



LLUVIAS



**CENEPRED**

Centro Nacional de Estimación, Prevención y  
Reducción del Riesgo de Desastres

# ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIONES EN LA CUENCA PAMPAS - AYACUCHO -

AGOSTO 2026



## ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIONES EN LA CUENCA PAMPAS

Elaborado por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).

Dirección de Gestión de Procesos. Subdirección de Gestión de la Información. CENEPRED, agosto 2026.

Av. Del Parque Norte N° 829 - 833. San Isidro - Lima – Perú

Correo electrónico: [info@cenepred.gob.pe](mailto:info@cenepred.gob.pe)

Página web: <https://www.gob.pe/cenepred>

### CENEPRED:

**Ing. Miguel Yamasaki Koizumi**

Jefe del CENEPRED

**Ing. Franklin Hidalgo Torrejón**

Director de la Dirección de Gestión de Procesos

**Ing. Alfredo Zambrano Gonzáles**

Subdirector de Gestión de la Información

Elaborado por:

**Geóg. Leane Arias Rojas**

Especialista de la Subdirección de Gestión de la Información

**Ing. Eber Risco Sence**

Consultor

Con la participación de:

**Ing. Rubén Cárdenas Vargas**

Coordinador de Enlace Regional del CENEPRED en Ayacucho

**Fernando Anchayhua Quique**

Secretario Técnico de GRD

Municipalidad Provincial de Cangallo

**Ing. Daniel Bautista Chuchon**

Secretario Técnico de GRD

Municipalidad Distrital de Concepción



## INDICE

|       |                                                                                                                           |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| I.    | Introducción .....                                                                                                        | 7  |
| II.   | Ubicación del área de estudio .....                                                                                       | 8  |
| III.  | Información Recopilada .....                                                                                              | 13 |
| 3.1   | Datos de ocurrencia de inundaciones en la cuenca del río Pampas.....                                                      | 13 |
| 3.2   | Caudales .....                                                                                                            | 14 |
| 3.3   | Producto PISCO .....                                                                                                      | 15 |
| 3.4   | Modelo digital de elevaciones.....                                                                                        | 16 |
| 3.5   | Datos de sensoramiento remoto .....                                                                                       | 18 |
| 3.6   | Datos de dimensión social y económica .....                                                                               | 18 |
| IV.   | Análisis de susceptibilidad a inundaciones en la cuenca del río Pampas .....                                              | 20 |
| 4.1   | Factores desencadenantes.....                                                                                             | 20 |
| 4.2   | Factores condicionantes.....                                                                                              | 20 |
| 4.3   | Proceso metodológico.....                                                                                                 | 21 |
| 4.3.1 | Modelo RRI .....                                                                                                          | 22 |
| 4.3.2 | Modelamiento predictivo de susceptibilidad de inundaciones con Random Forest                                              | 25 |
| 4.3.3 | Integración del modelo RRI con modelo predictivo Random Forest .....                                                      | 30 |
| 4.3.4 | Verificación mediante el análisis de imágenes radar (SENTINEL-1 – SAR) previo y posterior a un evento de inundación ..... | 33 |
| 4.3.5 | Verificación in situ de puntos críticos de inundación.....                                                                | 34 |
| 4.3.6 | Mapa de susceptibilidad a inundaciones .....                                                                              | 38 |
| V.    | Análisis de elementos expuestos .....                                                                                     | 38 |
| VI.   | Determinación del escenario de riesgo .....                                                                               | 41 |
| VII.  | Conclusiones .....                                                                                                        | 48 |
| VIII. | Recomendaciones .....                                                                                                     | 48 |
| IX.   | Bibliografía .....                                                                                                        | 50 |



## INDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Ubicación de las provincias de Ayacucho, Apurímac, Huancavelica y la unidad hidrográfica del río Pampas.....                                                                                                                                                                    | 8  |
| Figura 2: Ubicación de los puntos de ocurrencia de inundaciones en la cuenca del río Pampas. ....                                                                                                                                                                                         | 14 |
| Figura 3: Ubicación de las estaciones hidrométricas y caudales para evento extremo del 2025.....                                                                                                                                                                                          | 15 |
| Figura 4. Datos espaciales. a) Precipitación producto PISCO, b) Estaciones virtuales para el modelamiento con RRI.....                                                                                                                                                                    | 16 |
| Figura 5: Datos topográficos para el modelo RRI. a) Modelo digital de elevación original y corregido, b) Dirección de flujo original y corregido, c) Acumulación de flujo normal y logaritmo. ....                                                                                        | 17 |
| Figura 6: Imágenes SENTINEL 1 SAR con polarización VV y SENTINEL 2-A para la cuenca Río Pampas. a) Mosaico de imágenes previo a una inundación, b) Mosaico de imágenes posterior a una inundación, c) Mosaico de imagen óptica con falso color para resaltar la vegetación.....           | 19 |
| Figura 7. Capas de información georreferenciadas de elementos del territorio.....                                                                                                                                                                                                         | 19 |
| Figura 8: Diagrama de flujo para el modelamiento de susceptibilidad a inundaciones. ....                                                                                                                                                                                                  | 22 |
| Figura 9: Diagrama esquemático del modelo de lluvia-escorrentía-inundación (RRI). 23                                                                                                                                                                                                      |    |
| Figura 10. Parámetros iniciales para el modelo RRI en la cuenca del río Pampas.....                                                                                                                                                                                                       | 24 |
| Figura 11. Resultados del modelo RRI en la cuenca del río Pampas. Huella de inundación para el evento del 2025. ....                                                                                                                                                                      | 24 |
| Figura 12. Predictores de inundaciones: a) cobertura de suelo, b) Elevación, c) Geología, d) Geomorfología, e) Índice de vegetación de diferencia normalizada, f) Pendiente, g) Máxima precipitación antecedentes, h) Precipitación diaria extrema, i) Índice topográfico de humedad..... | 26 |
| Figura 13. Precisión del modelo en función de los parámetros que se utilizaron en el modelo de RF (mtry y ntree son dos parámetros importantes del modelo de RF). ....                                                                                                                    | 27 |
| Figura 14: Importancia relativa de los factores de susceptibilidad a la ocurrencia de inundaciones en la cuenca del río Pampas. ....                                                                                                                                                      | 28 |
| Figura 15. Resultados del modelo RF. Susceptibilidad a ocurrencia de inundaciones. ....                                                                                                                                                                                                   | 29 |
| Figura 16. Área bajo la curva para los datos de calibración y validación del modelo RF.....                                                                                                                                                                                               | 30 |
| Figura 17. Flujo de proceso para obtener el Modelo Compuesto para la cuenca Río Pampas. ....                                                                                                                                                                                              | 31 |
| Figura 18. Resultados del modelo RRI+RF de susceptibilidad a inundación en la cuenca río Pampas. La susceptibilidad de ocurrencia a inundación se muestra clasificado desde muy bajo a muy alto. ....                                                                                     | 32 |
| Figura 19: Área de inundación obtenido con las imágenes Sentinel-1 SAR para el evento extremo del 2024. ....                                                                                                                                                                              | 35 |
| Figura 20. Ubicación de los puntos verificados en campo en las provincias de Cangallo y Vilcas Huamán (distrito de Concepción), en el ámbito de la cuenca del río Pampas. ....                                                                                                            | 35 |
| Figura 21. Mapa de susceptibilidad a inundaciones en el ámbito de la cuenca del río Pampas .....                                                                                                                                                                                          | 38 |



|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 22: Flujograma del proceso de elaboración del escenario de riesgo por inundación .....   | 42 |
| Figura 23. Mapa de riesgo de elementos expuestos en el ámbito de la cuenca del río Pampas ..... | 47 |



## INDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: Provincias de Ayacucho, Apurímac y Huancavelica: Nivel de riesgo según distritos. ....                                                      | 9  |
| Tabla 2: Registros de inundaciones en la cuenca río Pampas. ....                                                                                     | 13 |
| Tabla 3: Estaciones hidrométricas .....                                                                                                              | 15 |
| Tabla 4: Clasificación de los valores de susceptibilidad para la cuenca río Pampas. ...                                                              | 31 |
| Tabla 5: Clasificación de ocurrencias de inundación de acuerdo a los resultados del modelo de susceptibilidad RRI+RF para la cuenca río Pampas. .... | 32 |
| Tabla 6. Población y vivienda expuesta a zonas susceptibles a inundación. ....                                                                       | 39 |
| Tabla 7: Áreas agrícolas .....                                                                                                                       | 39 |
| Tabla 8. Establecimientos de salud expuestos a zonas susceptibles a inundación. ....                                                                 | 40 |
| Tabla 9. Instituciones educativas expuestas a zonas susceptibles a inundación .....                                                                  | 40 |
| Tabla 10: Red vial en la cuenca del río Pampas .....                                                                                                 | 41 |
| Tabla 11: Provincias: Centros poblados según el nivel de riesgo por inundaciones ....                                                                | 42 |
| Tabla 12: Población y viviendas según el nivel de riesgo por inundaciones .....                                                                      | 43 |
| Tabla 13: Superficie agrícola según el nivel de riesgo por inundaciones .....                                                                        | 44 |
| Tabla 14: Establecimientos de salud según el nivel de riesgo por inundaciones .....                                                                  | 44 |
| Tabla 15: Instituciones educativas según el nivel de riesgo por inundaciones. ....                                                                   | 45 |
| Tabla 16: Red vial según el nivel de riesgo por inundaciones .....                                                                                   | 46 |





## I. Introducción

Las inundaciones son desastres que generan diversas repercusiones socioeconómicas (Bui et al., 2018), que provocan varias consecuencias, como erosión, deslizamientos de tierra y sumideros (Arabameri, Rezaei, Cerdà, Conoscenti, & Kalantari, 2019). Por lo cual, se requiere monitorear las inundaciones utilizando técnicas avanzadas y desarrollar modelos precisos de riesgo de inundaciones (Samanta, Pal, & Palsamanta, 2018). Los deslizamientos de tierra pueden ocurrir como consecuencia de períodos prolongados de fuertes lluvias en las laderas empinadas de las montañas (Joshi & Kumar, 2006), generando en las zonas de baja o nula pendiente las inundaciones, usualmente en las zonas agrícolas y áreas urbanas. La susceptibilidad al peligro a menudo se relaciona con las condiciones climáticas, las características de la cuenca y los procedimientos dentro de los cauces montañosos (Wagner, 2007). Estos desastres tienen el potencial de matar a muchas personas y dañar seriamente la infraestructura, la vivienda y el transporte (Nguyen, Pham, Bui, Bui, & Nguyen, 2021). La gravedad de estos sucesos está determinada por varios elementos, incluida la intensidad de las lluvias, la geografía diversa, las propiedades topográficas, el cambio climático, las actividades humanas, el grado de desarrollo socioeconómico y las condiciones de drenaje de una región específica (Alam et al., 2018).

En el territorio peruano, la ocurrencia del fenómeno del niño de los años 82 -83, 97-98, 2017 y recientemente el 2023, generaron eventos climáticos de carácter extraordinario, resultando en cuantiosas pérdidas socioeconómicas para las zonas afectadas en el país. Su ocurrencia causa distintas alteraciones sobre los niveles y temporalidad de las lluvias. En el 2017, luego de 20 años de la presencia del último Fenómeno el Niño de carácter extraordinario, el Niño Costero desencadenó lluvias torrenciales. Estas alteraciones se iniciaron hacia fines de diciembre del 2016 y se prolongó hasta finales de mayo de 2017. Este nivel de lluvias causó huaycos, inundaciones, deslizamientos, derrumbes, tormentas, afectando a 1,782,316 personas, principalmente, en la zona de la Libertad, Lambayeque, Ica, Loreto y Piura. Se registraron daños en 413,983 viviendas, establecimientos de salud y educación (INDECI, 2017). Mientras que, en la zona costera del Perú, el fenómeno del niño ocasiona un aumento extremo de las precipitaciones, en la zona de la sierra se presentan sequías. Daños similares se registraron en los años 82 y 83 con pérdidas valoradas en USD 1,000 millones en infraestructura, producción, y pérdidas sociales; mientras que en el 97-98 los daños ascendieron a USD 3,500 millones en los sectores de agricultura y pesca; infraestructura y servicios básicos; vivienda y construcción; salud; transporte y turismo (CAF, 2000).

Existe la urgente necesidad de contar con herramientas que den soporte al su monitoreo y previsión de inundaciones; sin embargo, la implementación de un sistema de alerta frente a inundaciones se encuentra limitada por la baja densidad de estaciones hidrométricas a lo largo del territorio nacional. En ese contexto, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), viene desarrollando herramientas que permiten identificar zonas potenciales de inundación (*Sistema de Observación de Inundaciones Potenciales del Senamhi*: SONICS, uso de modelo hidrológico a nivel de cuenca *Rainfall-Runoff-Inundation*: RRI), basado en el desarrollo de modelos hidrológicos y la aplicación de técnicas de regionalización hidrológica que permitan simular caudales sobre la extensa red hídrica nacional, evaluar la hidrología de cuencas con escasa información, y dar soporte a la gestión de peligros hidrológicos (SENAMHI, 2021).

El presente estudio propone el desarrollo de metodologías que permitan identificar los niveles de riesgo ante inundaciones en el ámbito geográfico de la cuenca Río Pampas, ubicada entre los departamentos de Ayacucho, Apurímac y Huancavelica, a fin que los



profesionales de los gobiernos locales y regionales cuentan con un instrumento técnico para la focalización de sus intervenciones.

Para tal fin, se utilizará la información existente de instituciones del estado como SENAMHI, ANA, IGP, MINAM, MINAGRI, INDECI, CENEPRED, INEI, etc. Estos datos e información permitirán el análisis y zonificación de la susceptibilidad o peligro por inundaciones para los escenarios de riesgo por inundaciones, como también el análisis de elementos expuestos a inundaciones en la cuenca Río Pampas.

## II. Ubicación del área de estudio

La cuenca río Pampas forma parte de la vertiente del Amazonas, y abarca las provincias de Abancay, Andahuaylas, Aymaraes y Chincheros (Apurímac), Cangallo, Huamanga, Huanca Sancos, Huanta, La Mar, Lucanas, Parinacochas, Sucre, Víctor Fajardo y Vilcas Huamán (Ayacucho), Angaraes, Castrovirreyna y Huaytara (Huancavelica), como se aprecia en la Figura 1.

