VI CONGRESO NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO
& IX SIMPOSIO NACIONAL MARINO COSTERO

Estimación espacial de la precipitación acumulada en Guatemala mediante ensamble multi-modelo

Vicerrectoría de Investigación y Proyección –VRIP-
Unidad de Datos e Información Estratégica –UIE-
Universidad Rafael Landivar

Francisco A. Roque Sosa
Diego Alejandro Cuque Salazar

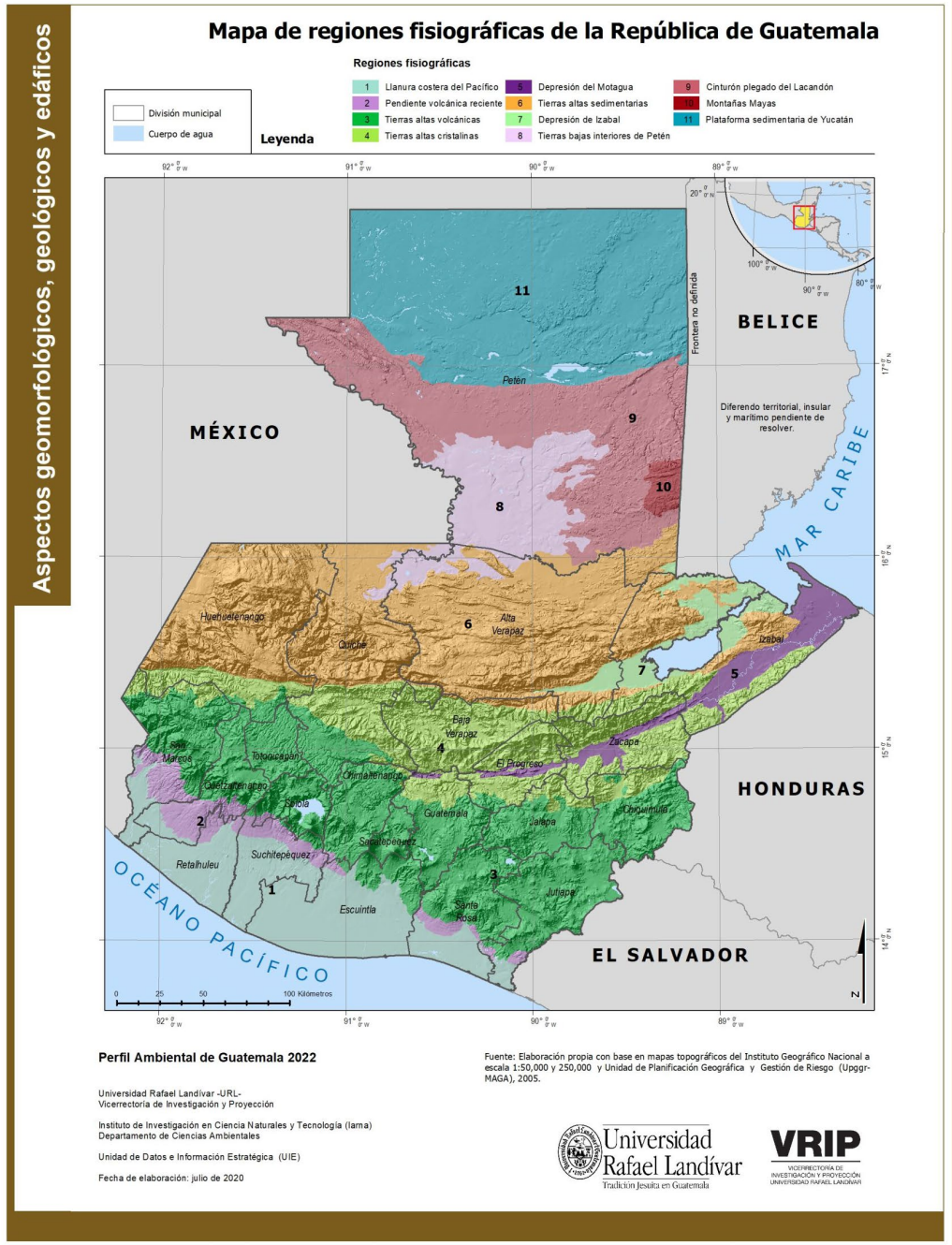
14/10/2026

Introducción

- Guatemala presenta patrones espacio-temporales de lluvia modulados por la interacción entre su orografía compleja y procesos atmosféricos a gran escala (Obrist-Farner et al., 2023). La cordillera central actúa como barrera orográfica que separa dos dominios climáticos: la vertiente del Caribe y la del Pacífico (Winter et al., 2020).

- La representación precisa espacio-temporal de los patrones de lluvia es un insumo esencial para numerosos productos ambientales. Sin embargo, las estimaciones satelitales de lluvia, así como los valores *in situ* tomados por estaciones meteorológicas, tienen sus limitaciones y sesgos o incertidumbre en los modelos y fuentes de información actual (Baez-Villanueva et al., 2020).

- **Densidad de estaciones (OMM):**
  - Zonas montañosas: 250 km^2 (~ 436 estaciones)
  - Llanuras y planicies: 500 km^2 (~ 218 estaciones)

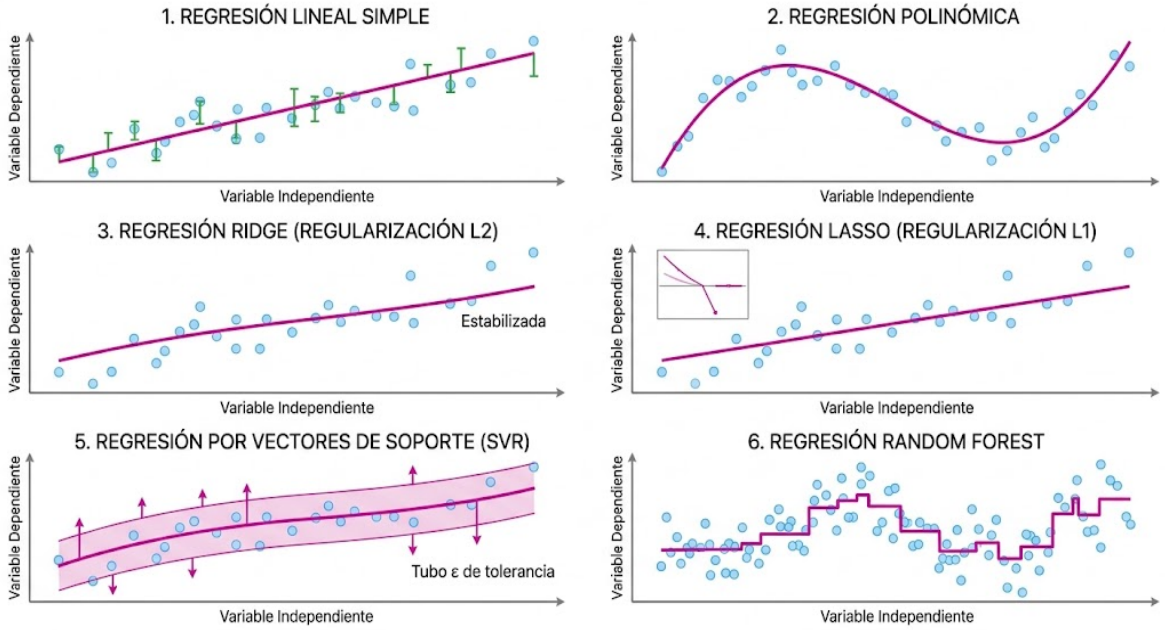


Antecedentes

Diferentes instituciones privadas y agencias de gobierno han creado diferentes métodos para la estimación de la precipitación en áreas con baja densidad de estaciones meteorológicas.

