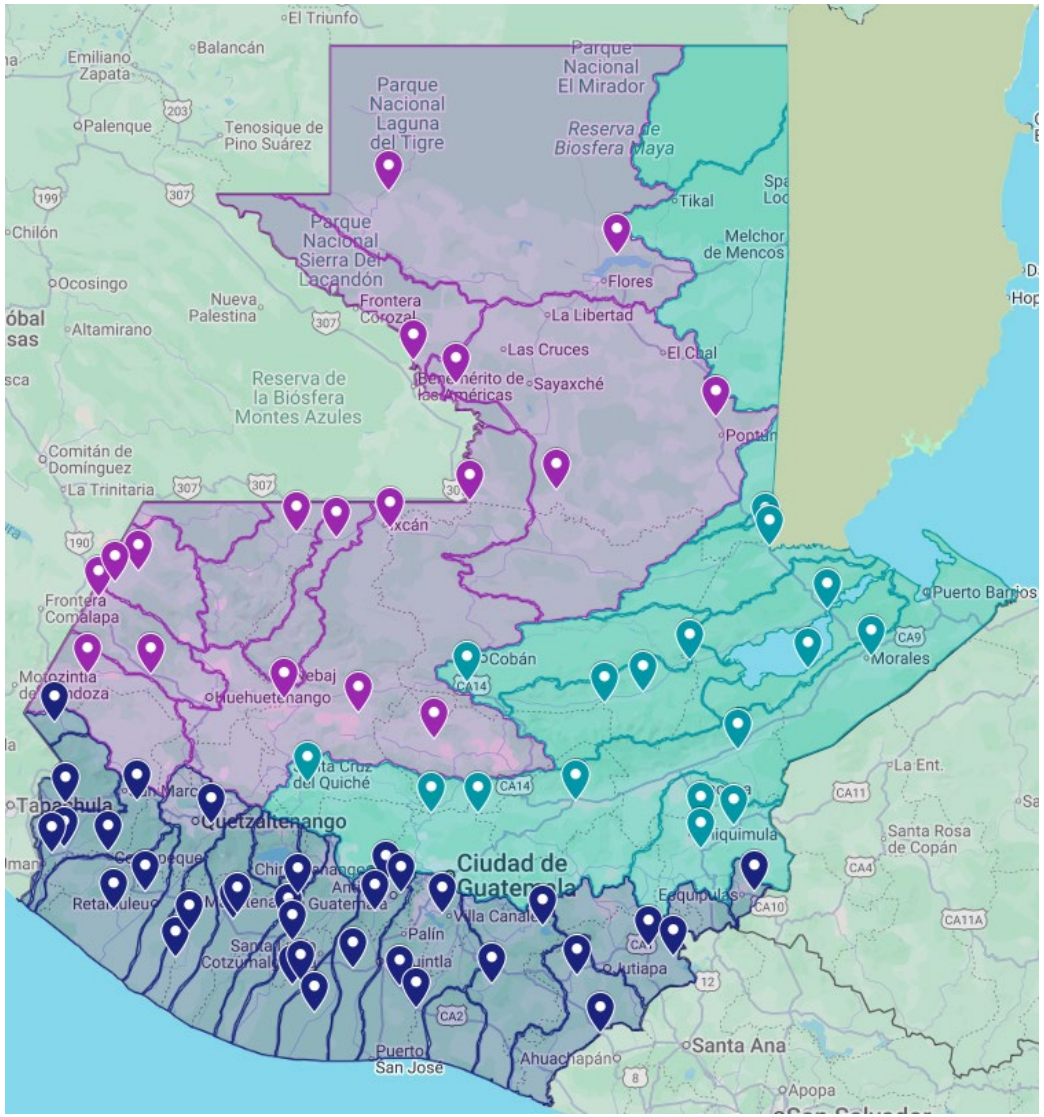
02/09/2025

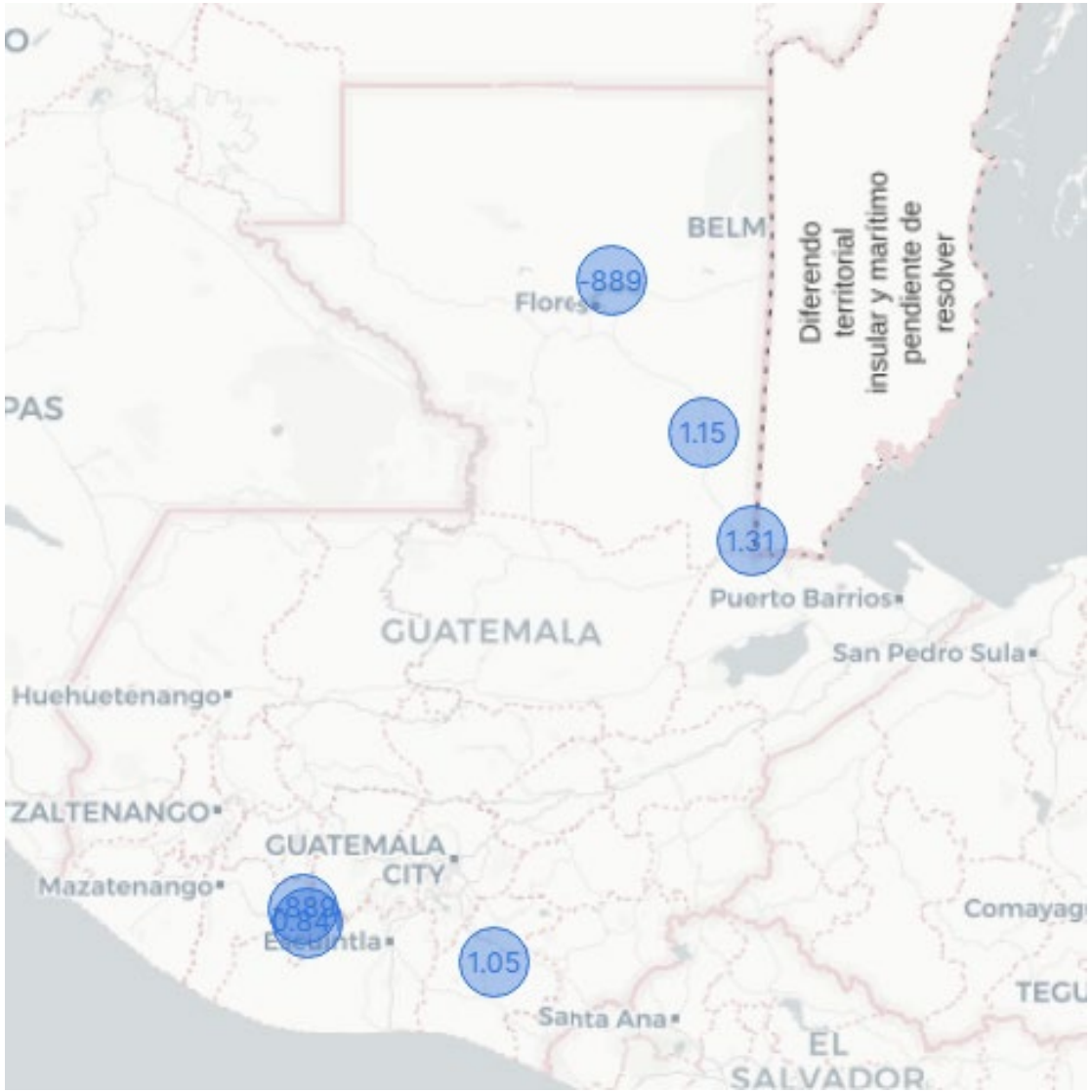
Breve introducción

- El monitoreo preciso y continuo de los recursos hídricos es crucial para la gestión eficiente del agua y la prevención de desastres naturales como inundaciones y sequías.

- Con el fin de mejorar el monitoreo continuo, se realizó un análisis comparativo entre una estación hidrométrica profesional con sensor de radar marca Sutron y el prototipo (en ese entonces) de estación hidrométrica desarrollada por INSIVUMEH con sensor ultrasónico y elaborada por la sección de Instrumentación del Departamento de Investigación y Servicios Hídricos.