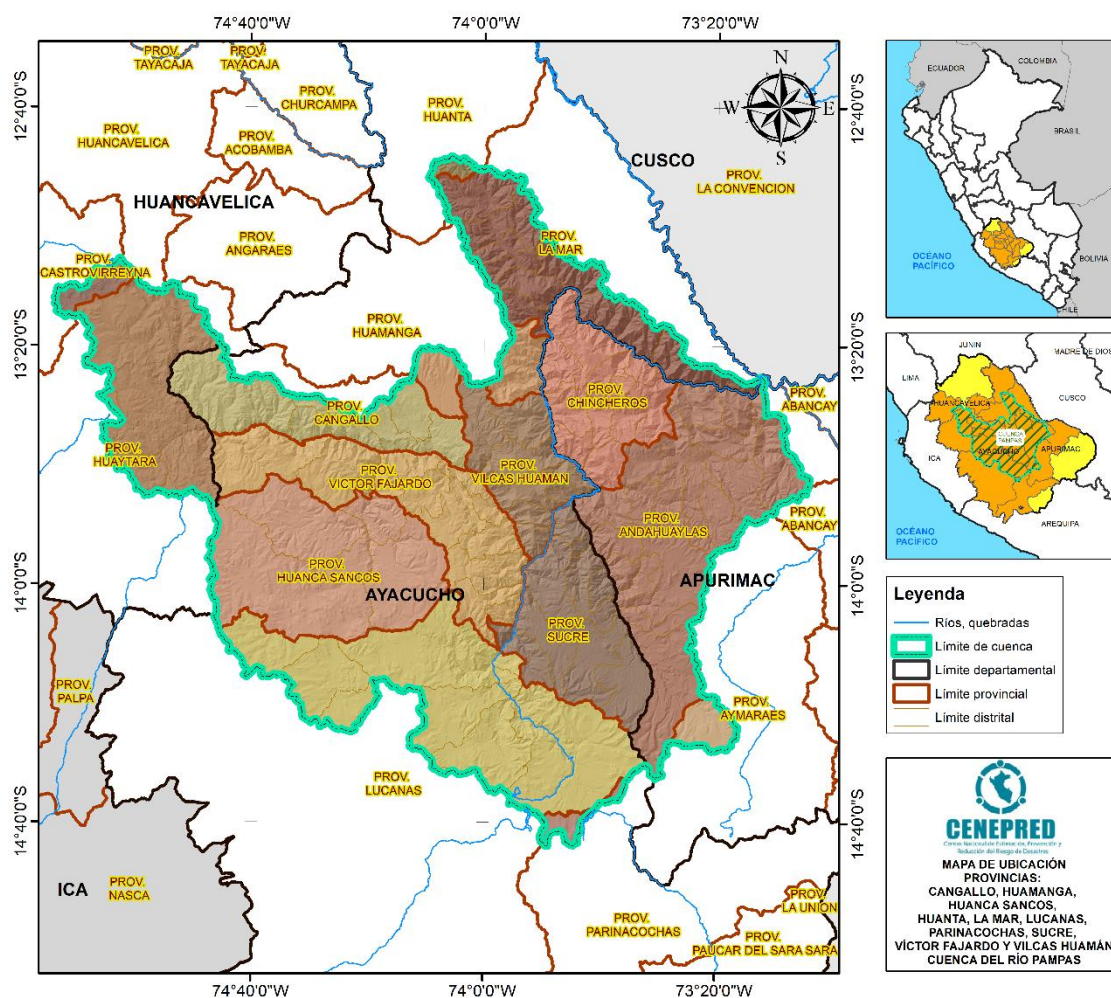


Figura 1: Ubicación de las provincias de Ayacucho, Apurímac, Huancavelica y la unidad hidrográfica del río Pampas.

El Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), seleccionó el área de estudio basado en el resultado del escenario de riesgo por inundación a nivel nacional, realizado en el marco del Plan Multisectorial





## ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIONES EN LA CUENCA PAMPAS

2025-2027, el cual identifica distritos con niveles de riesgo entre alto y muy alto ante la ocurrencia de inundaciones (Tabla 1).

La cuenca del río Pampas representa un sistema hidrográfico estratégico ubicado en la Sierra Sur-Central del Perú. Es fundamental para la gestión de recursos hídricos en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.

*Tabla 1: Provincias de Ayacucho, Apurímac y Huancavelica: Nivel de riesgo según distritos.*

| Departamento | Provincia   | Ubigeo | Distrito                 | Nivel de riesgo |
|--------------|-------------|--------|--------------------------|-----------------|
| Apurímac     | Abancay     | 030107 | Pichirhua                | -               |
|              |             | 030201 | Andahuaylas              | Alto            |
|              | Andahuaylas | 030202 | Andarapa                 | -               |
|              |             | 030203 | Chiara                   | -               |
|              |             | 030204 | Huancarama               | -               |
|              |             | 030205 | Huancaray                | -               |
|              |             | 030206 | Huayana                  | -               |
|              |             | 030207 | Kishuara                 | -               |
|              |             | 030208 | Pacobamba                | -               |
|              |             | 030209 | Pacucha                  | Alto            |
|              |             | 030210 | Pampachiri               | Alto            |
|              |             | 030211 | Pomacocha                | Alto            |
|              |             | 030212 | San Antonio de Cachi     | -               |
|              |             | 030213 | San Jeronimo             | Alto            |
|              |             | 030214 | San Miguel de Chaccrampa | -               |
|              |             | 030215 | Santa Maria de Chicmo    | -               |
|              |             | 030216 | Talavera                 | -               |
|              |             | 030217 | Tumay Huaraca            | -               |
|              |             | 030218 | Turpo                    | -               |
|              |             | 030219 | Kaquiabamba              | -               |
|              |             | 030220 | Jose Maria Arguedas      | -               |
|              | Aymaraes    | 030401 | Chalhuanca               | Alto            |
|              |             | 030402 | Capaya                   | -               |
|              |             | 030405 | Colcabamba               | -               |
|              |             | 030406 | Cotaruse                 | Alto            |
|              |             | 030409 | Lucre                    | -               |
|              |             | 030411 | San Juan De Chacña       | -               |
|              |             | 030412 | Sañayca                  | -               |
|              |             | 030415 | Tintay                   | -               |
|              |             | 030416 | Toraya                   | Alto            |
|              | Chincheros  | 030601 | Chincheros               | Alto            |
|              |             | 030602 | Anco-Huallo              | Alto            |
|              |             | 030603 | Cocharcas                | Alto            |
|              |             | 030604 | Huaccana                 | -               |
|              |             | 030605 | Ocobamba                 | -               |
|              |             | 030606 | Ongoy                    | -               |
|              |             | 030607 | Uranmarca                | -               |



## ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIONES EN LA CUENCA PAMPAS

| Departamento | Provincia     | Ubigeo | Distrito                | Nivel de riesgo |
|--------------|---------------|--------|-------------------------|-----------------|
| Ayacucho     |               | 030608 | Ranracancha             | Alto            |
|              |               | 030609 | Rocchacc                | -               |
|              |               | 030610 | El Porvenir             | -               |
|              |               | 030611 | Los Chankas             | Alto            |
|              |               | 030612 | Ahuayro                 | Alto            |
|              | Cangallo      | 050201 | Cangallo                | Alto            |
|              |               | 050202 | Chuschi                 | Alto            |
|              |               | 050203 | Los Morochucos          | -               |
|              |               | 050204 | Maria Parado de Bellido | Alto            |
|              |               | 050205 | Paras                   | Alto            |
|              |               | 050206 | Totos                   | -               |
|              | Huamanga      | 050102 | Acocro                  | Alto            |
|              |               | 050103 | Acos Vinchos            | -               |
|              |               | 050105 | Chiara                  | Alto            |
|              |               | 050106 | Ocros                   | -               |
|              |               | 050108 | Quinua                  | Alto            |
|              | Huanca Sancos | 050301 | Sancos                  | Alto            |
|              |               | 050302 | Carapo                  | Alto            |
|              |               | 050303 | Sacsamarca              | -               |
|              |               | 050304 | Santiago de Lucanamarca | -               |
|              | Huanta        | 050401 | Huanta                  | -               |
|              |               | 050403 | Huamanguilla            | -               |
|              |               | 050410 | Uchuraccay              | -               |
|              |               | 050412 | Chaca                   | -               |
|              | La Mar        | 050501 | San Miguel              | -               |
|              |               | 050502 | Anco                    | -               |
|              |               | 050503 | Ayna                    | -               |
|              |               | 050504 | Chilcas                 | -               |
|              |               | 050505 | Chungui                 | -               |
|              |               | 050506 | Luis Carranza           | -               |
|              |               | 050507 | Santa Rosa              | -               |
|              |               | 050508 | Tambo                   | -               |
|              |               | 050509 | Samugari                | -               |
|              |               | 050510 | Anchihuay               | -               |
|              |               | 050511 | Oronccoy                | -               |
|              |               | 050514 | Ninabamba               | -               |
|              |               | 050515 | Patibamba               | -               |
|              | Lucanas       | 050601 | Puquio                  | Alto            |
|              |               | 050602 | Aucara                  | Alto            |
|              |               | 050603 | Cabana                  | Alto            |
|              |               | 050604 | Carmen Salcedo          | -               |
|              |               | 050606 | Chipao                  | Alto            |
|              |               | 050608 | Laramate                | Alto            |
|              |               | 050610 | Llauta                  | -               |



## ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIONES EN LA CUENCA PAMPAS

| Departamento | Provincia      | Ubigeo | Distrito                    | Nivel de riesgo |
|--------------|----------------|--------|-----------------------------|-----------------|
|              |                | 050611 | Lucanas                     | Alto            |
|              |                | 050612 | Ocaña                       | Alto            |
|              |                | 050613 | Otoca                       | -               |
|              |                | 050618 | San Pedro de Palco          | -               |
|              |                | 050620 | Santa Ana de Huaycahuacho   | -               |
|              | Parinacochas   | 050701 | Coracora                    | Alto            |
|              | Sucre          | 050901 | Querobamba                  | -               |
|              |                | 050902 | Belen                       | -               |
|              |                | 050903 | Chalcos                     | -               |
|              |                | 050904 | Chilcayoc                   | -               |
|              |                | 050905 | Huacaña                     | -               |
|              |                | 050906 | Morcolla                    | Alto            |
|              |                | 050907 | Paico                       | -               |
|              |                | 050908 | San Pedro de Larcay         | Alto            |
|              |                | 050909 | San Salvador de Quije       | -               |
|              |                | 050910 | Santiago de Paucaray        | -               |
|              |                | 050911 | Soras                       | -               |
|              | Victor Fajardo | 051001 | Huancapi                    | -               |
|              |                | 051002 | Alcamenca                   | -               |
|              |                | 051003 | Apongo                      | -               |
|              |                | 051004 | Asquipata                   | -               |
|              |                | 051005 | Canaria                     | -               |
|              |                | 051006 | Cayara                      | -               |
|              |                | 051007 | Colca                       | -               |
|              |                | 051008 | Huamanquiquia               | -               |
|              |                | 051009 | Huancaraylla                | Alto            |
|              |                | 051010 | Hualla                      | Alto            |
|              |                | 051011 | Sarhua                      | -               |
|              |                | 051012 | Vilcanchos                  | Alto            |
|              | Vilcas Huamán  | 051101 | Vilcas Huaman               | -               |
|              |                | 051102 | Accomarca                   | -               |
|              |                | 051103 | Carhuanca                   | -               |
|              |                | 051104 | Concepcion                  | -               |
|              |                | 051105 | Huambalpa                   | -               |
|              |                | 051106 | Independencia               | -               |
|              |                | 051107 | Saurama                     | -               |
|              |                | 051108 | Vischongo                   | -               |
| Huancavelica | Angaraes       | 090301 | Lircay                      | -               |
|              | Castrovirreyna | 090401 | Castrovirreyna              | -               |
|              |                | 090411 | Santa Ana                   | Alto            |
|              |                | 090106 | Huachocolpa                 | -               |
|              | Huaytara       | 090607 | Pilpichaca                  | -               |
|              |                | 090608 | Querco                      | -               |
|              |                | 090611 | San Francisco de Sangayaico | -               |



| Departamento | Provincia | Ubigeo | Distrito                  | Nivel de riesgo |
|--------------|-----------|--------|---------------------------|-----------------|
|              |           | 090613 | Santiago de Chocorvos     | -               |
|              |           | 090614 | Santiago de Quirahuara    | -               |
|              |           | 090615 | Santo Domingo de Capillas | -               |
|              |           | 090616 | Tambo                     | -               |

*Nota: Los departamentos de Apurímac\* y Huancavelica\*\* fueron considerados para el análisis a nivel cuenca de la susceptibilidad ante inundaciones.*

- a) Origen: Nace en las lagunas de Choclococha y Orcococha (Huancavelica), a unos 4,454 m.s.n.m.
- b) Desembocadura: Es un afluente de la margen izquierda del río Apurímac, terminando a los 975 m.s.n.m.
- c) Longitud: Tiene un recorrido aproximado de 424 kilómetros.
- d) Área de drenaje: Cubre una superficie de 23,236.4 km<sup>2</sup>.

El río recibe aportes significativos de diversas subcuencas a lo largo de su trayecto:

- Río Caracha: Uno de los tributarios más importantes para futuros proyectos de irrigación.
- Río Sondondo: Cruza zonas con andenería prehispánica y gran valor cultural.
- Otros: Chicha, Torobamba, Vischongo y Huancapi.

En la cuenca del río Pampas la gestión está a cargo del Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Interregional Pampas (CRHCIP), que articula a los tres gobiernos regionales involucrados. Presenta trasvases: Parte de sus aguas en la cabecera son derivadas históricamente hacia la cuenca del río Ica para satisfacer la demanda agrícola de la costa. Existen Proyectos de Infraestructura Hidráulica: Destaca el proyecto Pampas Verdes, que busca irrigar 500,000 hectáreas y generar energía mediante hidroeléctricas aprovechando el desnivel del terreno.

La economía es predominantemente primaria y depende estrechamente del ciclo hidrológico del río.

- a) Agricultura de Riego: Es el uso principal del agua en la cuenca. Se cultivan diversos productos en las terrazas y valles aprovechando la pendiente suave del río.
- b) Ganadería Extensiva: Zonas Altas: Destaca la crianza de alpacas en el Alto Pampas, lo que requiere una gestión cuidadosa de pastizales y agua. Zonas Medias: Predomina la cultura equina (caballos), especialmente relevante en festividades tradicionales como los carnavales de Cangallo.
- c) Hidroenergía e Irrigación: Existen proyectos de gran envergadura como el Proyecto Pampas Verdes, diseñado para generar electricidad e irrigar miles de hectáreas en zonas desérticas de Ica y Arequipa.
- d) Turismo y Recreación: La cuenca ofrece un alto valor paisajístico y cultural: Atractivos Naturales: Visitas a la Catarata de Alizar y el Puente Pampa. Deportes y Aventura: Práctica de canotaje en el río y caminatas ecológicas por el Valle Pampas. Cultura Local: Exploración de la Hacienda de Ayrabamba y participación en ferias gastronómicas y carreras de caballos tradicionales.



La Autoridad Nacional del Agua (ANA 2017), reconoce a la cuenca (unidad hidrográfica) como una unidad territorial fundamental para la planificación hídrica y de los riesgos asociados. En este marco, y considerando que los cursos de agua responden a las leyes de la gravedad y la topografía, y no necesariamente a los ámbitos de administración pública, se adoptó un enfoque de cuenca para la identificación de áreas inundables; por tal motivo, el análisis de susceptibilidad a la ocurrencia de inundaciones se desarrolló en el contexto territorial de toda la unidad hidrográfica de la Cuenca Pampas.