País / Región	Modelo / Infraestructura ML	Algoritmos de Ensamble	Base de Datos Generada
Global / EE. UU.	NMME / NOAA-NASA	Stacking, **Random Forest**, MLR	Históricos e hiper-pronósticos globales
UE / Suiza	CHELSA	U-Net, **Random Forest**	Precipitación climatológica 1 km (1979–pres.)
Brasil	MAPNet (INPE)	CNN, U-Net architecture	Cobertura regional de América del Sur
China	GBQ CMIP6 Ensemble	ConvLSTM, XGBoost, GBQ	Precipitación grillada histórica a nivel de cuenca
India	Multi-Source Satellite ML	LightGBM, DNN, **Random Forest**	Malla histórica de alta resolución para el Monzón

Las técnicas de ensambles multimodelo (Multi-Model Ensembles o MME) basados en Machine Learning (ML) y Deep Learning (DL), se utilizan globalmente para corregir sesgos de modelos numéricos de predicción, mejorar la precisión espacial y **generar reconstrucciones históricas** de alta resolución (Papacharalampus et al., 2023).



GloH2O

GloH2O API MSWEP Product Contact

MSWEP

Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation

MSWEP provides hourly 0.1° resolution precipitation data from1979 to the present with a 2-hour delay.

National Centers for Environmental Information
NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION

Search NCEI

Home Products Services Resources News Contact About

data and applications to the cloud. This upgrade may result in temporary data access delays. Please see our cloud migration overview and freque
urces. Check the NCEI Alerts page for impacted products and datasets.

Home / Products / Weather and Climate Models / North American Multi-Model Ensemble (NMME)

North American Multi-Model Ensemble (NMME)

PRINCETON UNIVERSITY

Contact & Directions Employee Resources Log in Search

CIMES

Cooperative Institute for Modeling the Earth System

A Princeton University and Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Collaboration

About Us Research Education & Outreach News & Announcements Job Opportunities

Home » Testing machine learning methods to improve ensemble-based data assimilation

Testing machine learning methods to improve ensemble-based data assimilation

Hosts: Feiyu Lu and Mitch Bushuk

CHELSA

Datasets Models Tutorials About Download

CHELSA

Providing high resolution climate data for all

Explore the data behind the increasing occurence of multi-year drought

Climate data for the Canary Islands at unpreceded resolution…

Climate data since the last glacial maximum

IMPORTANT: Some datasets are still showing gaps especially in recent years. We are updating these at the moment, so please bear with us for the moment. We will anounce the compeletion as soon as we finished it…

Meet the team behind CHELSA…

Remote Sensing of Environment 239 (2020) 111606

Contents lists available at ScienceDirect

Remote Sensing of Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rse



RF-MEP: A novel Random Forest method for merging gridded precipitation products and ground-based measurements

Oscar M. Baez-Villanueva[a,b,*], Mauricio Zambrano-Bigiarini[c,d], Hylke E. Beck[e], Ian McNamara[a], Lars Ribbe[a], Alexandra Nauditt[a], Christian Birkel[f,g], Koen Verbist[h], Juan Diego Giraldo-Osorio[i], Nguyen Xuan Thinh[b]

- Baez-Villanueva y colaboradores (2020), presentan el procedimiento de fusión basado en Random Forest.

- Combina fuentes de información:
  - Mediciones en superficie.
  - Productos de precipitación.
  - Características relacionadas con la topografía.

- Resultados: obtiene un producto utilizable en zonas con baja densidad de estaciones meteorológicas.

Comparison of tree-based ensemble algorithms for merging satellite and earth-observed precipitation data at the daily time scale

Georgia Papacharalampous[1,*], Hristos Tyralis[2], Anastasios Doulamis[3], Nikolaos Doulamis[4]

[1] Department of Topography, School of Rural, Surveying and Geoinformatics Engineering, National Technical University of Athens, Iroon Polytechniou 5, 157 80 Zografou, Greece (papacharalampous.georgia@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-5446-954X)

[2] Department of Topography, School of Rural, Surveying and Geoinformatics Engineering, National Technical University of Athens, Iroon Polytechniou 5, 157 80 Zografou, Greece (montchrister@gmail.com, hristos@itia.ntua.gr, https://orcid.org/0000-0002-8932-4997)

- Papacharalampous y colaboradores (2023) presentan una comparación entre algoritmos que ensamblan fuentes de información satelital y datos observados en tierra.
  - Random Forest.
  - Gradient Boosting Machines (GBM).
  - Extreme Gradient Boosting (XGBoost).

- Resultados: la comparación indica que XGBoost es el mejor algoritmo, seguido por RF y por último GBM.

Metodología
Fuentes CHIRPS y PERSIANN

Cualidades

- CHIRPS (5km):
  - Integra datos satelitales y estaciones meteorológicas.
  - En Guatemala refleja una captura consistente de los acumulados mensuales y estacionales.
  - Refleja los períodos secos.

- PERSIANN (4km):
  - Integra datos satelitales (IR) y redes neuronales artificiales (ANN).
  - Sensible a sistemas de convección locales.
  - Es capaz de detectar formación y paso de ondas del este y tormentas en la Bocacosta.
  - Detecta y clasifica la textura y estructura de las nubes mediante las ANN.

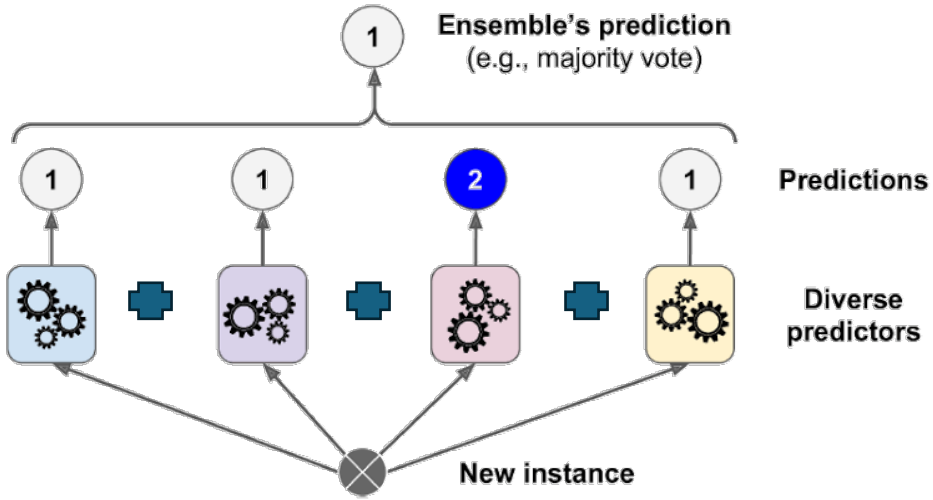
Limitaciones

- Limitaciones espaciales (5 y 4 kilómetros):
- Ambos modelos no toman en cuenta aspectos orográficos.
- CHIRPS:
  - Subestimación de lluvias orográficas.
  - Tiende a suavizar los picos de precipitaciones.
  - Pérdida de detalles en barreras topográficas estrechas como en el cambio entre zonas de planicie de la Bocacosta y las laderas volcánicas.

- PERSIANN:
  - Al depender fuertemente de la °t de la cima de las nubes, las ANN pueden clasificar cirros fríos (no precipitantes) como zonas de lluvias intensas.
  - Inestabilidad por falta de ajustes continuos de estaciones meteorológicas.

Ensambles multi-modelo (MME):

- Estos ensambles combinan salidas de múltiples sistemas de predicción para reducir la incertidumbre inherente a los modelos numéricos individuales, mejorando tanto la precisión determinista como la caracterización probabilística de la precipitación (Xu et al., 2020).