El Triunfo
Balancán
Emiliano Zapata
Palenque
Tenosique de Pino Suárez
Parque Nacional Laguna del Tigre
Parque Nacional El Mirador
Reserva de Biosfera Maya
Tikal
Melchor de Mencos
Chilón
Ocosingo
Altamirano
Nueva Palestina
Parque Nacional Sierra Del Lacandón
Frontera Corozal
Flores
La Libertad
Las Cruces
El Chal
Sayaxché
Reserva de la Biósfera Montes Azules
Comitán de Domínguez
La Trinitaria
Frontera Comalapa
Cobán
Puerto Barrios
Morales
Huehuetenango
Santa Cruz del Quiché
Quetzaltenango
Ciudad de Guatemala
Villa Canales
Palín
Jutiapa
Esquipulas
Santa Rosa de Copán
La Ent.
Santa Ana
Ahuachapán
Apopa
Puerto San José
Retalhuleu
Santa Cotzumalgo


BELM
-889
Flores
Diferendo territorial insular y marítimo pendiente de resolver
1.15
1.31
Puerto Barrios
GUATEMALA
San Pedro Sula
Huehuetenango
ZALTENANGO
GUATEMALA CITY
Mazatenango
-889
0.84
Escuintla
1.05
Santa Ana
EL SALVADOR

Área del estudio

- Para esta investigación, las estaciones fueron ubicadas en el Comando Naval del Pacífico en Puerto San José, Escuintla. La variable observada fue el nivel de la marea y los datos utilizados para la investigación comprenden desde el 16 de octubre de 2024 al 04 de enero de 2025 (80 días).



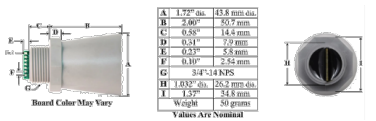


Generalidades

- El estudio fue realizado a partir del 19 de agosto de 2024 y se entregaron resultados a las autoridades el 15 de enero de 2025 (~ 5 meses).
- El estudio se enfoca en la comparación entre los datos proporcionados por cada estación.
- Los datos se tomaban cada 5 minutos por ambas estaciones (al mismo tiempo).
- Las estaciones fueron ubicadas de forma en que proporcionaran “el mismo nivel” de la marea.
- Se obtuvieron aproximadamente ~ +20,000 datos de marea por estación, con los cuales se realizaron los análisis estadísticos.
- El prototipo de estación hidrométrica con sensor ultrasónico, fue creado y ensamblado por la sección de Instrumentación del Departamento de Hidrología – INSIVUMEH.







Objetivo general

- Realizar un análisis comparativo entre una estación hidrométrica profesional con sensor de radar y el prototipo desarrollado por el personal de INSIVUMEH con sensor ultrasónico, en cuanto a sus características, ventajas y desventajas de la calidad de los datos proporcionados.

Justificación

El presente proyecto se justifica en la **necesidad de optimizar el monitoreo hidrométrico en Guatemala**, buscando **soluciones eficientes y económicamente viables**. Actualmente, las estaciones hidrométricas profesionales con sensores de radar ofrecen datos de alta calidad, pero su costo de adquisición e instalación representa una inversión considerable, a menudo, fuera del alcance de presupuestos limitados como los que maneja INSIVUMEH. Esta limitación económica restringe la densificación de la red de monitoreo, lo cual impacta negativamente la capacidad de gestión de recursos hídricos y la prevención de desastres naturales.

En este contexto, el **desarrollo de prototipos económicamente accesibles**, como el que ha creado el personal de INSIVUMEH, **representa una alternativa** prometedora. Sin embargo, **es crucial evaluar rigurosamente la calidad de los datos** proporcionados por estos prototipos en comparación con los equipos profesionales.

Metodología

Sensor de radar

- Rango de medición 0.8 m a 35 m (dependiendo de las condiciones del entorno y del ángulo de instalación.
- Precisión de ±2 mm (bajo condiciones ideales).
- Banda K (24 GHz).
- Salidas analógicas 4-20 mA.
- Salidas digitales SDI-12 y RS-485.
- Ángulo de apertura del haz 8 grados.
- Voltaje de operación 9-28 VDC.
- Temperatura de operación -40°C a +60°C.