### III. Información Recopilada

#### 3.1 Datos de ocurrencia de inundaciones en la cuenca del río Pampas

Los datos sobre la ocurrencia de inundaciones provienen de las fuentes como la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET (INGEMMET) y el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y son compilados en el Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres (SIGRID), bajo la responsabilidad del CENEPRED. Estos datos se presentan con la siguiente distribución, luego de un proceso de depuración para eliminar registros duplicados:

*Tabla 2: Registros de inundaciones en la cuenca río Pampas.*

| Departamento | Provincia      | Fuente |        |          |       |
|--------------|----------------|--------|--------|----------|-------|
|              |                | ANA    | INDECI | INGEMMET | TOTAL |
| Apurímac     | Andahuaylas    | 45     | 80     | 9        | 134   |
|              | Chincheros     | 10     | 39     |          | 49    |
| Ayacucho     | Cangallo       | 26     | 19     | 6        | 51    |
|              | Huamanga       | 1      | 1      |          | 2     |
|              | Huancasancos   | 7      | 6      | 4        | 17    |
|              | La Mar         | 41     | 24     | 5        | 70    |
|              | Lucanas        | 13     |        | 1        | 14    |
|              | Sucre          | 5      | 12     |          | 17    |
|              | Víctor Fajardo | 30     | 14     | 3        | 47    |
|              | Vilcas Huamán  | 7      | 5      | 2        | 14    |
|              |                |        |        |          |       |
| Huancavelica | Huaytará       |        | 3      |          | 3     |
| Total        |                | 185    | 203    | 30       | 418   |

Nota: Puntos críticos (ANA). Zonas críticas (INGEMMET). Emergencias (INDECI). Visita de Campo (CENEPRED).

De acuerdo con la Tabla 2, la provincia de Andahuaylas tiene un total 134 registros de inundaciones, de los cuales 80 son emergencias a consecuencia de la ocurrencia de inundaciones, 45 corresponden a puntos críticos y 9 corresponden a zonas críticas, siendo la provincia con mayor registro de inundaciones.

El criterio de selección de las ocurrencias fue mediante la descripción de los registros, seleccionándose aquellos relacionados con emergencias, zonas críticas y puntos críticos, siempre que estuvieran asociados específicamente al evento de inundación.

La Figura 2 muestra la ubicación espacial de los registros de ocurrencias de inundaciones (Tabla 2) en la cuenca del río Pampas, se aprecia que están representadas mayoritariamente por las zonas de valles inundables, en la parte





baja de la cuenca, de activación de quebradas en la parte media-alta de la cuenca.

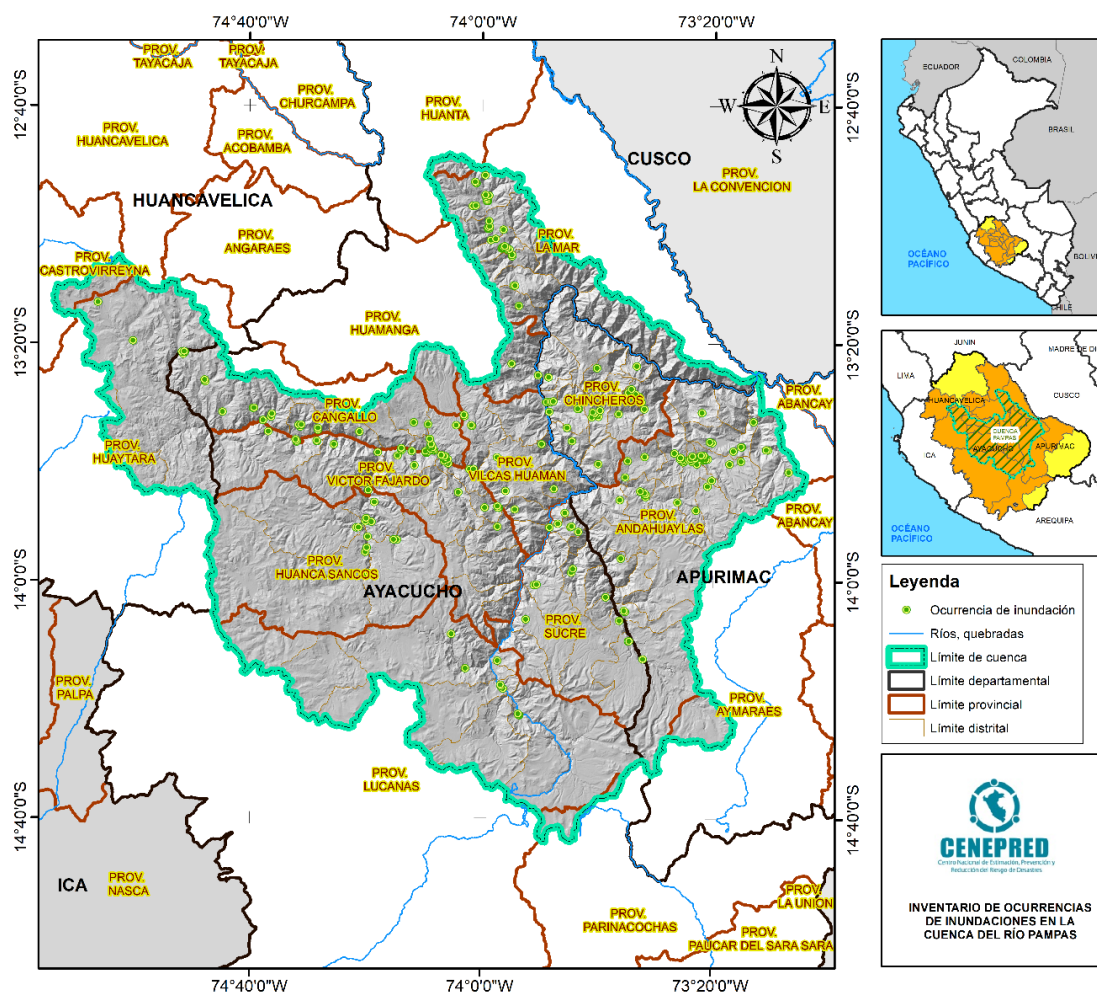


Figura 2: Ubicación de los puntos de ocurrencia de inundaciones en la cuenca del río Pampas.

### 3.2 Caudales

Se seleccionaron las series de tiempo de caudales diarios observados en la estación hidrométrica Puente Pampas, se seleccionó el periodo de un evento extraordinario presentado en la cuenca (año húmedo del 2026). La estación es administrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). La estación Puente Pampas ubicada en el distrito de Los Chankas, provincia Chincheros, departamento de Apurímac. El detalle de las estaciones se muestra en la Tabla 3.



Tabla 3: Estaciones hidrométricas

| Vertiente | Estación      | Latitud       | Longitud       | Cuenca | Fuente  |
|-----------|---------------|---------------|----------------|--------|---------|
| Amazonas  | Puente Pampas | 13°26'5.74" S | 73°49'38.53" W | Pampas | SENAMHI |

Fuente: (SENAMHI, 2026)

La Figura 3 muestra la ubicación espacial de la estación hidrométrica, y los caudales para el periodo de evento extremo del 2025, expresados en nivel del río.

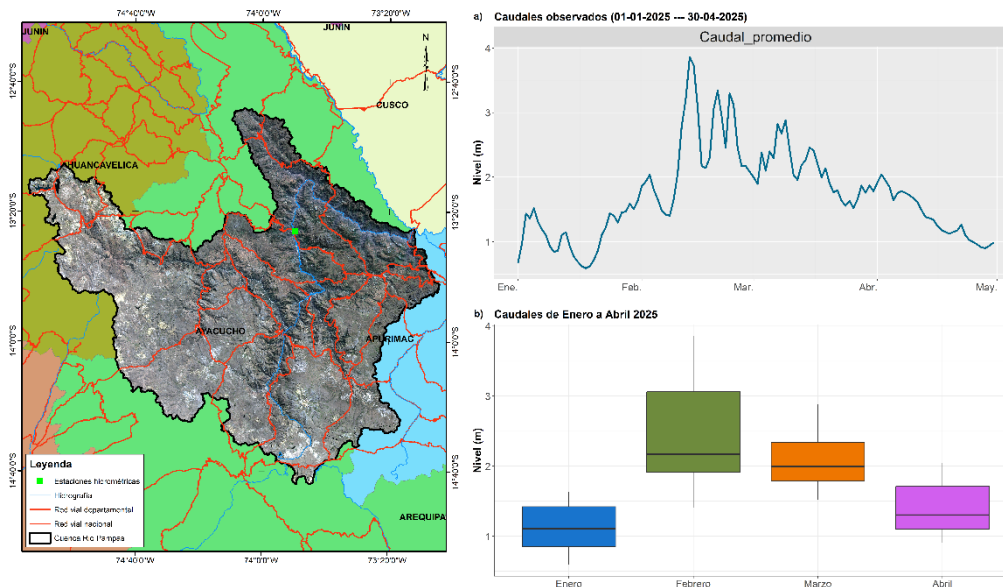


Figura 3: Ubicación de las estaciones hidrométricas y caudales para evento extremo del 2025

### 3.3 Producto PISCO

El conjunto de datos hidrometeorológicos PISCO tiene cobertura en todo territorio peruano incluyendo cuencas transfronterizas. Contiene subproductos grillados de precipitación (P), temperatura del aire (TA) y evapotranspiración potencial (PET); con una resolución espacial de 0,1° (~ 10 km) y temporal de un día. Los productos PISCO P, TA, PET están disponibles para el periodo de 1981 al 2026 (versión 2.1). PISCOP (Aybar et al., 2020) se genera mediante el uso de métodos geoestadísticos y determinísticos que incluyen tres fuentes de precipitación: (a) el conjunto de datos de pluviómetros nacionales con control de calidad, (b) climatologías de precipitación combinadas con indicadores de radar, y (c) el *Climate Hazards Group Infrared Precipitation* (CHIRP). El conjunto de datos de PISCO está disponible en:

<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO>

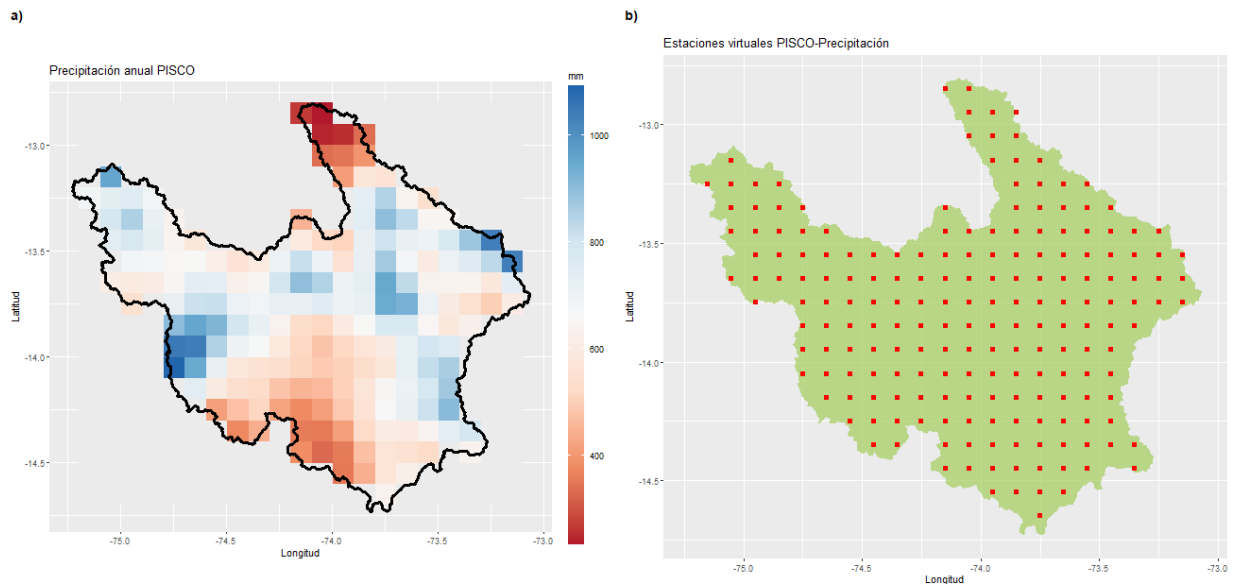


Figura 4. Datos espaciales. a) Precipitación producto PISCO, b) Estaciones virtuales para el modelamiento con RRI.

### 3.4 Modelo digital de elevaciones

Se ha utilizado el conjunto de datos de elevación digital de la *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Este producto SRTM V3 (SRTM Plus) es proporcionado por el *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) de la NASA con resoluciones espaciales de 90m para el modelo RRI y de 90m para el modelo RF). Se produjo originalmente para proporcionar datos de elevación consistentes y de alta calidad a escala casi global. Esta versión de los datos de elevación digital SRTM ha sido procesada para rellenar vacíos de datos y facilitar su uso (Jarvis, Reuter, Nelson, & Guevara, 2008). El DEM se utilizará para la implementación del modelamiento de inundación con RRI, el cual requiere principalmente los datos de elevaciones, sus derivados como dirección y acumulación de flujo de la cuenca.

La Figura 4. muestra los datos del modelo digital de elevaciones de la cuenca del río Camaná del producto SRTM, y el modelo digital de elevaciones corregido mediante el programa *demAdjust2* del modelo RRI, cuyo algoritmo es el siguiente:

- Basado en la dirección del flujo, *demAdjust2* identifica las celdas aguas arriba (es decir, celdas sin entrada de flujo).
- Entre las celdas aguas arriba detectadas, se determina el orden de búsqueda según la longitud total de los trayectos de flujo desde cada celda aguas arriba hasta su celda más aguas abajo.
- Siguiendo el orden establecido, *demAdjust2* ajusta las elevaciones según los siguientes procedimientos:



- Elevación negativa: Se establece en cero.
- Elevación (Lifting): Si una celda individual tiene una elevación extremadamente baja (probablemente debido a un error de ruido) en comparación con sus celdas aguas arriba y aguas abajo, la elevación de la celda se reemplaza por la misma elevación de la celda aguas arriba. El parámetro lift se usa como umbral para detectar caídas bruscas, y su valor predeterminado es 500 m.
- Corte (Carving): Si la elevación aumenta repentinamente en la dirección del flujo, la elevación de la celda se reemplaza por la misma elevación de la celda aguas arriba. El parámetro carve se utiliza como umbral para detectar aumentos bruscos, y su valor predeterminado es 5 m.
- *Lifting* y *Carving* combinados: Buscando desde el punto más aguas arriba, se identifica una celda cuya elevación aguas abajo es mayor que la de dicha celda (punto L). Luego, buscando desde el punto L hacia aguas abajo, se encuentra una celda cuya elevación aguas abajo es menor que la de esa celda (punto H). El punto L se eleva y el punto H se recorta utilizando el parámetro *increment*, cuyo valor predeterminado es 0.01 m.