Ensambles:

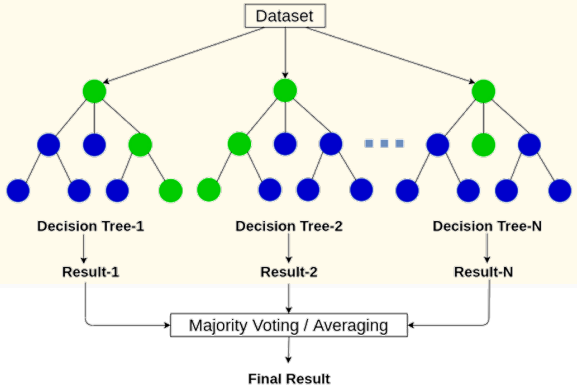
- **Lineal:** busca una única ecuación matemática lineal que combine CHIRPS y PERSIANN para toda la base de datos:

$$\text{pp.acum.obs} = \beta_0 + (\beta_1 \cdot \text{CHIRPS}) + (\beta_2 \cdot \text{PERSIANN})$$

- **Lineal mensual:** en conjunto, puede obtener la variación estacional en la que satélites y redes neuronales pueden sobreestimar o subestimar precipitación:

$$\text{pp.acum.obs}_{\text{Enero}} = \beta_{0,\text{Ene}} + \beta_{1,\text{Ene}} \cdot \text{CHIRPS} + \beta_{2,\text{Ene}} \cdot \text{PERSIANN}$$

- **ML-RF con topografía y factores espaciales:** este modelo detecta los patrones de lluvia en regiones montañosas que están altamente influenciados por la elevación (Altitud) y la posición geográfica (latitud, longitud). Puede incluir valores categóricos y numéricos.

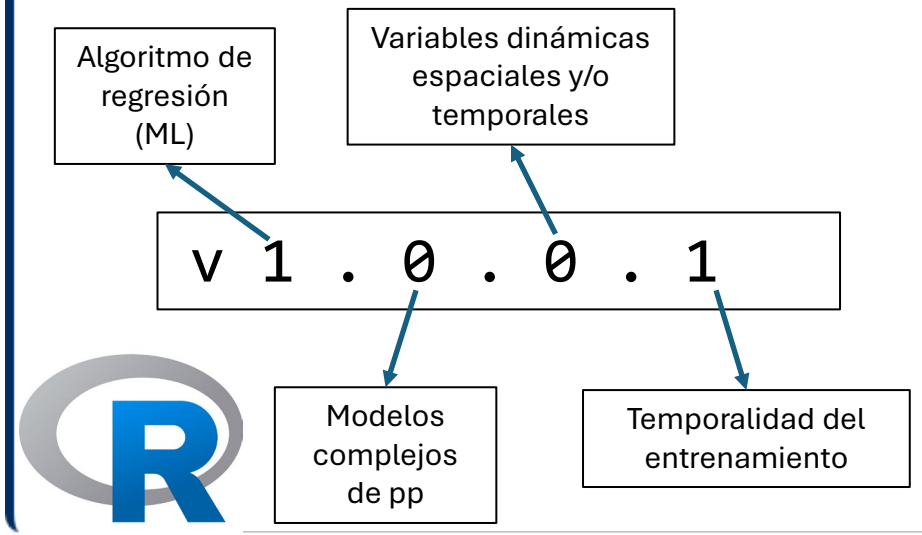


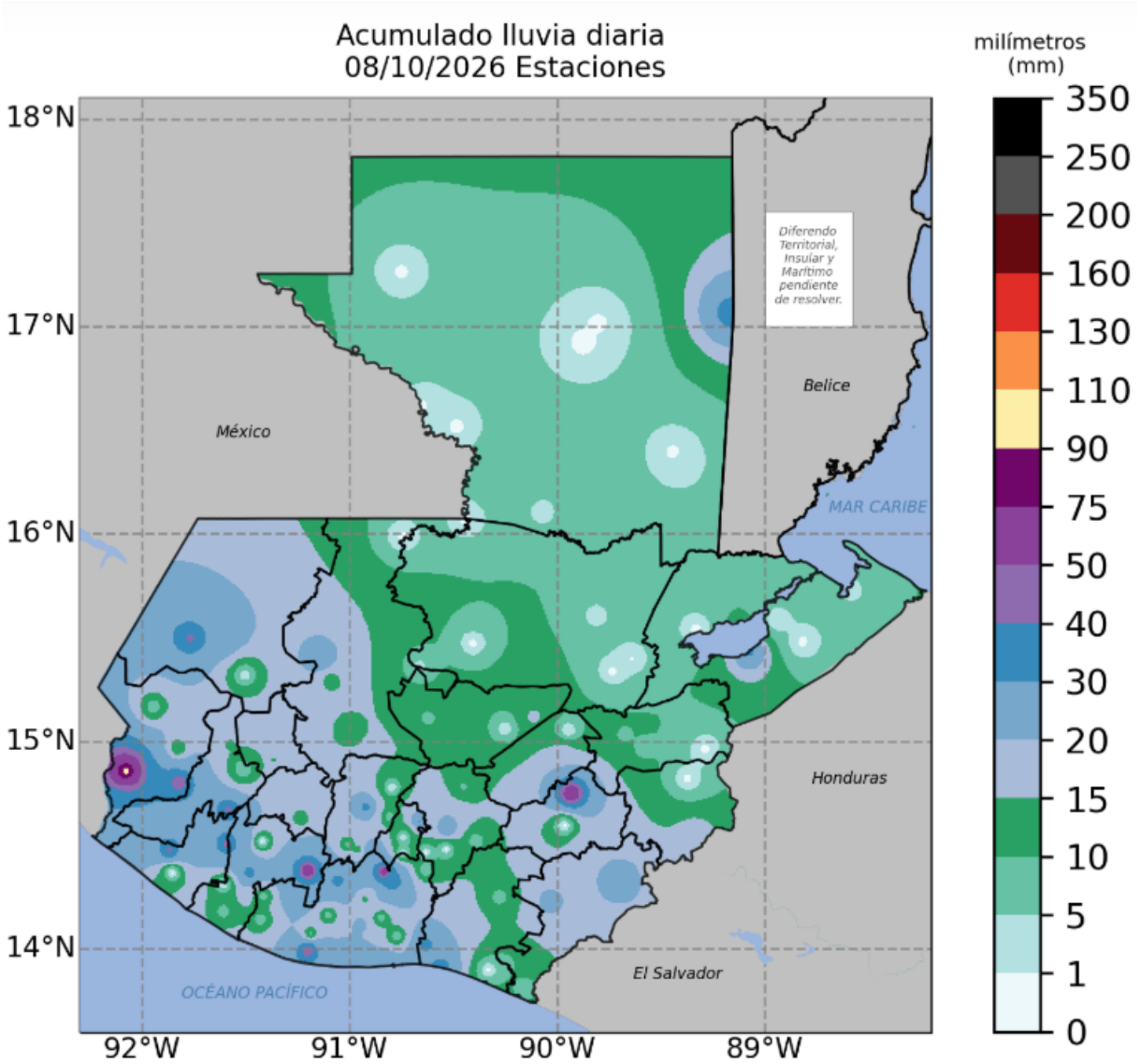
Variables utilizadas en el entrenamiento:

1. Precipitación CHIRPS
2. Precipitación PERSIANN
3. Latitud
4. Longitud
5. Altitud
6. Mes

- Precipitación de 47 estaciones meteorológicas de INSIVUMEH.