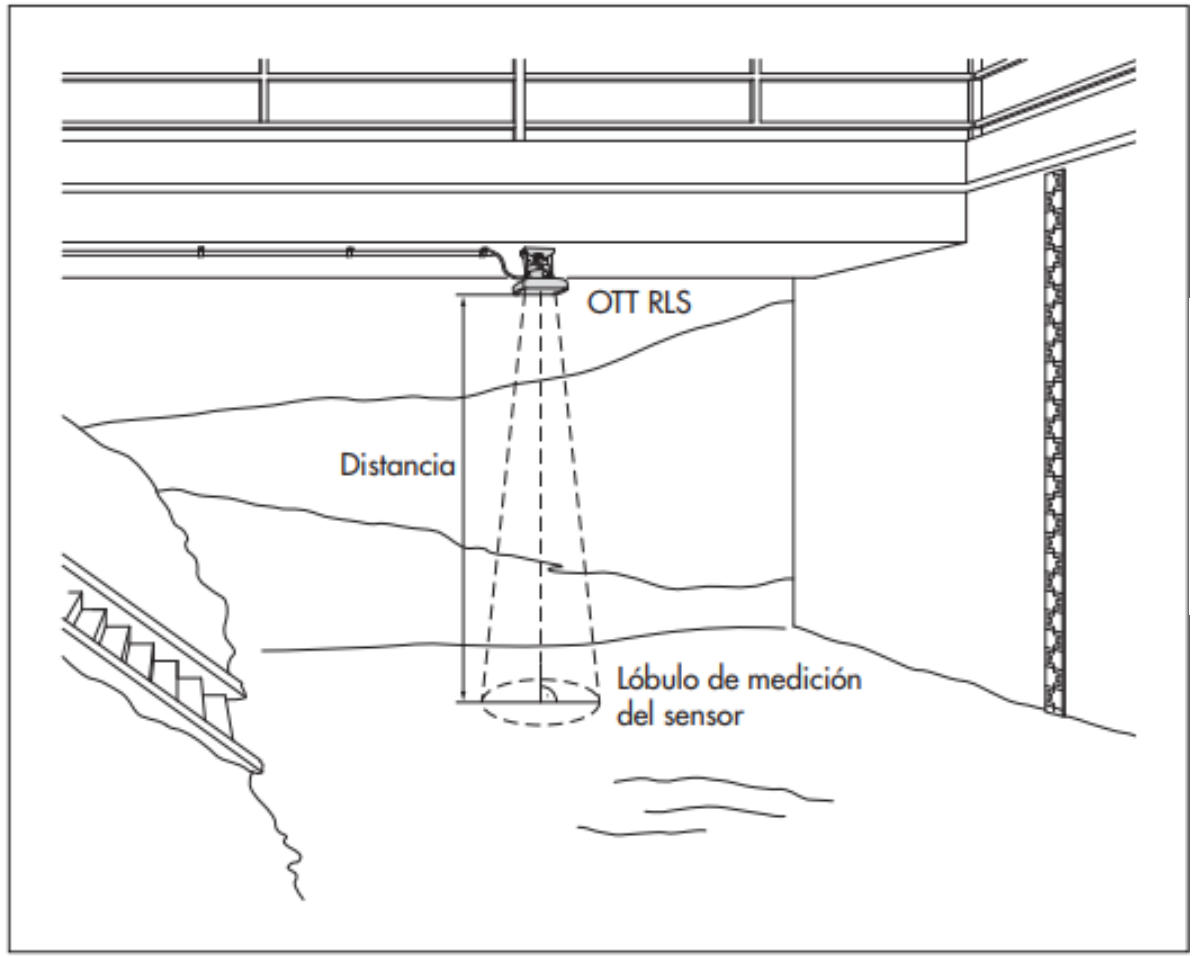


Sensor ultrasónico

- Rango de medición de 1 a 10 m (dependiendo de las condiciones del entorno y el ángulo de instalación.
- Resolución de 1mm.
- Precisión ±1% de la lectura a temperatura ambiente.
- Frecuencia ultrasónica 42 kHz.
- Voltaje de operación 2.7 V a 5.5 V.
- Corriente típica 4.4 mA (promedio durante la operación).
- Salida serial RS232, 9600 BAUDIOS
- Salida PWM pulso con una duración proporcional a la distancia.
- Tiempo de respuesta 100 ms.
- Ángulo del haz ≈ 5° (controlado).
- Temperatura de operación -40 °C a +70 °C.
- Humedad hasta el 100% (sellado para exteriores).