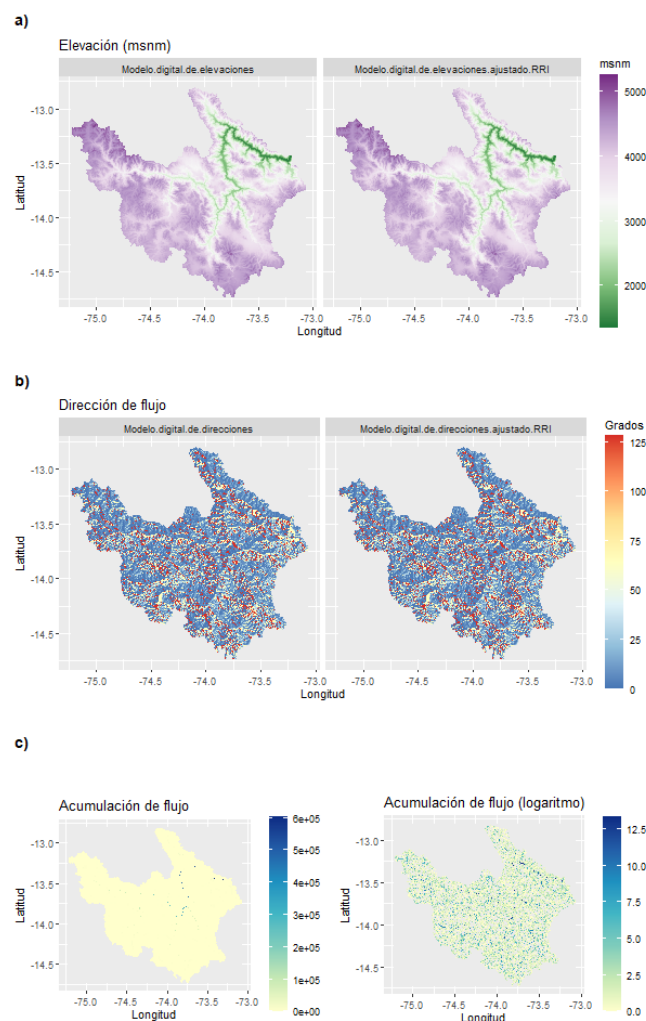


Figura 5: Datos topográficos para el modelo RRI. a) Modelo digital de elevación original y corregido, b) Dirección de flujo original y corregido, c) Acumulación de flujo normal y logaritmo.



El programa *demAdjust2* ejecuta repetidamente cada uno de los procedimientos mencionados anteriormente para cada trayecto de flujo desde todas las celdas aguas arriba detectadas, hasta que se eliminan todas las pendientes negativas. Cabe señalar que este procedimiento no modifica la dirección del flujo.

### 3.5 Datos de sensoramiento remoto

Referido a los datos de sensoramiento remoto de teledetección radar (SENTINEL 1) para la zona de estudio representada por la cuenca hidrográficas de Río Pampas.

La misión Sentinel-1 proporciona datos de un instrumento SAR (Radar de Apertura Sintética) en banda C de doble polarización con 5,405 GHz (banda C). Cada escena tiene una de tres resoluciones (10, 25 o 40 metros), cuatro combinaciones de bandas (según la polarización de la escena) y tres modos de instrumento. Cada escena contiene uno o dos de cuatro posibles bandas de polarización, dependiendo de la configuración del instrumento. Las combinaciones posibles son: "Banda única VV", "Banda única HH", "Banda dual VV+VH" y "Banda dual HH+HV":

- VV: copolarización simple, transmisión vertical/recepción vertical.
- HH: copolarización simple, transmisión horizontal/recepción horizontal.
- VV + VH: doble banda de polarización cruzada, transmisión vertical/recepción horizontal.
- HH + HV: doble banda de polarización cruzada, transmisión horizontal/recepción vertical.

Cada escena también incluye una banda adicional denominada "ángulo", que contiene en cada punto el ángulo de incidencia aproximado desde el elipsoide, en grados.

De acuerdo a la disponibilidad de los datos se descargó la polarización VV, de polarización única, transmisión vertical/recepción vertical, con resolución de 10 m.

### 3.6 Datos de dimensión social y económica

Consiste en la identificación de elementos físicos ubicados en el área de estudio tales como población, medios de vida e infraestructura, las cuales deben estar representados como capas información georreferenciadas para el análisis de exposición frente a inundaciones.



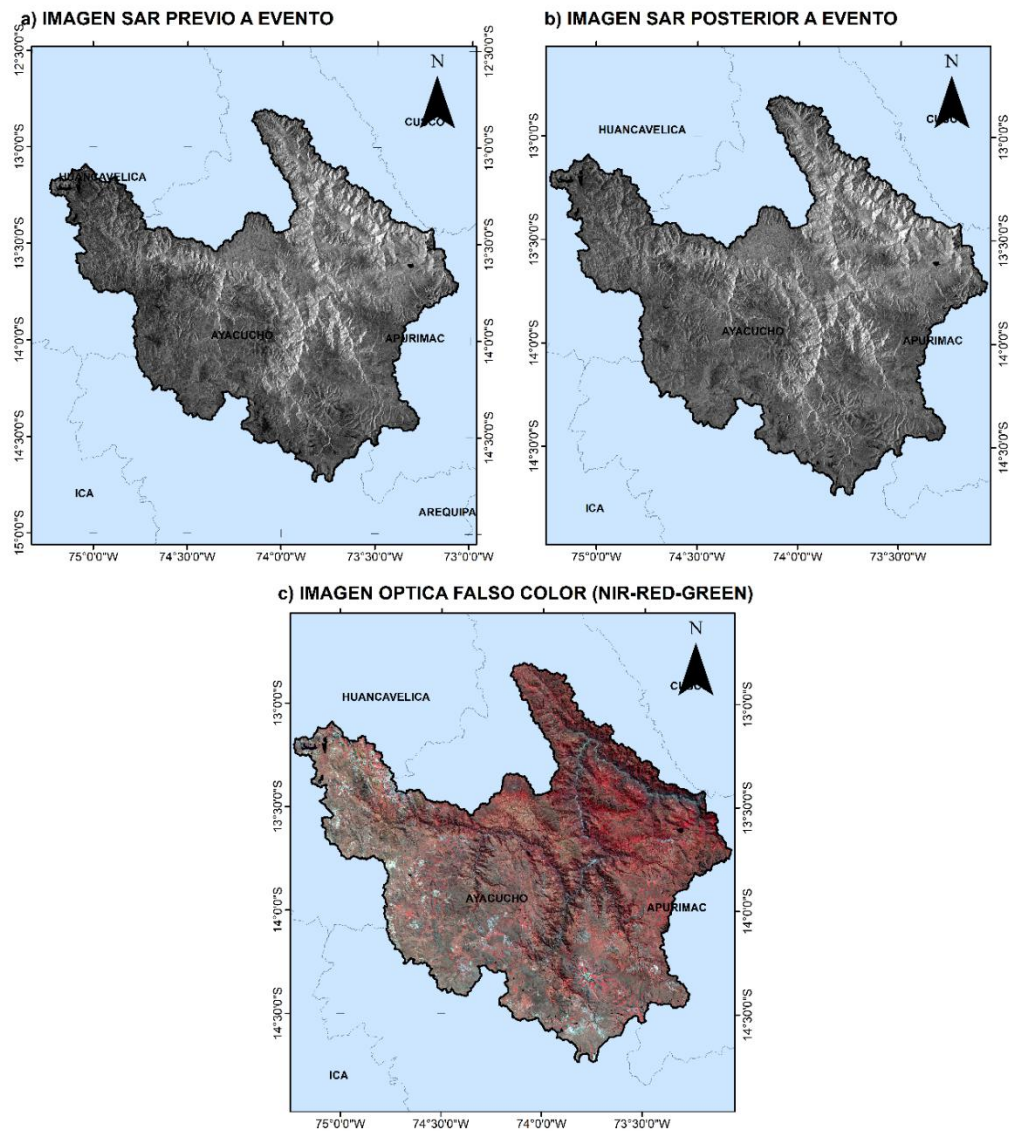


Figura 6: Imágenes SENTINEL 1 SAR con polarización VV y SENTINEL 2-A para la cuenca Río Pampas. a) Mosaico de imágenes previo a una inundación, b) Mosaico de imágenes posterior a una inundación, c) Mosaico de imagen óptica con falso color para resaltar la vegetación.

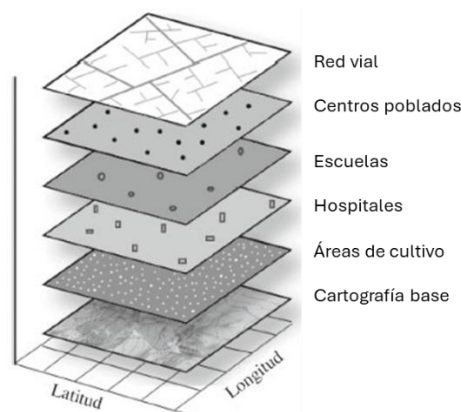


Figura 7. Capas de información georreferenciadas de elementos del territorio





#### IV. Análisis de susceptibilidad a inundaciones en la cuenca del río Pampas

La susceptibilidad se refiere al grado de predisposición de un determinado ámbito geográfico a la ocurrencia de un evento, determinada por la interacción de los factores condicionantes y desencadenantes asociados al fenómeno.

##### 4.1 Factores desencadenantes

###### a) Modelo de Precipitación-Infiltración-Inundación (RRI)

Para el modelo RRI el factor desencadenante está representado por:

Precipitación diaria: obtenido a partir del producto PISCO - precipitación diaria para el evento extremo.

###### b) Modelo Random Forest (RF)

Para el modelo RRI el factor desencadenante está representado por:

Precipitación diaria extrema: obtenido a partir del producto PISCO - precipitación diaria como el máximo extremo diario (1981-2025).

##### 4.2 Factores condicionantes

###### a) Modelo RRI

Para el modelo RRI los factores condicionantes están representados por:

Elevación: representado como el modelo digital de elevaciones, obtenido de la SRTM de 90m.

Dirección de Flujo: obtenido a partir del modelo digital de elevaciones mediante las herramientas de los sistemas de información geográfica.

Acumulación de flujo: obtenido a partir del modelo digital de elevaciones mediante las herramientas de los sistemas de información geográfica.

Cobertura de suelo: obtenido del producto MCD12Q1.006 MODIS Land Cover Type Yearly Global 500m, disponible en el catálogo de datos del GEE, re - muestreado a 90m.

###### b) Modelo RF

Para el modelo RF los factores condicionantes están representados por:

###### b.1) Factores de terreno:

- **Elevación**: obtenido del catálogo de datos de la plataforma Google Earth Engine (GEE): modelo digital de elevaciones de la NASA SRTM a una resolución espacial de 90 m.
- **Pendiente**: obtenido como la primera derivada del modelo digital de elevaciones a la resolución espacial de 90 m.
- **Geomorfología**: elaborado por INGENMET a una escala de 1/250 00, en la cual presente 54 unidades geomorfológicas en el territorio peruano, disponible desde: <https://geoservidor.minam.gob.pe/>.



### b.2) Factores meteorológicos:

Lluvia antecedente (ventana de 08 días, noviembre-abril): obtenido a partir del producto PISCO - precipitación diaria como la sumatoria de precipitación diaria de los últimos ocho días, considerando solo los meses de noviembre a abril (1981-2025). Este factor de lluvia acumulada representa las condiciones de humedad del suelo.

### b.3) Factores hidrológicos:

**El índice de humedad topográfica (TWI)** combina la contribución al escurrimiento de un área local drenada y la pendiente de la misma, y es comúnmente usado para cuantificar el control topográfico sobre los procesos hidrológicos y está definido como (Sørensen, Zinko, & Seibert, 2006):

$$TWI = \ln \left[ \frac{A}{\tan(\beta)} \right]$$

A es el área local drenada para un punto de cálculo, y  $\beta$ , es la pendiente direccional de la celda de interés (y de las 8 vecinas en el caso de utilizar un algoritmo D8). Fue generado en base al modelo digital de elevaciones SRTM a una resolución de 90 m.

### b.4) Factores de cobertura y de suelo:

- **Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)**: obtenido del producto MOD13A2.006 Terra Vegetation Indices 16-Day Global 1km de resolución espacial, disponible en el catálogo de datos del GEE.
- **Cobertura de suelo (MODIS)**: obtenido del producto MCD12Q1.006 MODIS Land Cover Type Yearly Global 500m, disponible en el catálogo de datos del GEE.
- **Geología**: obtenido de INGEMMET a una escala de 1/100,000, disponible desde: <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin>

## 4.3 Proceso metodológico

La elaboración del mapa de susceptibilidad a inundaciones considera cinco pasos principales:

- Modelamiento de Precipitación-Infiltración-Inundación (RRI)
- Modelamiento predictivo de susceptibilidad de inundaciones con Random Forest, a partir del inventario y de los factores condicionantes
- Integración del modelo RRI con modelo predictivo Random Forest (RF)
- Verificación de resultados mediante el análisis de imágenes radar (SENTINEL 1 – SAR) anteriores y posteriores a un evento de inundación
- Verificación de resultados mediante la visita de campo de puntos críticos representativos definidos en coordinación con los gobiernos locales involucrados.

La Figura 8 muestra el flujo del procedimiento para la elaboración del mapa de susceptibilidad a inundaciones en el ámbito de la Cuenca Pampas.

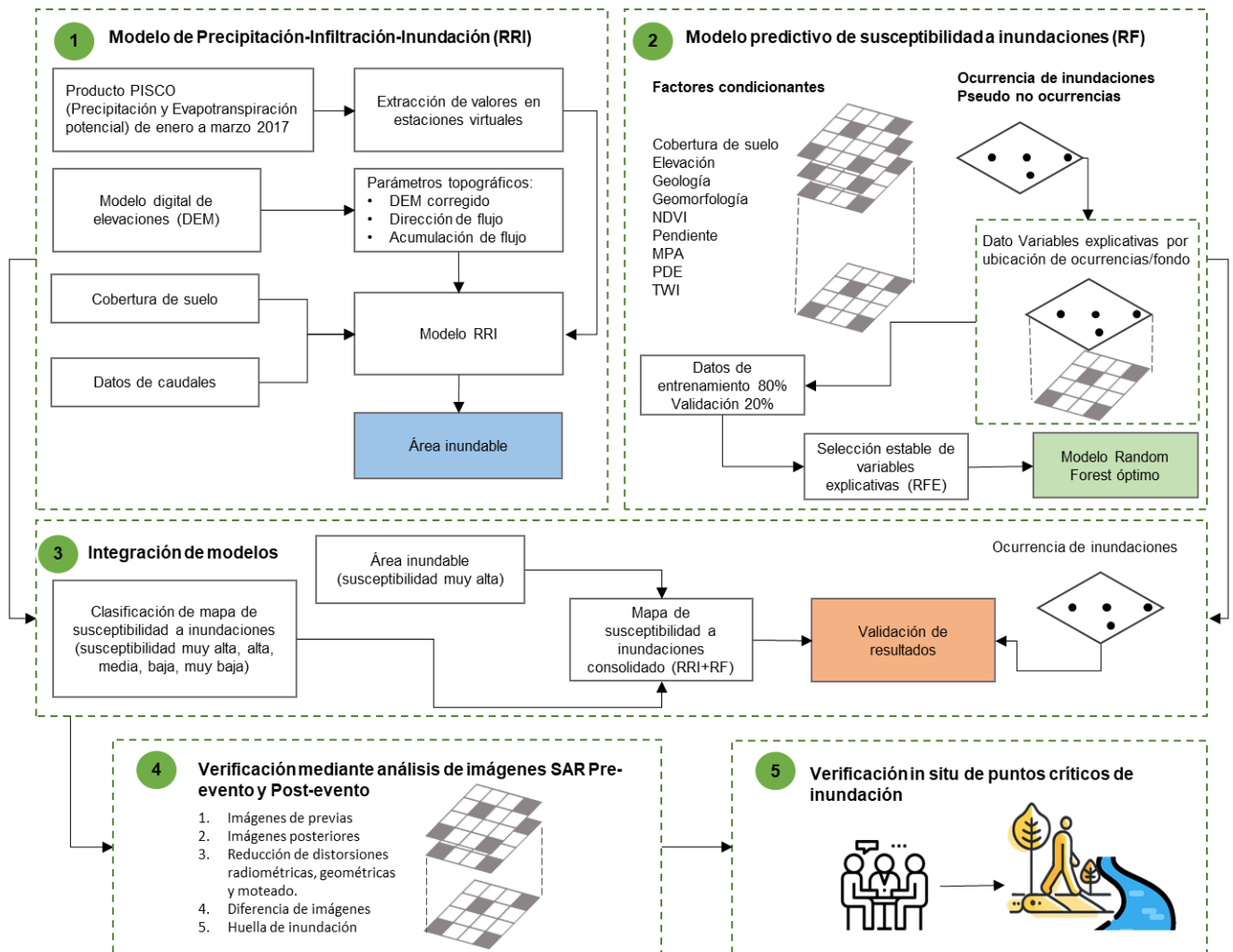


Figura 8: Diagrama de flujo para el modelamiento de susceptibilidad a inundaciones.