versión: v1.0.0.1

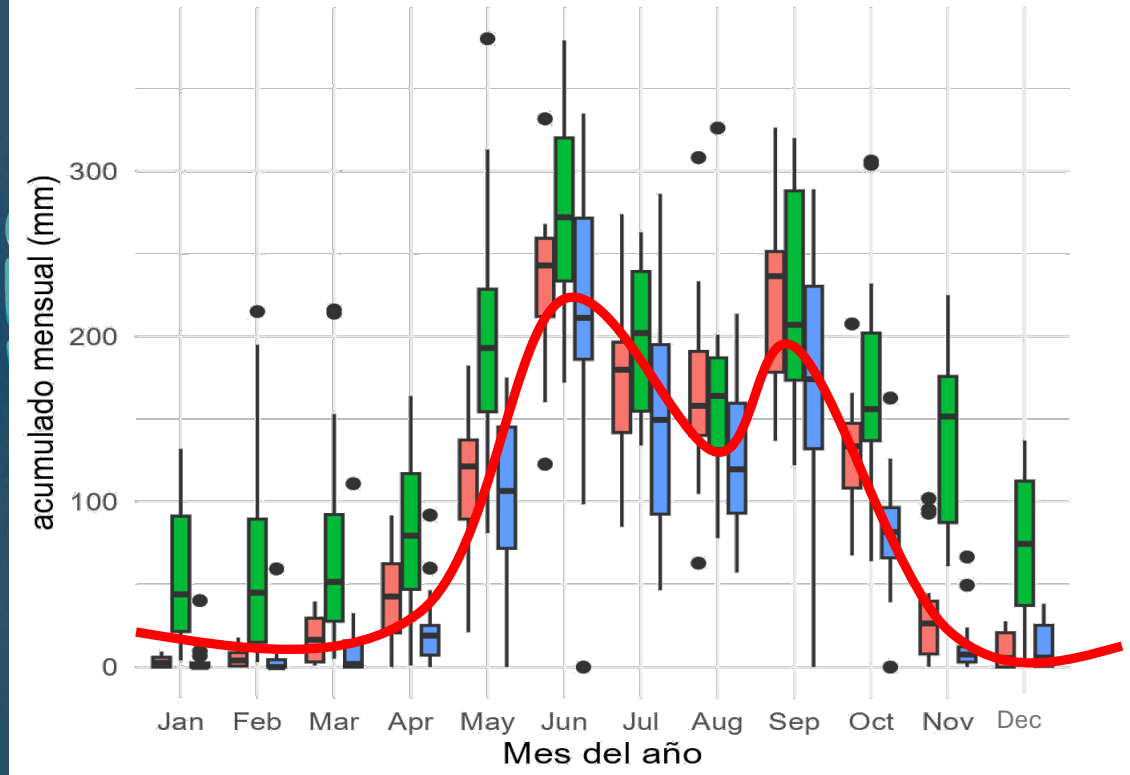




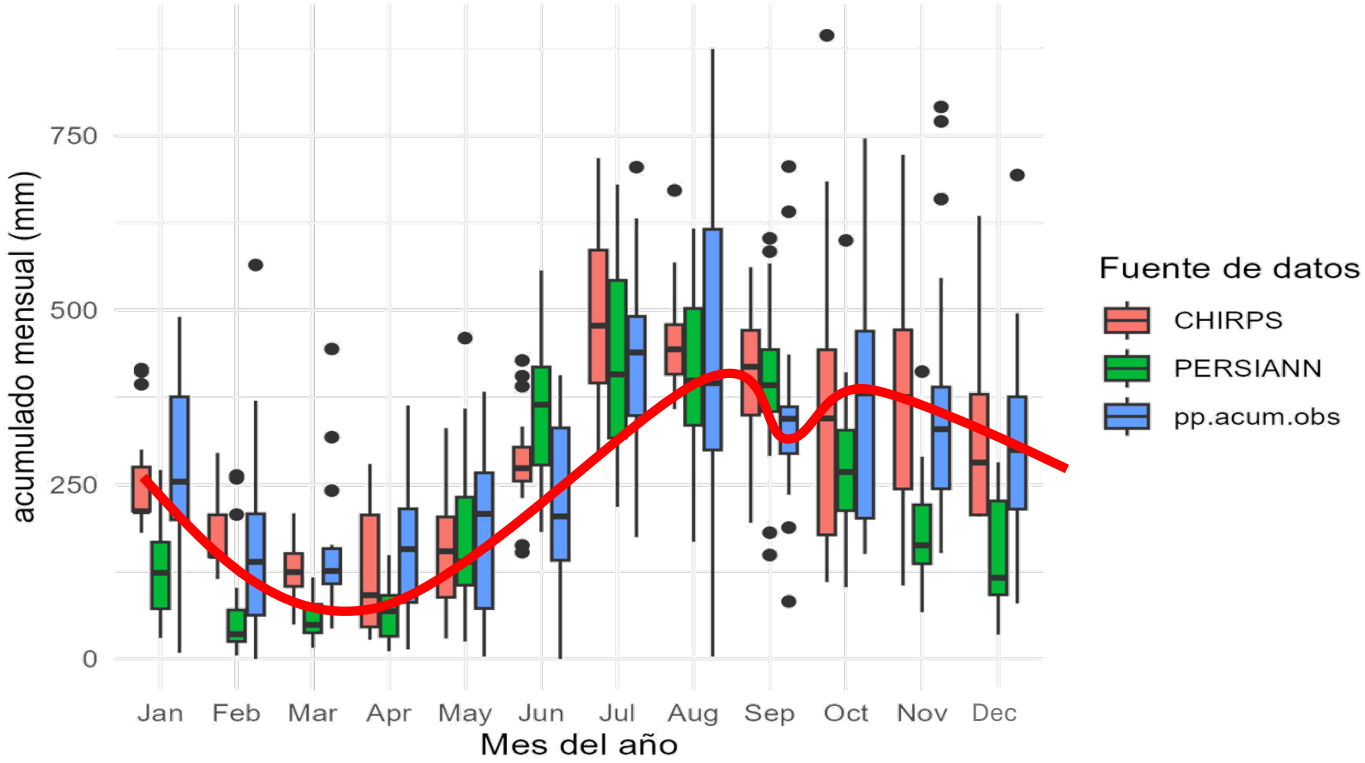
$$\textbf{Ensamble} = randomForest(pp.acum.mes.obs \sim CHIRPS + PERSIANN + latitud + longitud + altitud + mes)$$