Metodología





Funcionamiento de los sensores utilizados

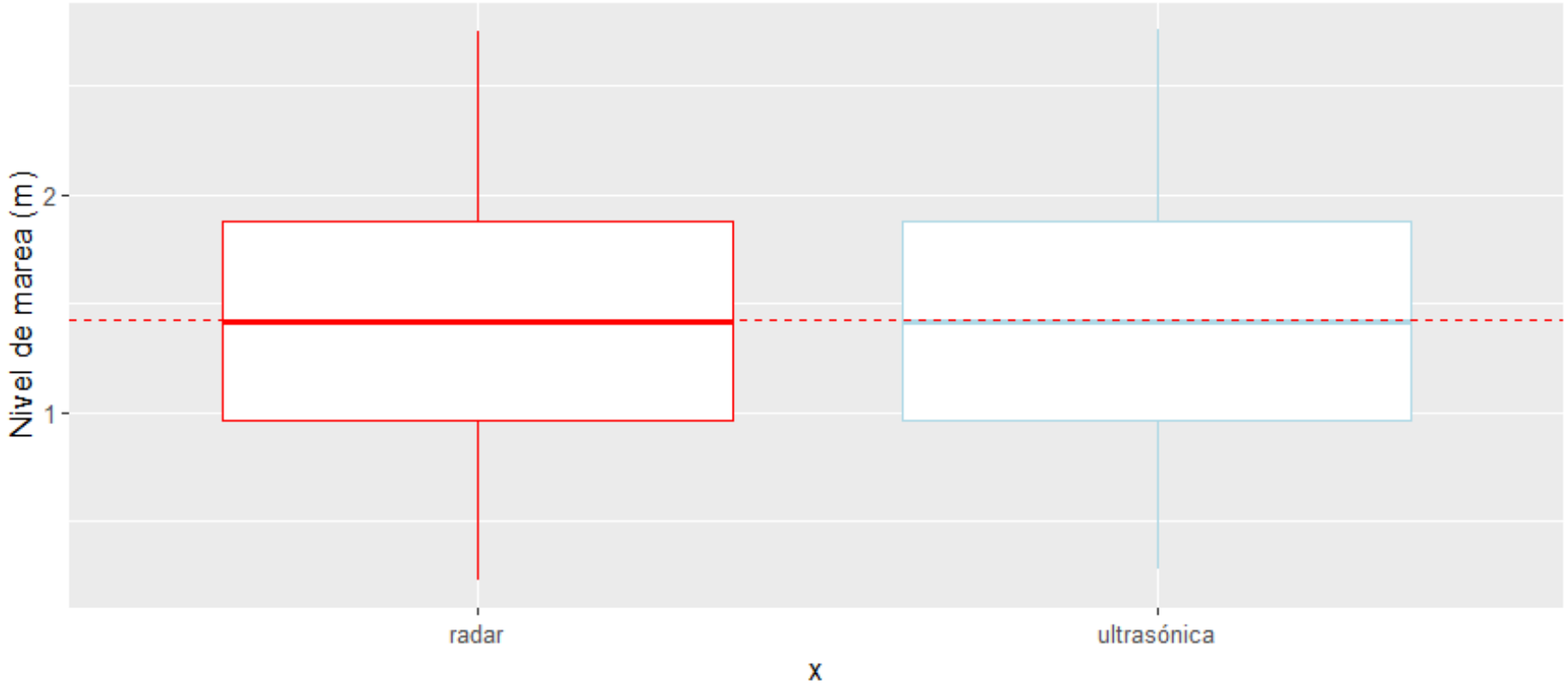
Análisis comparativo

Metodología

Métodos estadísticos:

- Normalidad
- Prueba comparativa
  - U de Mann-Whitney
- Análisis de regresión
  - Coeficiente de correlación de Spearman
- $f(x)$ de la regresión lineal