#### 4.3.1 Modelo RRI

El modelo RRI es un modelo bidimensional (2-D) capaz de simular simultáneamente el escurrimiento lluvia-escorrentía y la inundación (T. Sayama, Tatebe, Iwami, & Tanaka, 2015). El modelo trata el suelo y los canales fluviales de forma separada. En una celda de cuadrícula donde se encuentra un canal fluvial, el modelo asume que tanto el suelo como el río están ubicados dentro de la misma celda. El canal se discretiza como una sola línea a lo largo de la línea central de la celda de cuadrícula de la pendiente subyacente. El flujo en las celdas de cuadrícula terrestres se calcula utilizando un modelo de onda difusiva bidimensional (2-D), mientras que el flujo en el canal se calcula con un modelo de onda difusiva unidimensional (1-D).

Todas las celdas pueden recibir lluvia y contribuir al escurrimiento que fluye a través de otras celdas terrestres y canales fluviales. Al mismo tiempo, estas celdas están sujetas a inundaciones por múltiples causas: desbordamiento de los canales fluviales, expansión del agua de inundación desde las celdas terrestres circundantes, acumulación de lluvia local o cualquier combinación de las tres. Por lo tanto, el modelo RRI no distingue estructuralmente entre los procesos de lluvia-escorrentía y los de inundación; en cambio, resuelve el flujo del agua de manera hidrodinámica. En cuanto a su aplicación a una cuenca fluvial completa con entrada de precipitación, el modelo es similar a los modelos distribuidos basados en celdas para el



escurrimiento lluvia-escorrentía. Mientras que los modelos típicos de lluvia-escorrentía fijan las direcciones del flujo en cada celda de cuadrícula basándose en la topografía de la superficie, el modelo RRI cambia dinámicamente las direcciones del flujo. En este sentido, el modelo RRI se asemeja a los modelos de inundación bidimensionales (2-D). No obstante, a diferencia de muchos otros modelos de inundación, la aplicación del modelo RRI no se limita a planicies de inundación. Es aplicable a toda una cuenca fluvial. Simula las interacciones de flujo entre el suelo y los canales fluviales teniendo en cuenta los diques, de modo que el modelo RRI no requiere especificar un punto de desbordamiento ni su caudal, que normalmente se exigen como condiciones de frontera al usar modelos de inundación. Otra característica del modelo RRI es la aceptación de la lluvia y la evapotranspiración potencial como entrada del modelo. Estima la evapotranspiración real basándose en las condiciones de humedad del suelo y simula los procesos de flujo superficial y subterráneo, incluyendo la inundación. La aplicación de una ecuación integrada para los flujos superficiales y subterráneos, resuelto numéricamente mediante un algoritmo Runge–Kutta de paso de tiempo adaptativo (Cash & Karp, 1990), permite que el modelo RRI realice cálculos rápidos y estables, incluso en cuencas fluviales grandes con áreas montañosas y llanuras.

La Figura 10. muestra los parámetros iniciales para la ejecución del modelo RRI para la cuenca del río Camaná, la cual fue simulada a una resolución espacial de  $\approx 90\text{m}$  por la extensión de la cuenca y capacidad computacional, luego fue re-muestreado a 90 m mediante el vecino más cercano para uniformizar con la resolución de salida del modelo RF.

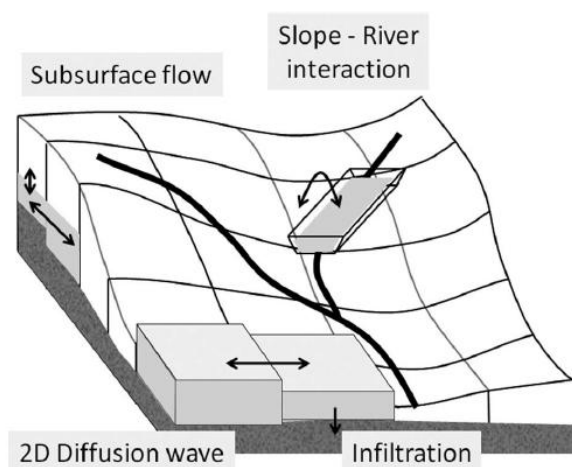


Figura 9: Diagrama esquemático del modelo de lluvia-escorrentía-inundación (RRI).  
Fuente: (Takahiro Sayama, Ozawa, Kawakami, Nabesaka, & Fukami, 2012)

Los resultados obtenidos del modelo RRI en base a la precipitación de enero a abril para el evento extremo del 2025 en la cuenca del río Pampas se muestran en la Figura 11.

Los resultados obtenidos muestran la zona de inundación en la parte media de la cuenca, en las zonas que representan zonas de valle altoandinos, en la cual se desarrolla agricultura. El modelo RRI ha permitido definir el área de inundación para el evento extraordinario del 2025, pero estos resultados serán complementados con el modelo de susceptibilidad obtenido mediante *Random Forest*.



## ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIONES EN LA CUENCA PAMPAS

```
3 ./rain/rain.dat
4 ./topo/adem.txt
5 ./topo/acc.txt
6 ./topo/adir.txt
7
8 0 # utm(1) or latlon(0)
9 1 # 4-direction (0), 8-direction(1)
10 360 # lasth [hour]
11 600 # dt [sec]
12 60 # dt_riv [sec]
13 90 # outnum [-]
14 -75.63770d0 # xllcorner_rain
15 -15.31430d0 # yllcorner_rain
16 0.00081d0 0.00081d0 # cellsize_rain
17
18 0.03d0 # ns_river
19 3 # num_of_landuse
20 1 1 1 # diffusion(1) or kinematic(0)
21 0.03d0 0.08d0 0.2d0 # ns_slope
22 1.0d0 0.7d0 1.2d0 # soildepth
23 0.24 0.34 0.40 # gammaa
24
25 0.d0 0.d0 0.d0 # kv
26 0.d0 0.1101d 0.273d # Sf
27
28 0.d0 0.d0 0.d0 # ka
29 0.d0 0.d0 0.d0 # gammam
30 8.0d0 8.0d0 8.0d0 # beta
31
32 0.d0 0.d0 0.d0 # ksg (m/s) -- set zero for no bedrock gw
33 0.037d0 0.037d0 0.037d0 # gammag (-)
34 5.7d-5 5.7d-5 5.7d-5 # kg0 (m/s)
35 0.1d0 0.1d0 0.1d0 # fg (-)
36 0.d0 0.d0 0.d0 # rgl
37
38 100 # riv_thresh
39 5.0d0 # width_param_c
40 0.35d0 # width_param_s
41 0.95d0 # depth_param_c
42 0.20d0 # depth_param_s
43 0.d0 # height_param
44 20 # height limit param
```

Figura 10. Parámetros iniciales para el modelo RRI en la cuenca del río Pampas

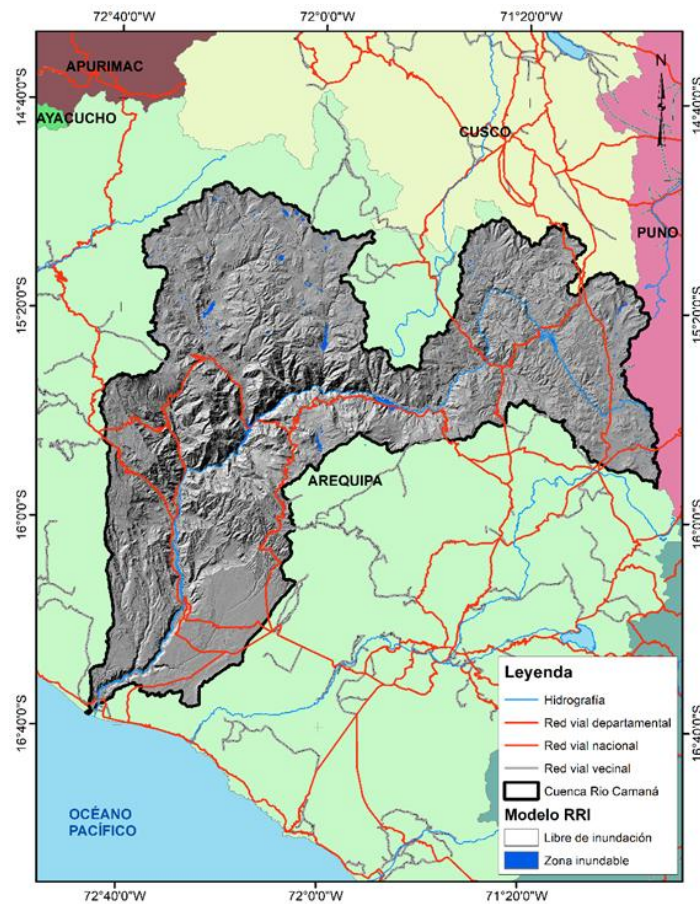


Figura 11. Resultados del modelo RRI en la cuenca del río Pampas. Huella de inundación para el evento del 2025.



#### 4.3.2 Modelamiento predictivo de susceptibilidad de inundaciones con Random Forest

El método Random Forest (RF) es una técnica de aprendizaje por ensamble que crea múltiples árboles de decisión para analizar la relación entre las inundaciones y los factores condicionantes, tanto para regresión como para clasificación (Rifath, Muktadir, Hasan, & Islam, 2024).

En RF, se selecciona aleatoriamente un subconjunto de datos y de parámetros predictivos para entrenar cada árbol. Esto ayuda a reducir el sesgo de entrenamiento y mejora el rendimiento en conjuntos de datos ambiguos. Formalmente, para cada árbol en el bosque, se toma una muestra  $S_b$  de tamaño  $n$  con reemplazo de los datos de entrenamiento  $S$ . A partir de esta muestra  $S_b$ , se construye un árbol de decisión  $T_b$ . Durante la construcción del árbol, en cada nodo, se selecciona un subconjunto aleatorio de  $m$  predictores del total de  $M$  predictores, y se elige la mejor división entre estos  $m$ . Este proceso puede expresarse como:

$$S_b \subseteq S, T_b = \text{Tree}(S_b, \{m \subseteq M\})$$

Cada árbol realiza una predicción, y el resultado final se basa en la votación mayoritaria de todos los árboles en el caso de clasificación, o en el promedio de las predicciones de todos los árboles en el caso de regresión. Para clasificación, la votación mayoritaria se expresa como:

$$\hat{y} = \text{mode}(\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_B)$$

Donde  $\hat{y}_1$  es la clase predicha por el  $i$ -ésimo árbol, y  $B$  es el número total de árboles en el bosque.

Para regresión, la predicción final es el promedio de todas las predicciones de los árboles individuales:

$$\hat{y} = \frac{1}{B} \sum_{i=1}^B \hat{y}_i$$

Donde  $\hat{y}_1$  es el valor predicho por el  $i$ -ésimo árbol. Random Forest se utiliza a menudo como un punto de referencia para los modelos de sensibilidad a inundaciones.

En cuanto al proceso de RF, una estructura elemental de árbol de decisión comienza con una muestra de entrada (variable) y se ramifica según criterios preestablecidos. Si se cumplen los criterios ('sí'), el árbol de decisión avanza por la ruta definida; si no se cumplen ('no'), sigue una ruta alternativa. Este proceso iterativo continúa hasta que el árbol de decisión llega a un nodo terminal, determinando el resultado final.

Como predictores para la caracterización de las inundaciones se han seleccionado los factores condicionantes y el factor desencadenante, tal como se muestra en la Figura 12.

Para el modelo RF, se cuenta con 418 registros de ocurrencias de inundaciones y se han utilizado 9 predictores (Figura 12)



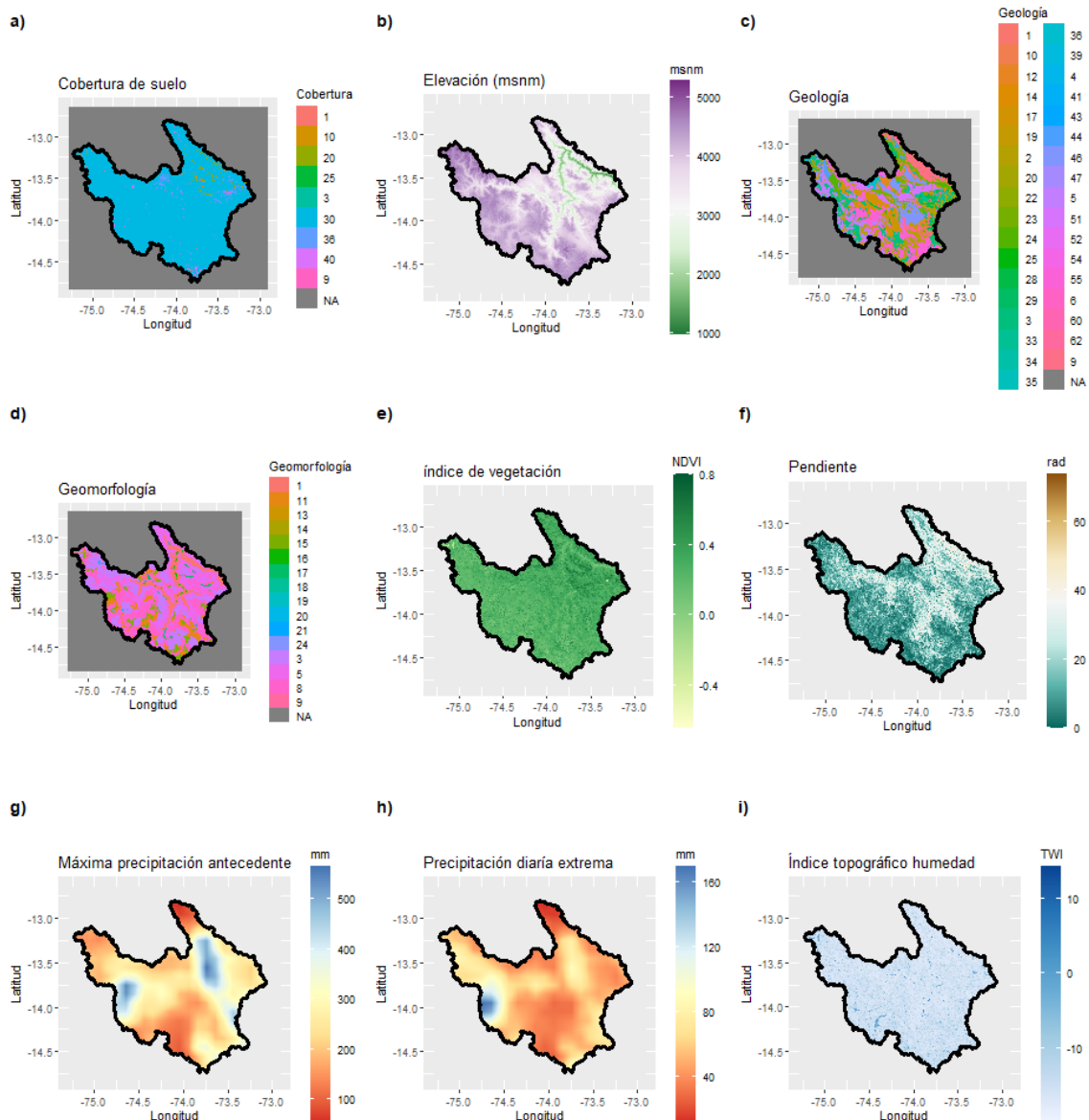


Figura 12. Predictores de inundaciones: a) cobertura de suelo, b) Elevación, c) Geología, d) Geomorfología, e) Índice de vegetación de diferencia normalizada, f) Pendiente, g) Máxima precipitación antecedentes, h) Precipitación diaria extrema, i) Índice topográfico de humedad.