Serie de 20 años
1981-2000

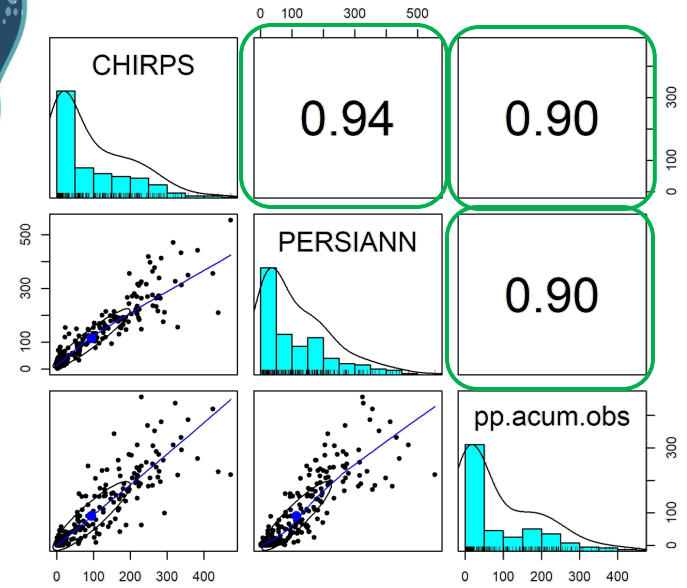
Est.: Alameda
ICTA



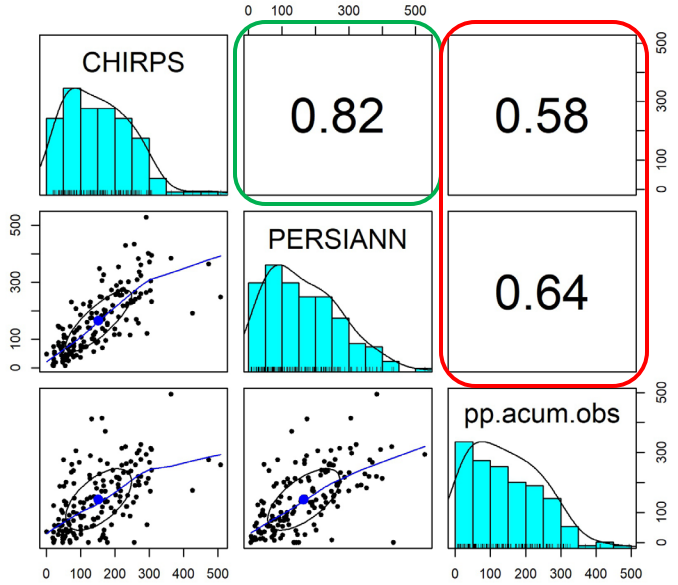
Est.: Puerto
Barrios



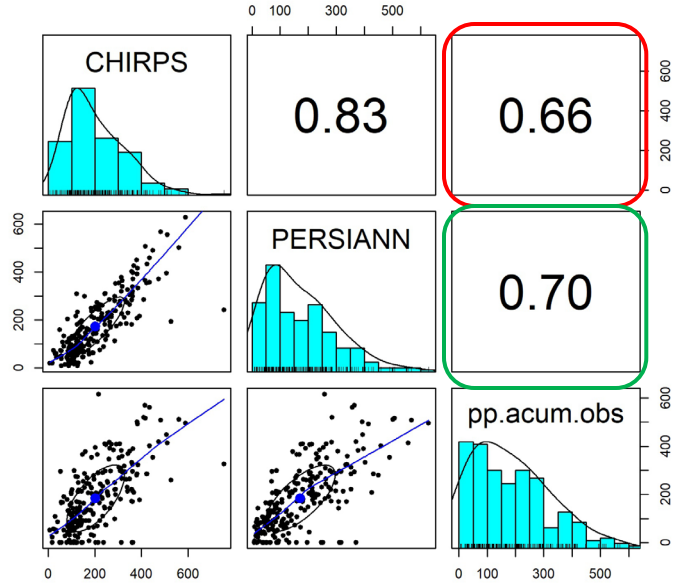
Est.: Camotán



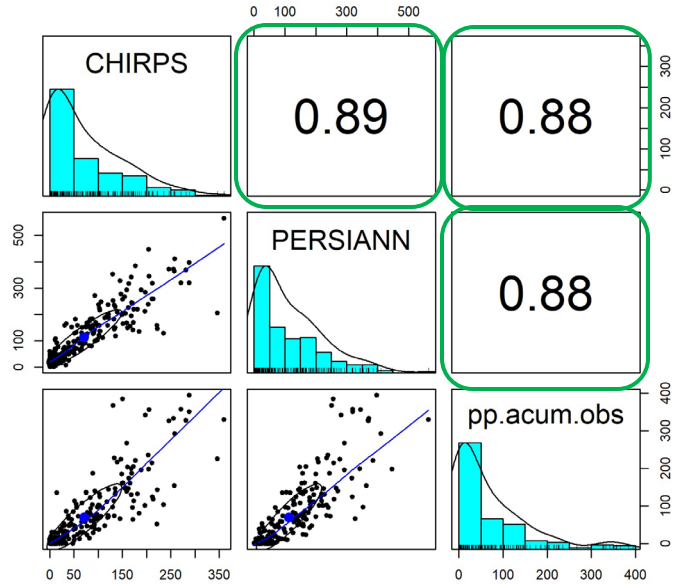
Est.: Poptún



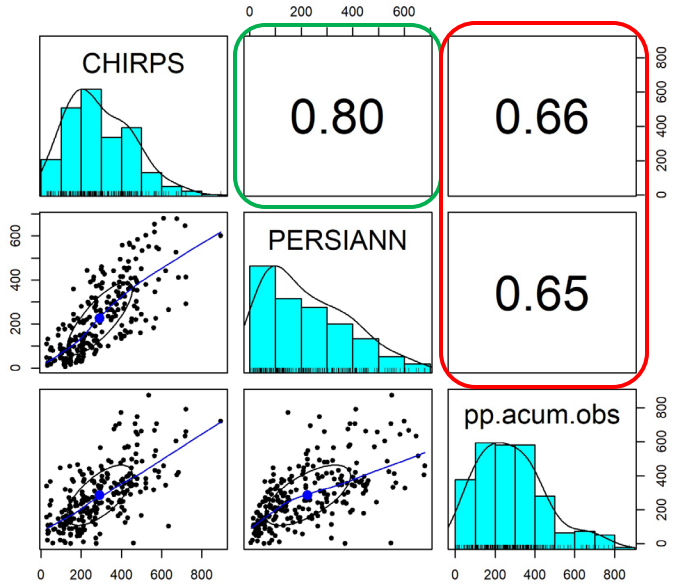
Est.: Sta. María Cahabón