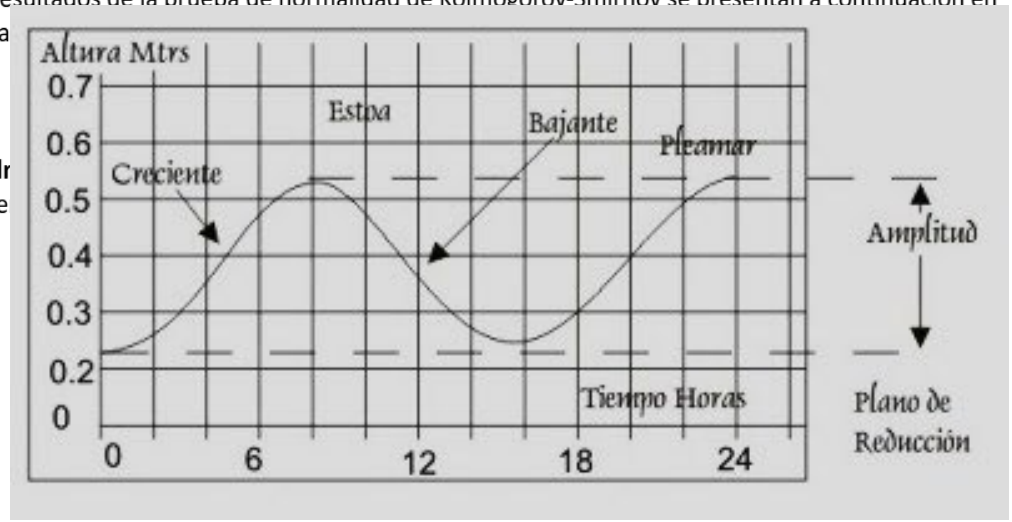
Distribución de los datos de ambas estaciones



Resultados

Prueba de normalidad

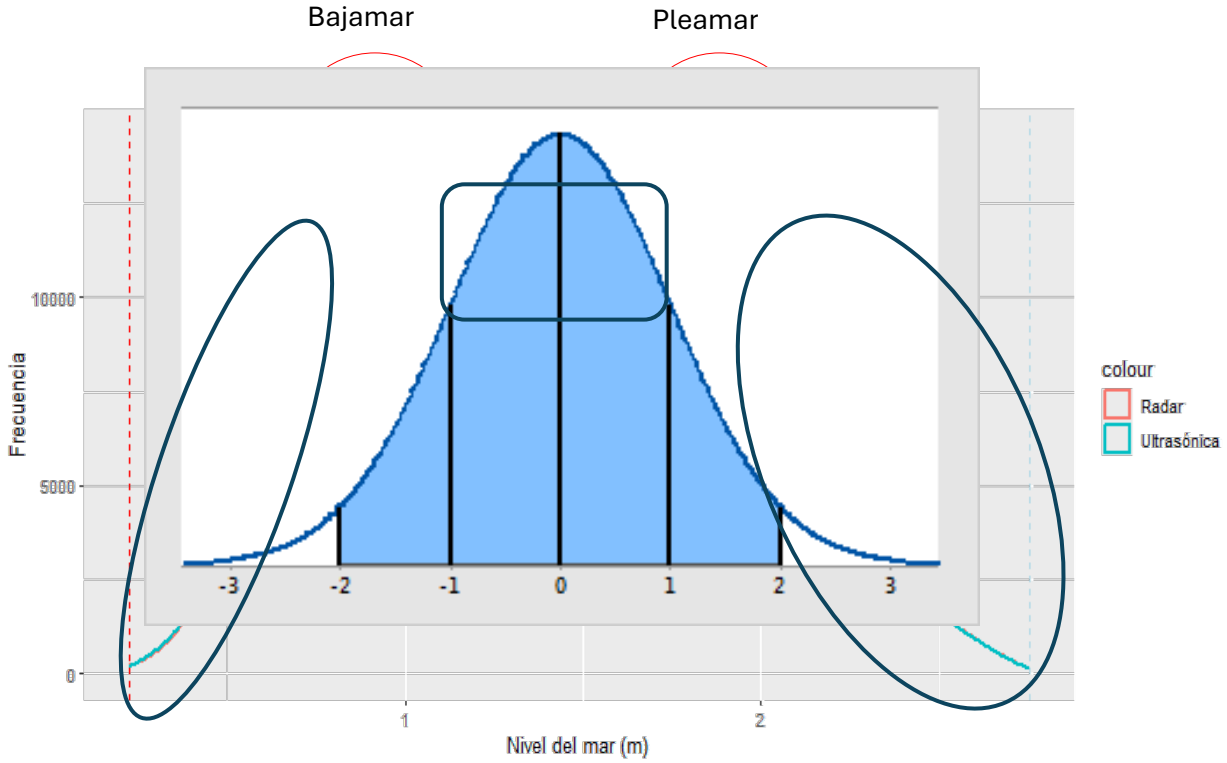
Los resultados de la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov se presentan a continuación en el cua



Cuadr
prove

Cuadro 2. Resultados de la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para los datos provenientes del prototipo de estación hidrométrica con sensor ultrasónico.