Los datos sobre la ocurrencia de inundaciones provienen de las fuentes como la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET (INGEMMET) y el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y son compilados en el Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres (SIGRID), bajo la responsabilidad del CENEPRED. Estos datos se presentan con la siguiente distribución, luego de un proceso de depuración para eliminar registros duplicados:

Se generaron 1082 datos de pseudo-no ocurrencias de manera aleatoria, excluyendo las ubicaciones de los datos de ocurrencia, estos servirán como datos de fondo para el modelo RF. Entre datos de ocurrencia (418) y datos de fondo (1082) se tendrían 1500 registros. La partición de los datos se realizó mediante muestreo aleatorio sin reemplazo, la cual es una técnica de muestreo probabilístico donde se extrae una muestra de una población de forma aleatoria, pero una vez que una unidad es



seleccionada, no se vuelve a incluir en el grupo de unidades disponibles para la siguiente selección. Teniendo para los datos de entrenamiento el 80% (1200) y para los datos de prueba el 20% (300).

El modelo de clasificación RF fue simulado en R, mediante la librería *randomForest*, disponible en: <https://cran.r-project.org/web/packages/randomForest/index.html>

El entrenamiento y la validación de modelos son fundamentales para la aplicación exitosa de modelos de RF, *mtry* y *ntree* son los dos parámetros más importantes que afectan significativamente la precisión del modelo. Por tanto, la validación cruzada se basó en el modelo de RF con 09 predictores para analizar la sensibilidad de los dos parámetros.

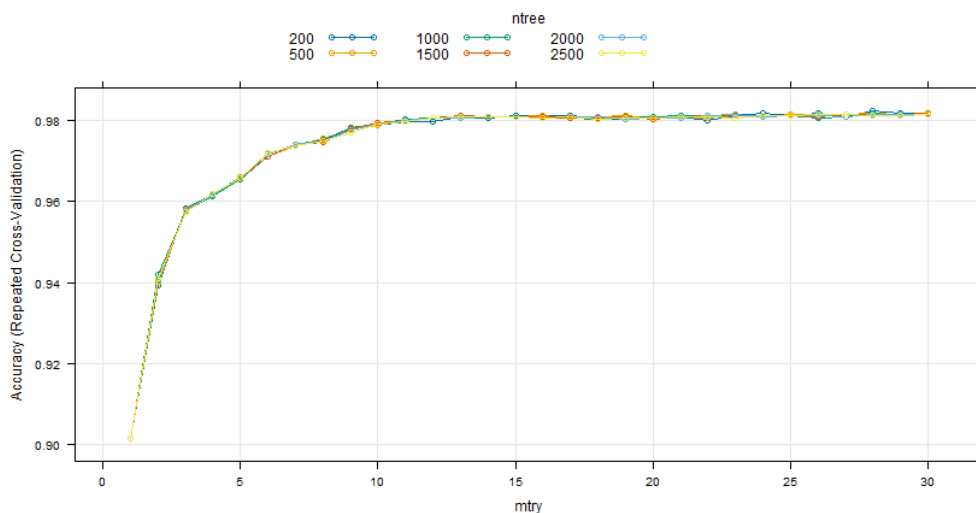


Figura 13. Precisión del modelo en función de los parámetros que se utilizaron en el modelo de RF (*mtry* y *ntree* son dos parámetros importantes del modelo de RF).

La Figura 13 muestra la verificación del *mtry* y *ntree* óptimos comparando la precisión del modelo con los datos de entrenamiento (80 % de los datos). La precisión aumenta con la cantidad de *mtry*, teniéndose un valor óptimo con 29, el valor de *ntree* no muestra una variación significativa, los mejores parámetros fueron utilizados para el modelo RF (*mtry* 29, *ntree* 200).

El modelo RF puede medir la importancia de una característica e incorporarla a los resultados finales. El modelo puede evaluar la contribución relativa de cada factor permutando los valores de cada característica en cada observación en el conjunto de datos y midiendo cuánto peor se vuelve el error medio cuadrático (MSE) después de la permutación. La Figura 14 muestra las contribuciones relativas de cada variable de entrada a la susceptibilidad a las inundaciones, mostrando que los predictores Altitud (13.39%), Índice topográfico de humedad (13.08%), Precipitación máxima diaria (12.66%), Precipitación máxima antecedente (12.58%) se presentan como las variables más importantes para la predicción del modelo RF. Se aprecia que los factores relacionados a las precipitaciones precipitación diaria extrema (PDE) y Máxima precipitación antecedente (MPA) tienen un aporte importante al modelo de predicción RF. Las precipitaciones representan los desencadenantes de las inundaciones, al ser una cuenca de formación andina y húmeda, las precipitaciones son importante es la zona de inundación.

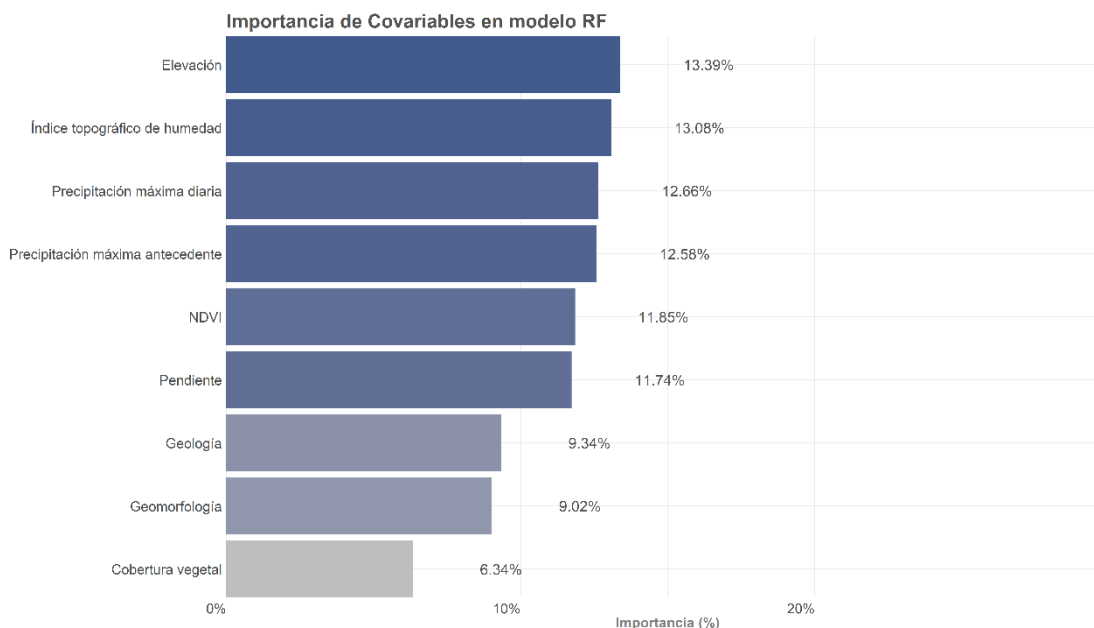


Figura 14: Importancia relativa de los factores de susceptibilidad a la ocurrencia de inundaciones en la cuenca del río Pampas.

Los resultados obtenidos del modelo de clasificación con Random Forest en base al inventario de ocurrencia de inundaciones (a una resolución espacial de 90m), y variables predictoras se muestran en la Figura 15. Los resultados fueron evaluados de acuerdo a área bajo la curva AUC, se aprecia una buena eficiencia para los datos de validación (ocurrencias que no fueron tomadas en cuenta para la implementación del modelo), teniendo un AUC de 0.9991, el cual es cercano a 1, con lo cual el modelo tendría una performance muy alta.

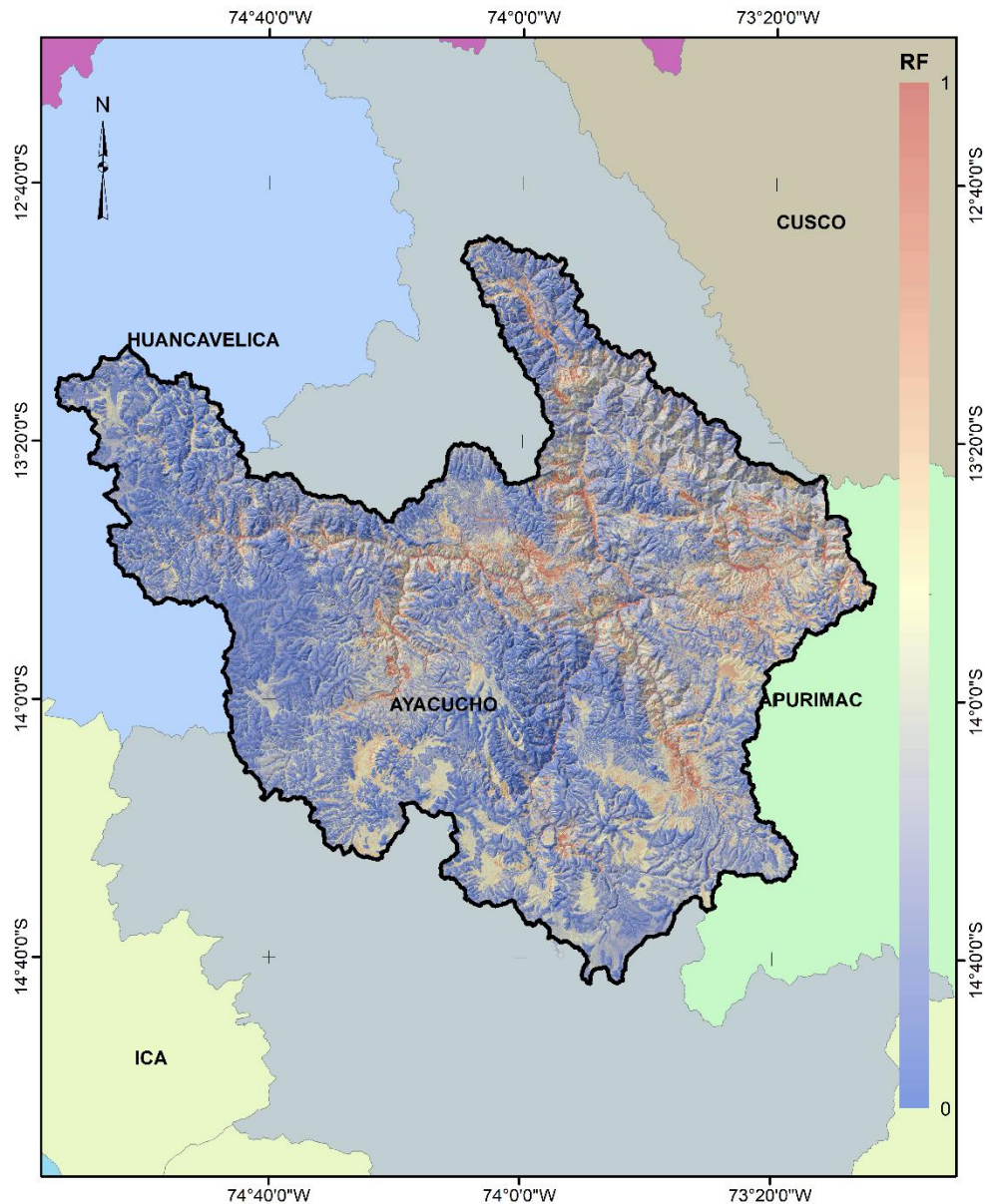


Figura 15. Resultados del modelo RF. Susceptibilidad a ocurrencia de inundaciones.

En la Figura 15 se muestra los resultados del modelo de predicción de susceptibilidad usando RF, las tonalidades en rojo muestran las áreas más susceptibles a ser afectadas por las inundaciones (probabilidad cercana a 1), mientras las tonalidades en azul muestran las zonas que no serían afectadas o poco afectadas (probabilidad cercana a 0). Se aprecia que las áreas más propensas a afectación están representadas por las zonas de valles en la parte media y baja de la cuenca, representado por los depósitos aluviales y fluviales.

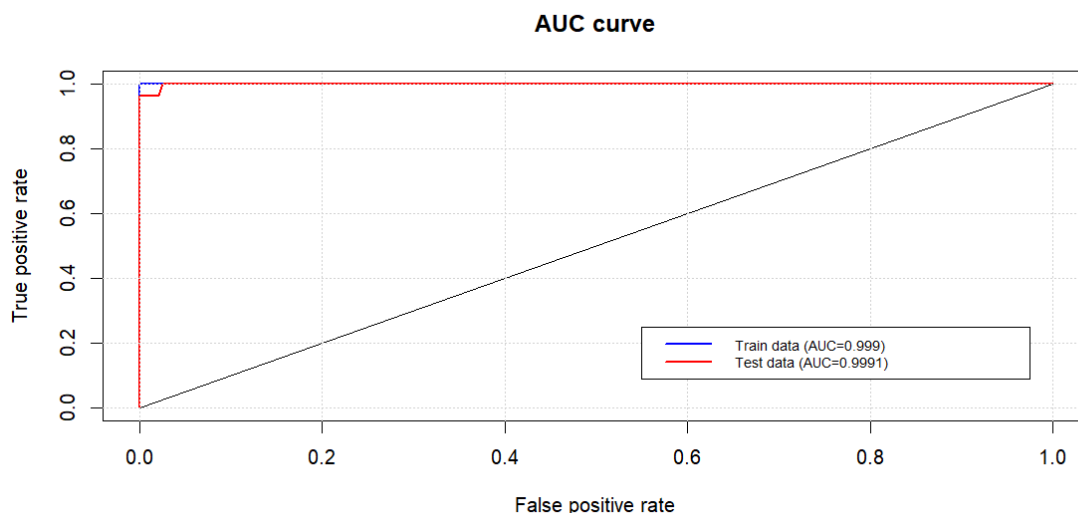


Figura 16. Área bajo la curva para los datos de calibración y validación del modelo RF.

#### 4.3.3 Integración del modelo RRI con modelo predictivo Random Forest

Para la integración de los modelos generados se procederá clasificando el resultado de huella de inundación de modelo RRI como susceptibilidad muy alta a ocurrencia de inundaciones. Luego la clasificación se realizará de acuerdo a la distribución de los valores de susceptibilidad dentro de la cuenca de estudio, teniendo en cuenta las ocurrencias de inundaciones, clasificando en muy alta, alta, media, baja, muy baja.