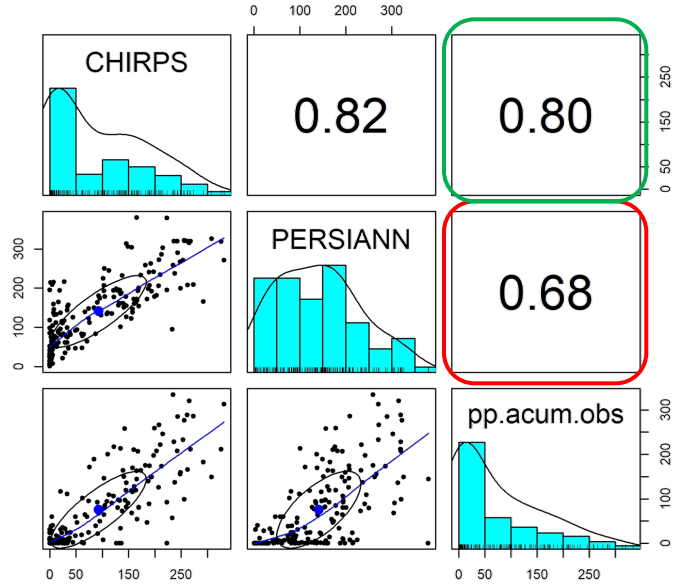
Est.: Pasabién



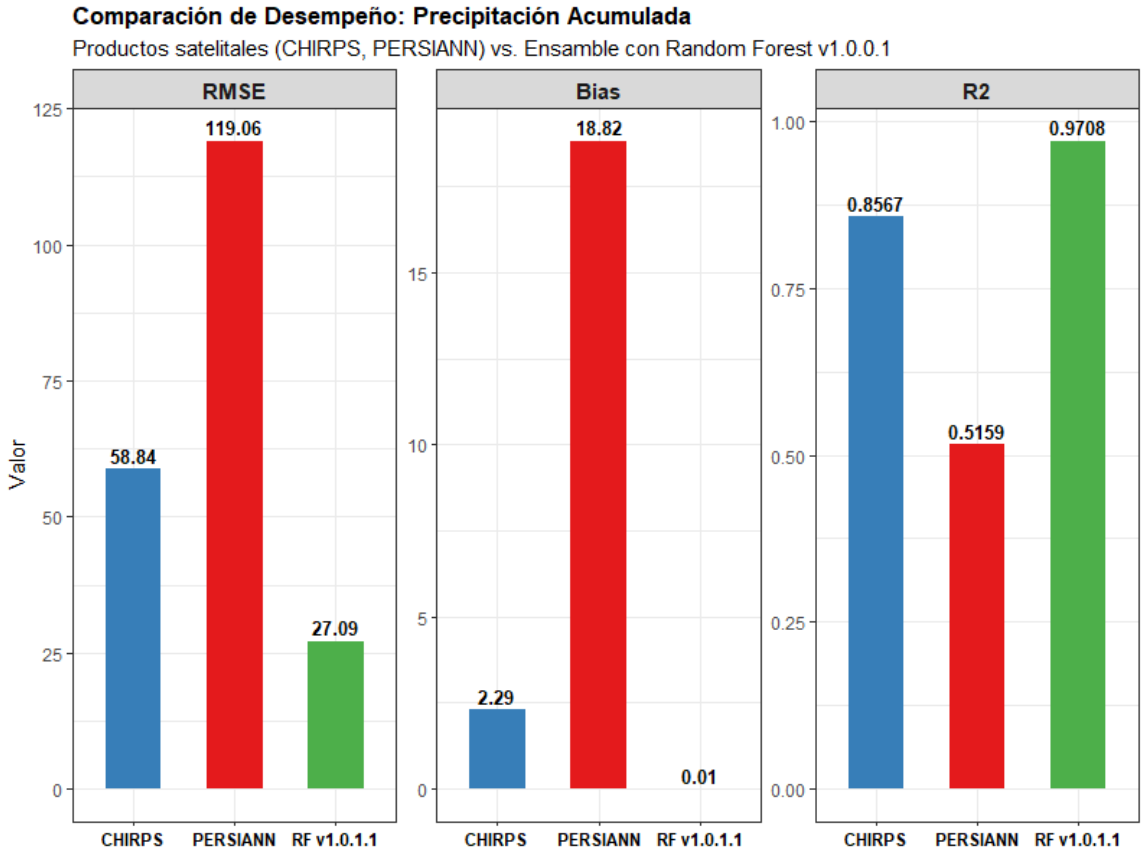
Est.: Puerto Barrios

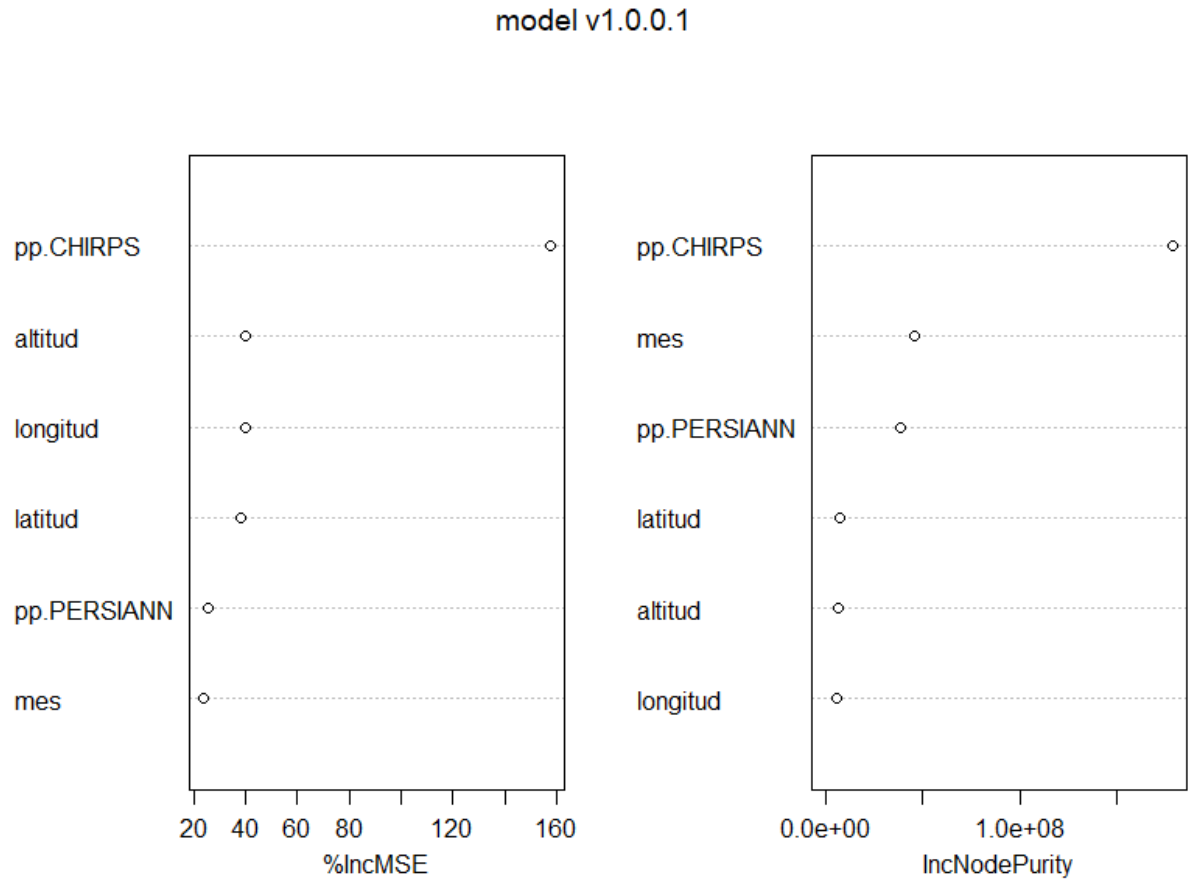


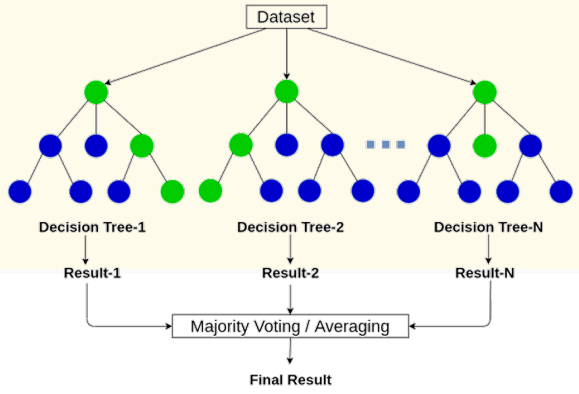
Est.: Alameda ICTA

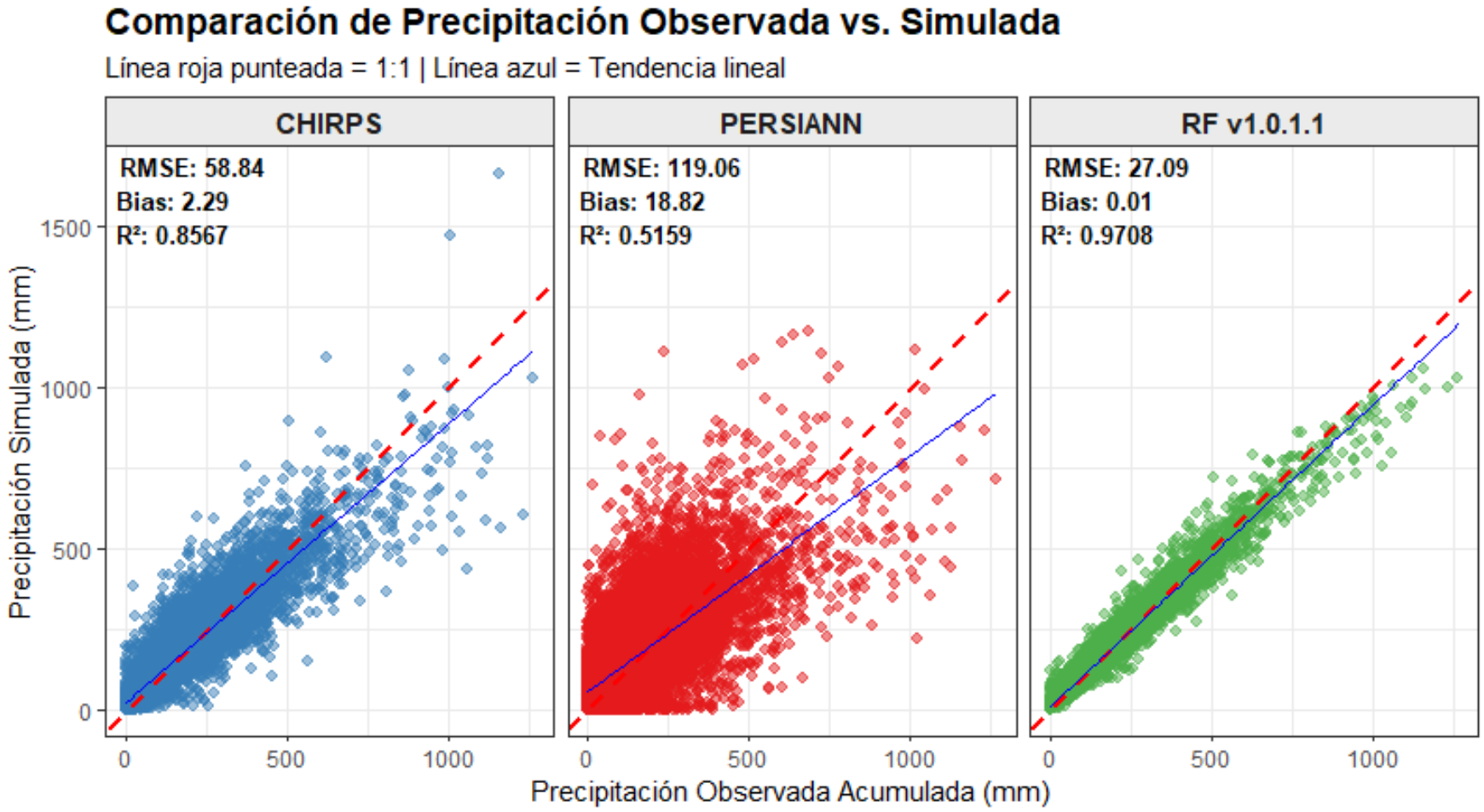


Resultados


Comparación de Desempeño: Precipitación Acumulada