Datos: Sensor ultrasónico	
Prueba: Kolmogorov-Smirnov	
D	Sig.
0.069385	p-value < 2.2e-16



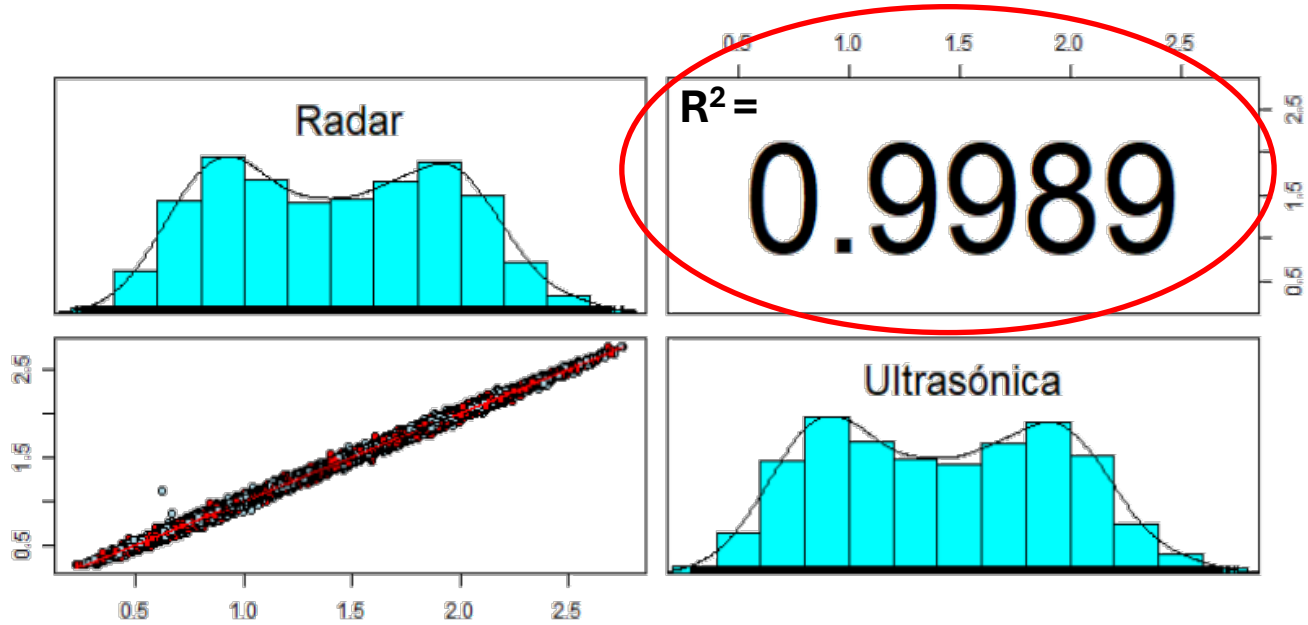
Resultados

Cuadro 3. Análisis comparativo no paramétrico mediante la prueba de U de Mann-Whitney entre los datos provenientes del sensor de radar y el sensor ultrasónico.

Datos: Sensor de radar vs ultrasónico Prueba: U de Mann-Whitney	
U	Sig.
219,283,439	p-value = 0.9327