Productos satelitales (CHIRPS, PERSIANN) vs. Ensamble con Random Forest v1.0.0.1
RMSE
Bias
R2
Valor
58.84
119.06
27.09
2.29
18.82
0.01
0.8567
0.5159
0.9708
CHIRPS
PERSIANN
RF v1.0.1.1

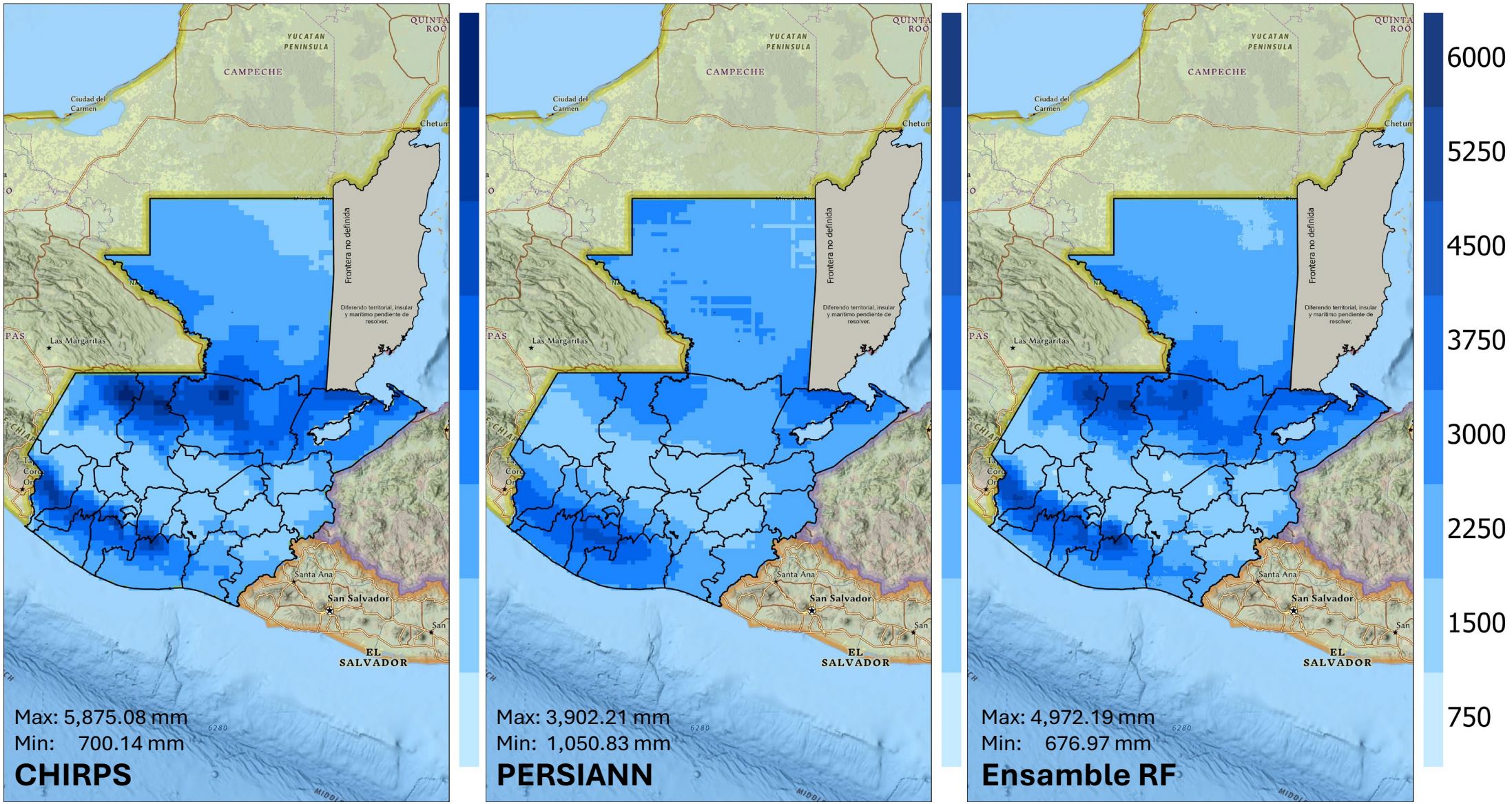

model v1.0.0.1
pp.CHIRPS
altitud
longitud
latitud
pp.PERSIANN
mes
%IncMSE
IncNodePurity

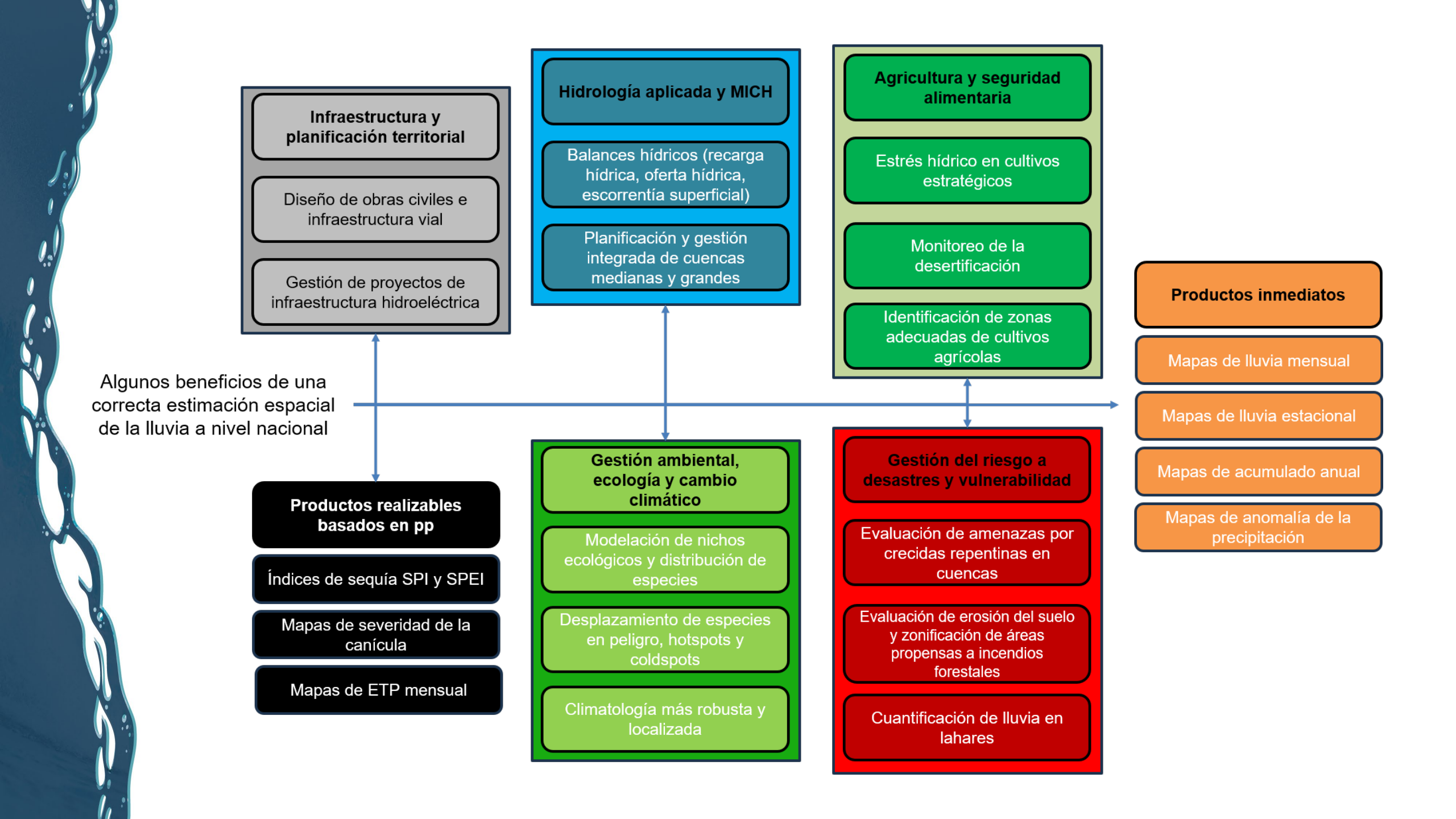

Dataset
Decision Tree-1
Decision Tree-2
Decision Tree-N
Result-1
Result-2
Result-N
Majority Voting / Averaging
Final Result


Comparación de Precipitación Observada vs. Simulada
Línea roja punteada = 1:1 | Línea azul = Tendencia lineal
CHIRPS
RMSE: 58.84
Bias: 2.29
R²: 0.8567
PERSIANN
RMSE: 119.06
Bias: 18.82
R²: 0.5159
RF v1.0.1.1
RMSE: 27.09
Bias: 0.01
R²: 0.9708
Precipitación Simulada (mm)
0
500
1000
1500
Precipitación Observada Acumulada (mm)

Precipitación acumulada media anual

Período: 2001 a 2024




Algunos beneficios de una correcta estimación espacial de la lluvia a nivel nacional
Infraestructura y planificación territorial
Diseño de obras civiles e infraestructura vial
Gestión de proyectos de infraestructura hidroeléctrica
Hidrología aplicada y MICH
Balances hídricos (recarga hídrica, oferta hídrica, escorrentía superficial)
Planificación y gestión integrada de cuencas medianas y grandes
Agricultura y seguridad alimentaria
Estrés hídrico en cultivos estratégicos
Monitoreo de la desertificación
Identificación de zonas adecuadas de cultivos agrícolas
Productos inmediatos
Mapas de lluvia mensual
Mapas de lluvia estacional
Mapas de acumulado anual
Mapas de anomalía de la precipitación
Productos realizables basados en pp
Índices de sequía SPI y SPEI
Mapas de severidad de la canícula
Mapas de ETP mensual
Gestión ambiental, ecología y cambio climático
Modelación de nichos ecológicos y distribución de especies
Desplazamiento de especies en peligro, hotspots y coldspots
Climatología más robusta y localizada
Gestión del riesgo a desastres y vulnerabilidad
Evaluación de amenazas por crecidas repentinas en cuencas
Evaluación de erosión del suelo y zonificación de áreas propensas a incendios forestales
Cuantificación de lluvia en lahares

Organizado por:

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

SGCCC
Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático

Alianza Intersectorial Marino Costera GT
#UnidosXNuestrosOcéanos

DEFENSORES DE LA NATURALEZA

Galileo UNIVERSIDAD

ICC
Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático

FUNDAECO

Gobierno Municipal Puerto Barrios

MAR FUND

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

VI CNCC
Plataforma Impulsora Local Izabal

Con el apoyo de:

CATIE
Solutions for Inclusive Green Development
Soluciones para el Desarrollo Verde Inclusivo

DEFENSORES
DE LA NATURALEZA

FUNDAECO

France
FFEM
FONDS
FRANÇAIS POUR
L'ENVIRONNEMENT
MONDIAL

ICC
Instituto Privado de Investigación
sobre Cambio Climático

Gobierno
Municipal
Puerto Barrios

MAR
FUND

UICN

WWF

¡Muchas gracias!

VI CONGRESO NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO
& IX SIMPOSIO NACIONAL MARINO COSTERO

Con el aval de:

2021 2030 Decenio de las Naciones Unidas de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible

Universidad Rafael Landívar
Identidad Jesuita en Guatemala

Mgtr. Francisco Andrés Roque Sosa
Académico Investigador III

UNIDAD DE DATOS E INFORMACIÓN ESTRATÉGICA

PBX: (502) 2426 2626, ext. 3249
Vista Hermosa III, Campus Ciudad de Guatemala, zona 16
Apartado postal 39-C, Edificio O, oficina 214, 01016,
Guatemala, C.A.
www.url.edu.gt

VRIP
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN
UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR

faroque@url.edu.gt

Universidad Rafael Landívar
Identidad Jesuita en Guatemala

Mgtr. Diego Alejandro Cuque Salazar
Analista SIG

UNIDAD DE DATOS E INFORMACIÓN ESTRATÉGICA

PBX: (502) 2426 2626, ext. 3249
Vista Hermosa III, Campus Ciudad de Guatemala, zona 16
Apartado postal 39-C, Edificio O, oficina 214, 01016,
Guatemala, C.A.
www.url.edu.gt

VRIP
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN
UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR

dacuque@url.edu.gt