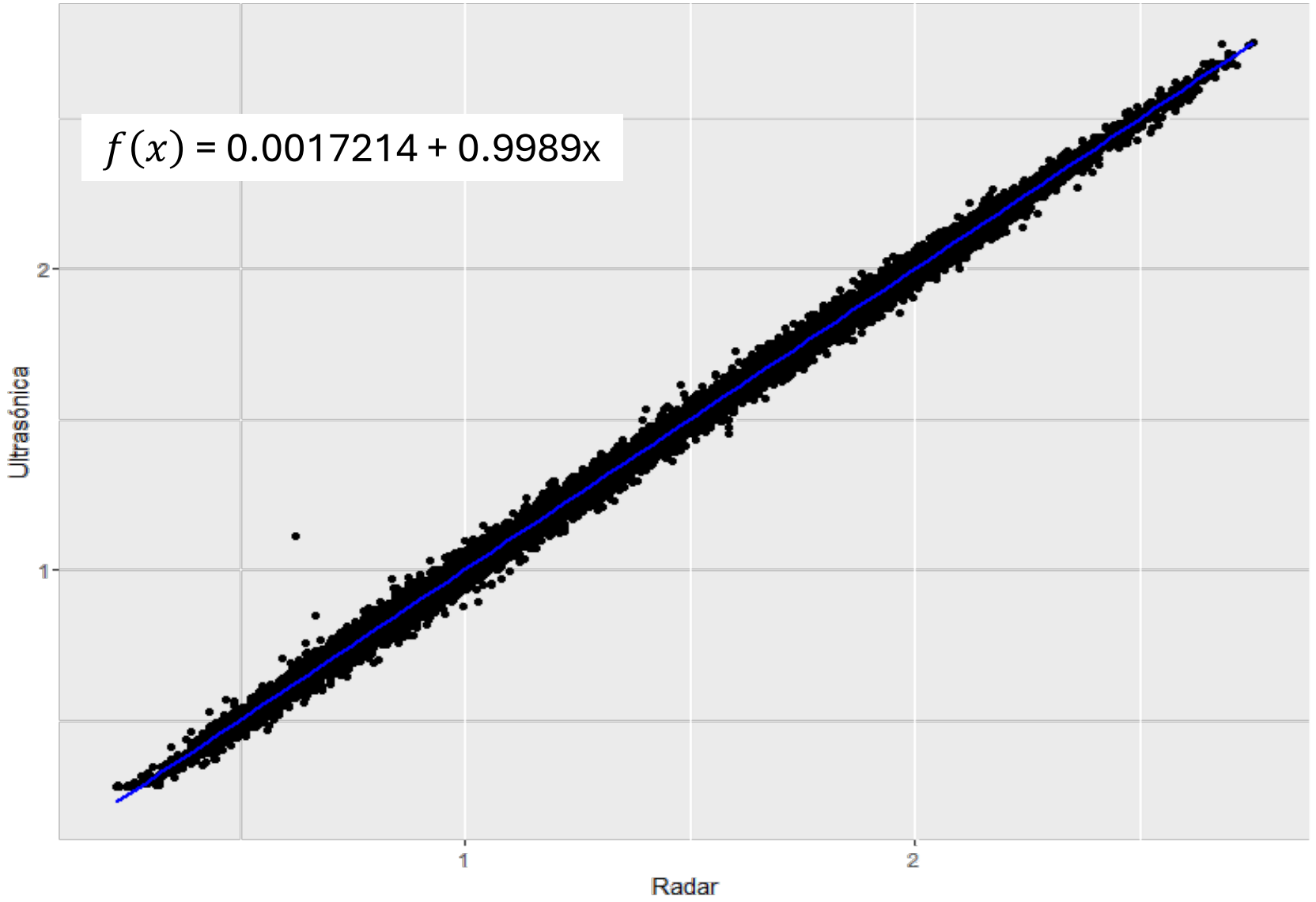
Análisis de correlación

El análisis de correlación utilizado, fue el coeficiente de correlación de Spearman y los resultados se presentan a continuación



Resultados

Regresión lineal y función $f(x)$



Conclusiones

- La estación hidrométrica de INSIVUMEH se reduce ~ a 1/5 del precio de una estación profesional.

- Ambas estaciones pueden obtener los datos de nivel de un cuerpo de agua sin diferencia significativa.

- Los tipos de telemetría son diferentes, por lo que se debe tomar en cuenta el sitio de instalación de ambas estaciones.

- La limitante radica en las distancias que cada sensor puede obtener datos y los vatios utilizados por cada sistema, por lo que debe ser tomado en cuenta la utilización de baterías de respaldo.

Recomendaciones

- En el caso en que se quiera disminuir los costos para la implementación de estaciones hidrométricas que midan el nivel de cuerpos de agua, se recomienda el uso de las estaciones desarrolladas por INSIVUMEH con sensor ultrasónico.

- Se recomienda utilizar sensores ultrasónicos equipados con compensación de temperatura.

- Se recomienda realizar un análisis previo sobre la ubicación del sensor destinado a la medición del nivel de agua. Aunque los sensores ultrasónicos son una opción igual de válida que los de radar, presentan limitaciones en cuanto a la distancia máxima de medición.

Organizado por:

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

FUNCAGUA por la vida

Global Water Partnership Central America
GWP Guatemala

ICC
Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

The Nature Conservancy Guatemala

WCS

WWF

III CONGRESO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS 2025

¡Muchas gracias!

faroque@insivumeh.gob.gt

aoreyes@insivumeh.gob.gt