El modelo integrado, complementará la huella de inundación obtenida con el modelo RRI con la capacidad predictiva de técnicas de aprendizaje automático como RF, que permitirá zonificar en cuanto a susceptibilidad o probabilidad de ocurrencia a inundaciones en la cuenca del río Pampas.

Se evaluaron las mejoras al modelo o alternativas al modelo integrado RRI+RF, en tal sentido se incorporó el análisis de las imágenes SAR y los trabajos de campo, esta mejora ha permitido la validación de los resultados y evaluación de escenarios de riesgo por inundación en la cuenca Río Pampas.

Para la fusión de los modelos generados se procedió de la siguiente manera:

- a) Se realizó la suma de los mapas binarios RRI (valores 0 y 1) con el mapa RF (valores entre 0 y 1).
- b) El mapa resultante varía entre 0 y 2.
- c) Luego se clasifica: Valores mayores a 0.9 se clasifica como **Muy Alto**, los valores entre 0.75-0.9 se clasifica como **Alto**, los valores entre 0.6-0.75 se clasifica como **Medio**, los valores entre 0.4-0.6 se clasifica como **Bajo**, los valores menores se clasifican como **Muy Bajo**.
- d) Visita de campo para la verificación de puntos críticos.
- e) Reuniones técnicas con gobiernos locales involucrados en la evaluación de riesgo de desastres por inundación para la recepción de sugerencias, mejoras al modelo.

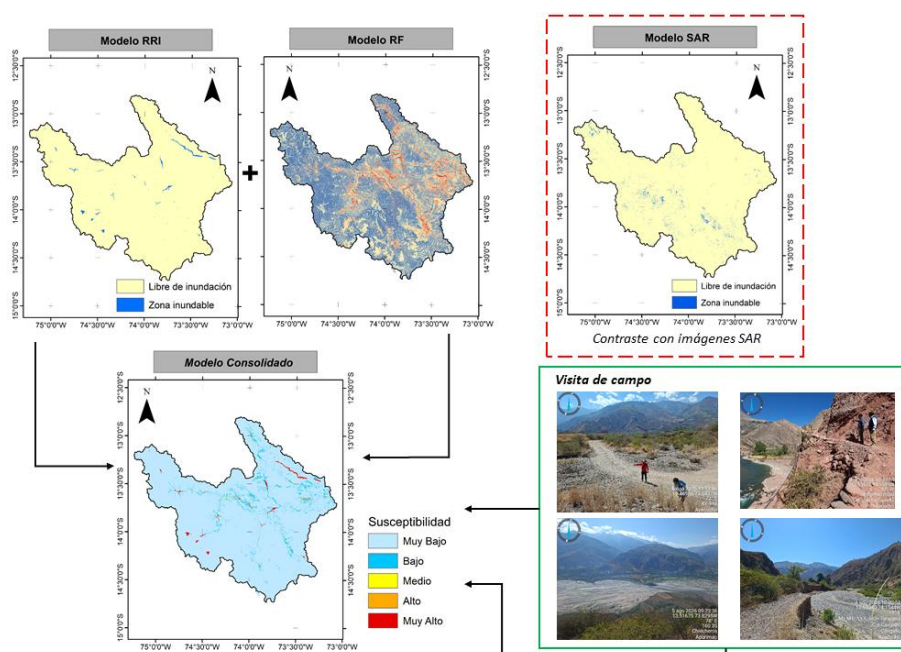


Figura 17. Flujo de proceso para obtener el Modelo Compuesto para la cuenca Río Pampas.

La clasificación se realizó de acuerdo a la distribución de los valores de susceptibilidad dentro de la cuenca de estudio, teniendo en cuenta las ocurrencias de inundaciones, se ha tomado el valor de 0.75 como punto de corte, donde los que se encuentran por encima de dicho valor representan susceptibilidad alta y muy alta (zona de inundación obtenido por el modelo RRI + Susceptibilidad RF), para la susceptibilidad media fue de 0.6-0.75, para la susceptibilidad bajo fue de 0.4-0.6, finalmente muy bajo 0-0.4 (Tabla 4).

Tabla 4: Clasificación de los valores de susceptibilidad para la cuenca río Pampas.

| Susceptibilidad | Clasificación | Porcentaje de área | Área (km <sup>2</sup> ) |
|-----------------|---------------|--------------------|-------------------------|
| 0-0.4           | Muy bajo      | 56.79%             | 13,196.95               |
| 0.4-0.6         | Bajo          | 32.91%             | 7,464.37                |
| 0.6-0.75        | Medio         | 6.24%              | 1,450.65                |
| 0.75-0.9        | Alto          | 2.74%              | 636.71                  |
| 0.9-1.0         | Muy alto      | 1.32%              | 305.72                  |

La Tabla 4. muestra la cantidad de ocurrencias por cada clase del modelo compuesto RRI+RF, en la cual se aprecia que entre la susceptibilidad alta y muy alta el modelo ha identificado el 82.54% de las ocurrencias de inundaciones en la cuenca. Se aprecia que el modelo en la clasificación muy alta captura el 52.87% de los registros, lo cual define la huella de inundación para un evento extraordinario seleccionado, el modelo complementa la susceptibilidad en base al modelo RF de acuerdo a las ocurrencias como registros de inundaciones, emergencias registradas, identificados como puntos críticos de riesgo de inundación. Teniendo así el modelo propuesto





RRI+RF una alta capacidad para identificar las zonas susceptibles a inundaciones en la cuenca del río Pampas.

El modelo desarrollado RRI+RF ha permitido zonificar en cuanto a susceptibilidad o probabilidad de ocurrencia a inundaciones en la cuenca del río Pampas. Este mapa de susceptibilidad representa una herramienta de gestión para la priorización de zonas potencialmente inundable, en las cuales se puedan realizar los estudios más detallados (modelos hidráulicos, topografía a detalle, entre otros) referentes a la temática de inundaciones, ya que debido a la extensión de la cuenca y complejidad de la misma se hace necesario zonificar e identificar las zonas que deberían ser evaluadas a mayor detalle y en las cuales se debe realizar la gestión de riesgo de desastres a inundaciones a una escala más local.

Tabla 5: Clasificación de ocurrencias de inundación de acuerdo a los resultados del modelo de susceptibilidad RRI+RF para la cuenca río Pampas.

| Susceptibilidad       | Ocurrencias | Porcentaje |
|-----------------------|-------------|------------|
| Muy baja              | 1           | 0.24%      |
| Baja                  | 19          | 4.55%      |
| Media                 | 53          | 12.68%     |
| Alta                  | 124         | 29.67%     |
| Muy alta (modelo RRI) | 221         | 52.87%     |

De acuerdo a los registros de ocurrencias y la visita de campo se puede apreciar que, durante los periodos de fuertes lluvias, la cuenca del río Pampas presenta afectaciones por inundaciones en la parte baja y media de la cuenca.

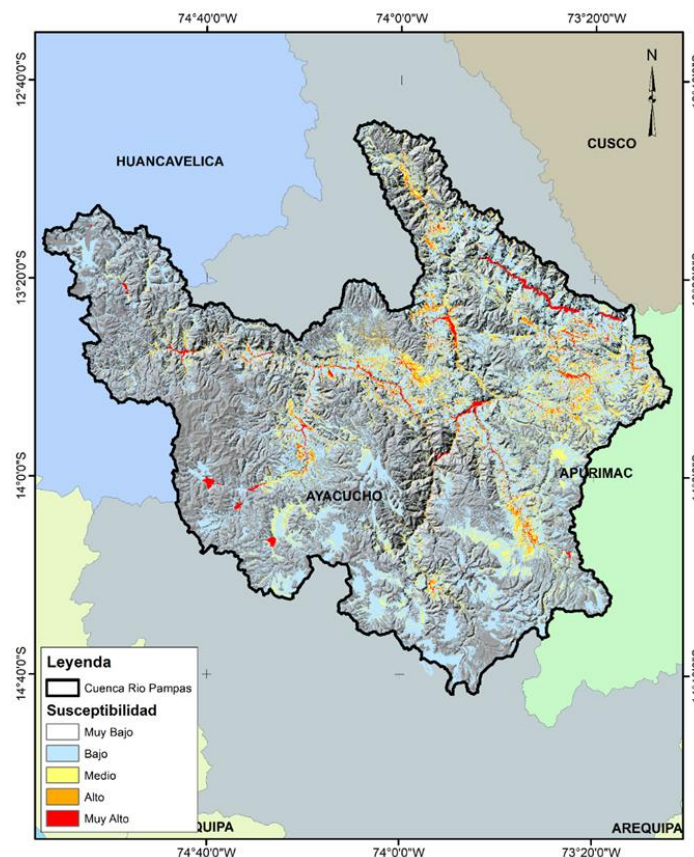


Figura 18. Resultados del modelo RRI+RF de susceptibilidad a inundación en la cuenca río Pampas. La susceptibilidad de ocurrencia a inundación se muestra clasificado desde muy bajo a muy alto.



#### 4.3.4 Verificación mediante el análisis de imágenes radar (SENTINEL-1 – SAR) previo y posterior a un evento de inundación

Para analizar las áreas de afectación de peligros de inundaciones se utilizaron datos de sensoramiento remoto, a través de un catálogo de imágenes *Synthetic Aperture Radar* (SAR) disponibles de la constelación *Copernicus*. Sentinel-1 es uno de los mejores para sistemas SAR. Se ha considerado el método de umbral y el procesamiento multitemporal de las imágenes SAR Sentinel-1.

Se requieren dos conjuntos de imágenes satelitales para detectar la inundación y estimar su extensión. Un conjunto consiste en la imagen adquirida antes del evento y el otro comprende las imágenes adquiridas durante/posterior a la ocurrencia del evento de inundación. La imagen previa generalmente se usa como referencia. Éstas imágenes se pueden usar para buscar y mapear las áreas inundadas (Anusha & Bharathi, 2019).

Las imágenes SAR comprenden un sistema de percepción remota que no depende de la energía electromagnética del sol o de las propiedades térmicas de la tierra. Los datos satelitales de microondas (SAR) son la herramienta preferida para el mapeo de inundaciones desde el espacio debido a su capacidad de capturar las imágenes tanto de día y de noche, independientemente de las condiciones climáticas.

El procedimiento metodológico consta de las siguientes etapas:

- Pre-procesamiento: Las imágenes SAR se degradan por el ruido moteado (speckle noise). La eliminación del “speckle noise” se realiza utilizando un filtro mediano de tamaño de ventana 3x3. Luego, la rectificación geométrica de las imágenes se realiza de imagen a imagen.
- Estimación de la mancha de inundación: a partir de la imagen previa a la inundación, la máscara de agua se genera aplicando la técnica de digitalización. El umbral (Rahman & Thakur, 2018) es la técnica aplicada en las imágenes durante la inundación para discriminar los cuerpos de agua y las áreas no acuáticas de la imagen SAR.
- Pos-procesamiento: el mapeo de inundaciones se realiza superponiendo la capa inundada en el mapa a nivel de pixel para el evento analizado (evento extremo del año 2024).

Para el análisis de las imágenes Sentinel-1 SAR, se seleccionaron las imágenes entre el 01 de enero y 30 de marzo como condiciones previas a la inundación, las imágenes entre el 01 y 25 de marzo del 2024 como condiciones posteriores a la inundación, ya que entre en ese periodo se registraron las fuertes precipitaciones en el ámbito de la cuenca Pampas.

Los datos fueron descargados desde la plataforma de Google Earth Engine, disponibles:

[https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS\\_S1\\_GRD?hl=es-419](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S1_GRD?hl=es-419)

Se puede elegir entre las polarizaciones ‘VH’ y ‘VV’ para realizar el análisis. Se recomienda ampliamente el uso de ‘VH’ para la cartografía de inundaciones, ya que es más sensible a los cambios en la superficie terrestre, mientras que ‘VV’ es más susceptible a estructuras verticales y puede ser útil para delimitar cuerpos de agua abiertos respecto a la superficie terrestre (por ejemplo, detección de la línea de costa o un gran cuerpo de agua que se formó tras un evento de inundación).



Al realizar la detección de cambios, es necesario seleccionar la misma dirección de pasada para las imágenes que se van a comparar, con el fin de evitar señales falsas positivas causadas por diferencias en el ángulo de visión. Se puede elegir entre las direcciones de pasada 'DESCENDENTE' y 'ASCENDENTE', dependiendo del área de estudio y disponibilidad de los datos.

La información de las imágenes Sentinel-1 Nivel 1 Ground Range Detected (GRD) en *Google Earth Engine* ya ha pasado por los siguientes pasos de preprocesamiento:

- *Apply-orbit-file* (actualiza los metadatos de la órbita)
- Eliminación de ruido en los bordes (*ARD border noise removal*) – elimina ruido de baja intensidad y datos no válidos en los bordes de la escena
- Eliminación de ruido térmico (*Thermal noise removal*) – elimina ruido aditivo en las sub-bandas
- Calibración radiométrica – calcula la intensidad de retrodispersión utilizando parámetros de calibración del sensor
- Corrección del terreno (*terrain-correction*) – ortorrectificación
- Conversión del coeficiente de retrodispersión ( $\sigma^0$ ) a decibelios (dB)

Para la detección de cambios, se aplica el enfoque en el que el mosaico posterior a la inundación se divide por el mosaico anterior a la inundación (esto se realizó con el álgebra de mapas en los sistemas de información geográfica), lo que da como resultado una capa ráster que muestra el grado de cambio por píxel. Los valores altos (píxeles en azul) indican un cambio significativo, mientras que los valores bajos (píxeles transparentes) indican poco cambio en la Figura 19.

La Figura 19 muestra las áreas inundadas (tonos azules) de acuerdo al análisis de imágenes de satélite para el evento extremo de fuertes precipitaciones del 2024, los resultados muestran que las zonas afectadas son los valles agrícolas en la parte baja de la cuenca, en la parte media y alta de la cuenca, donde se presentan valles interandinos.

#### 4.3.5 Verificación in situ de puntos críticos de inundación

Se realizó los trabajos de verificación en campo en compañía de autoridades locales desde los días 02 al 04 de junio de 2026 en los distritos de Cangallo (Cangallo) y Vilcas Huamán, Concepción (Vilcas Huamán) del departamento de Ayacucho.

La figura 20 muestra la ubicación espacial de los puntos visitados en campo por CENEPRED y las autoridades locales. Los puntos visitados coinciden con los resultados del modelo en susceptibilidad alta y muy alta de ocurrencia de inundaciones.



## ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIONES EN LA CUENCA PAMPAS

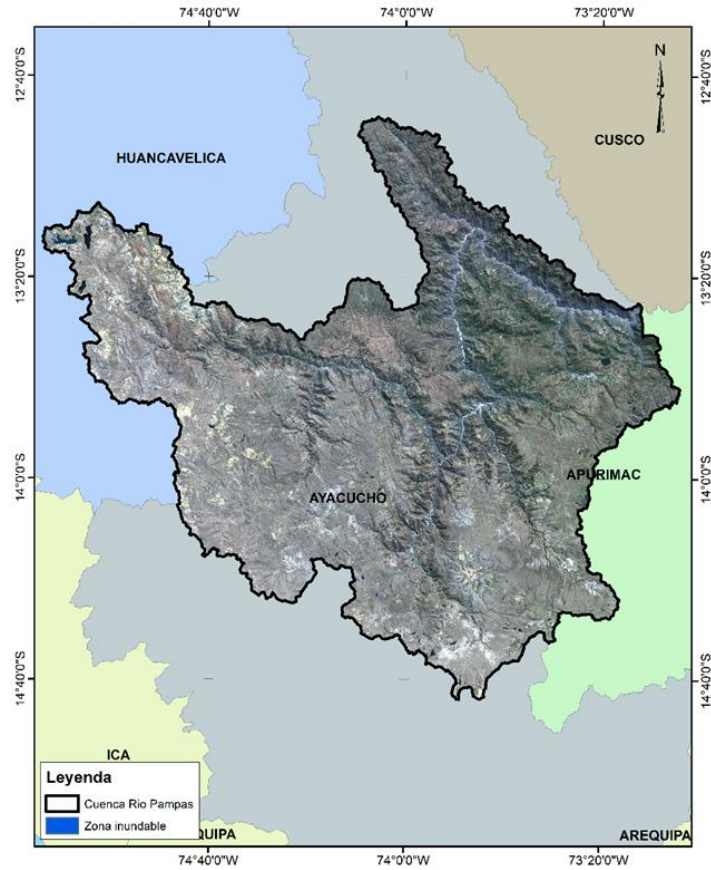


Figura 19: Área de inundación obtenido con las imágenes Sentinel-1 SAR para el evento extremo del 2024.

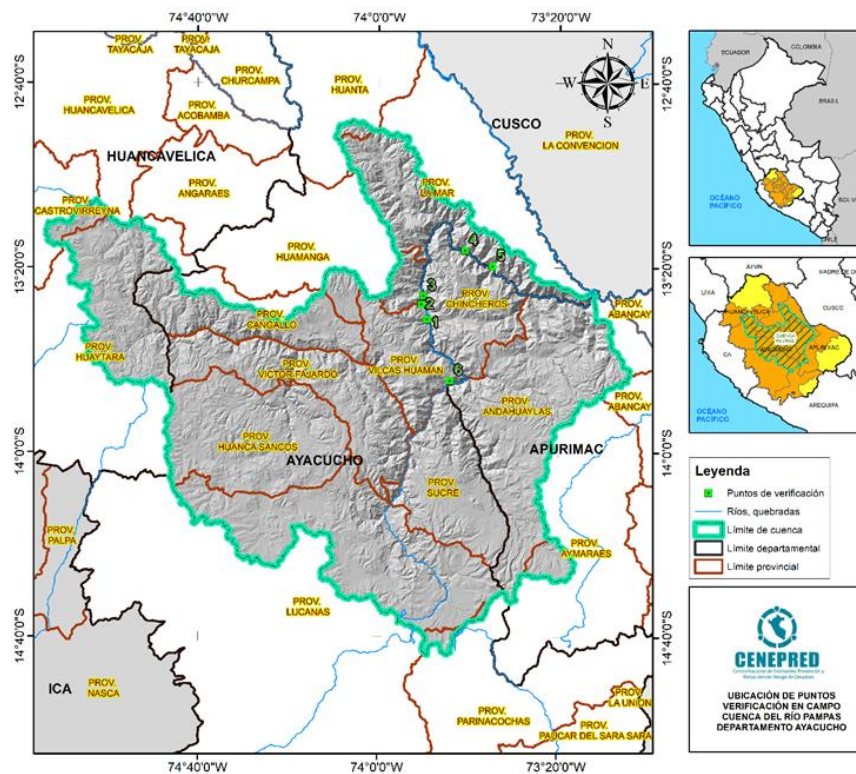


Figura 20. Ubicación de los puntos verificados en campo en las provincias de Cangallo y Vilcas Huamán (distrito de Concepción), en el ámbito de la cuenca del río Pampas.





## ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIONES EN LA CUENCA PAMPAS

A continuación, se muestran las ubicaciones y descripción de los puntos visitados durante la visita de campo en agosto de 2026.

|                                                                                                                           |          |               |              |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|--------------|--|
| ID                                                                                                                        | Este     | Norte         | Elevación    |  |
| 1                                                                                                                         | 627461.8 | 8505708.3     | 2056.0       |  |
| Distrito                                                                                                                  |          | Provincia     | Departamento |  |
| Concepción                                                                                                                |          | Vilcas Huamán | Ayacucho     |  |
| Descripción                                                                                                               |          |               |              |  |
| Zona inundable al borde del río, se aprecian áreas de cultivo arrasadas por crecida del río (lado de Concepción-Ayacucho) |          |               |              |  |

|                                                                                                                                                                   |          |               |              |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|--------------|--|
| ID                                                                                                                                                                | Este     | Norte         | Elevación    |  |
| 2                                                                                                                                                                 | 626123.6 | 8512767.2     | 1945.0       |  |
| Distrito                                                                                                                                                          |          | Provincia     | Departamento |  |
| Concepción                                                                                                                                                        |          | Vilcas Huamán | Ayacucho     |  |
| Descripción                                                                                                                                                       |          |               |              |  |
| Zona inundable al borde del río (lado de Chincheros-Apurímac), se aprecia la acumulación y extracción masiva de agregados del río pudiendo esto afectar al cauce. |          |               |              |  |

|                                                                                                      |          |               |              |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|--------------|--|
| ID                                                                                                   | Este     | Norte         | Elevación    |  |
| 3                                                                                                    | 625964.5 | 8512297.1     | 1948.0       |  |
| Distrito                                                                                             |          | Provincia     | Departamento |  |
| Concepción                                                                                           |          | Vilcas Huamán | Ayacucho     |  |
| Descripción                                                                                          |          |               |              |  |
| Zona inundable al borde del río (lado de Chincheros-Apurímac), áreas de cultiva arrasadas por el río |          |               |              |  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |          |               |              |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|--------------|--|
| ID                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Este     | Norte         | Elevación    |  |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 627457.8 | 8509159.3     | 1960.0       |  |
| Distrito                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |          | Provincia     | Departamento |  |
| Concepción                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |          | Vilcas Huamán | Ayacucho     |  |
| Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |          |               |              |  |
| Zona inundable al borde del río (lado de Chincheros-Apurímac), se observa áreas de cultiva arrasadas por el río, además de zonas de socavación (aún existen áreas de cultivo en uso), los taludes al pie de carretera del lado de Apurímac han cedido en parte y los que no se encuentran proclives a fallar. |          |               |              |  |

|                                                                                                                                                                         |          |               |              |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|--------------|--|
| ID                                                                                                                                                                      | Este     | Norte         | Elevación    |  |
| 5                                                                                                                                                                       | 625235.1 | 8510673.7     | 2056.0       |  |
| Distrito                                                                                                                                                                |          | Provincia     | Departamento |  |
| Concepción                                                                                                                                                              |          | Vilcas Huamán | Ayacucho     |  |
| Descripción                                                                                                                                                             |          |               |              |  |
| Zona de pase de huaycos por activación de quebrada, el flujo desciende de kilómetros arriba afectando terrenos agrícolas y la vía principal como se aprecia en la foto. |          |               |              |  |



## ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIÓN EN LA CUENCA PAMPAS

|                                                                        |          |           |              |                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| ID                                                                     | Este     | Norte     | Elevación    |  |
| 1                                                                      | 591840.9 | 8492434.2 | 2584.0       |                                                                                    |
| Distrito                                                               |          | Provincia | Departamento |                                                                                    |
| Cangallo                                                               |          | Cangallo  | Ayacucho     |                                                                                    |
| Descripción                                                            |          |           |              |                                                                                    |
| Zona de socavación, el río arrasó con un camino rural de uso peatonal. |          |           |              |                                                                                    |

|                                                                        |          |           |              |                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| ID                                                                     | Este     | Norte     | Elevación    |  |
| 2                                                                      | 591840.9 | 8492434.2 | 2584.0       |                                                                                    |
| Distrito                                                               |          | Provincia | Departamento |                                                                                    |
| Cangallo                                                               |          | Cangallo  | Ayacucho     |                                                                                    |
| Descripción                                                            |          |           |              |                                                                                    |
| Zona de socavación, el río arrasó con un camino rural de uso peatonal. |          |           |              |                                                                                    |

|                                                                                                                     |          |           |              |                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| ID                                                                                                                  | Este     | Norte     | Elevación    |  |
| 3                                                                                                                   | 591755.0 | 8492301.7 | 2564.0       |                                                                                     |
| Distrito                                                                                                            |          | Provincia | Departamento |                                                                                     |
| Cangallo                                                                                                            |          | Cangallo  | Ayacucho     |                                                                                     |
| Descripción                                                                                                         |          |           |              |                                                                                     |
| Zona de pase de pequeños huaycos, el flujo afecta a la trocha existente impidiendo el pase de vehículos y peatones. |          |           |              |                                                                                     |

|                                                                                                             |          |           |              |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| ID                                                                                                          | Este     | Norte     | Elevación    |  |
| 4                                                                                                           | 591472.1 | 8492111.6 | 2563.0       |                                                                                      |
| Distrito                                                                                                    |          | Provincia | Departamento |                                                                                      |
| Cangallo                                                                                                    |          | Cangallo  | Ayacucho     |                                                                                      |
| Descripción                                                                                                 |          |           |              |                                                                                      |
| Zona socavada, se aprecia el tramo de vía que fue arrasado por el río y que sigue expuesta a la socavación. |          |           |              |                                                                                      |

|                                                                                                                                                                                                              |          |           |              |                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| ID                                                                                                                                                                                                           | Este     | Norte     | Elevación    |  |
| 5                                                                                                                                                                                                            | 592899.0 | 8492704.3 | 2561.0       |                                                                                      |
| Distrito                                                                                                                                                                                                     |          | Provincia | Departamento |                                                                                      |
| Cangallo                                                                                                                                                                                                     |          | Cangallo  | Ayacucho     |                                                                                      |
| Descripción                                                                                                                                                                                                  |          |           |              |                                                                                      |
| El estadio y la PTAR de Cangallo son áreas de inundación por la crecida del nivel freático, la cota a la que fueron emplazadas es bastante baja y cuando el caudal del río incrementa se terminan inundando. |          |           |              |                                                                                      |





#### 4.3.6 Mapa de susceptibilidad a inundaciones

La Figura 21 muestra el mapa de susceptibilidad a inundaciones en el ámbito de la cuenca del río Pampas, con una clasificación de cinco niveles: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo.

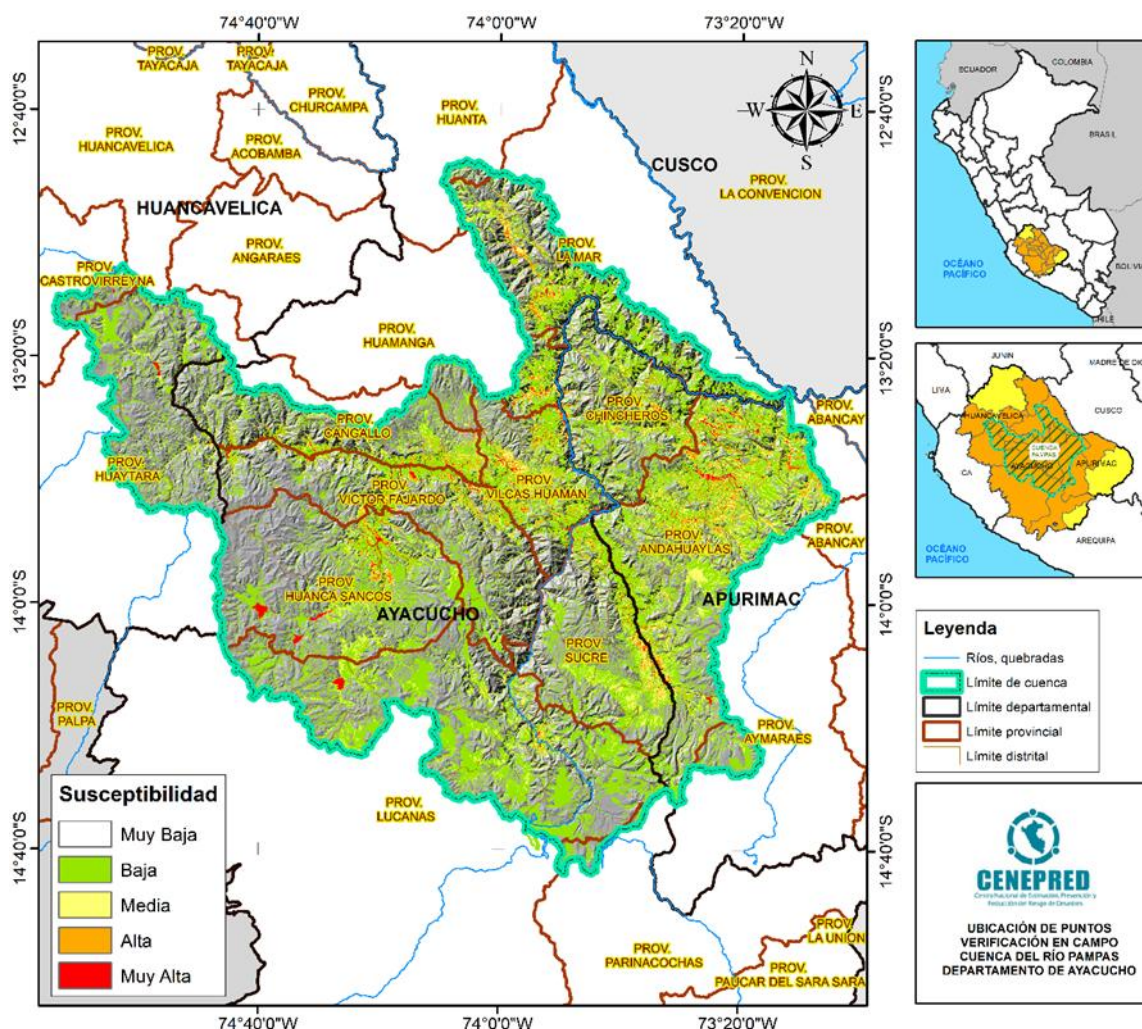


Figura 21. Mapa de susceptibilidad a inundaciones en el ámbito de la cuenca del río Pampas

## V. Análisis de elementos expuestos

Consiste en la identificación de la información cartográfica de población, medios de vida e infraestructura dentro de las áreas susceptibles a inundación de la cuenca de estudio, como:

### Centros poblados

Representada por la cartografía de los centros poblados, recopilada del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI 2025). Esta información brinda información sobre las características de población y vivienda del área de estudio (Tabla 6).



## ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIÓN EN LA CUENCA PAMPAS

Tabla 6. Población y vivienda expuesta a zonas susceptibles a inundación.

| Departamento | Provincia      | Centros poblados | Población |             |              |               | Viviendas |                              |        |              |                   |
|--------------|----------------|------------------|-----------|-------------|--------------|---------------|-----------|------------------------------|--------|--------------|-------------------|
|              |                |                  | Total     | 0 a 17 años | 18 a 59 años | 60 años a más | Total     | Ladrillo o bloque de cemento | Adobe  | Madera pared | Material precario |
| Apurímac     | Andahuaylas    | 664              | 133,929   | 47,688      | 70,748       | 15,493        | 36,186    | 8,718                        | 27,156 | 275          | 37                |
|              | Aymaraes       | 12               | 94        | 21          | 53           | 20            | 13        | 0                            | 13     | 0            | 0                 |
|              | Chincheros     | 331              | 45,247    | 16,956      | 21,839       | 6,452         | 13,205    | 934                          | 11,981 | 222          | 68                |
| Ayacucho     | Cangallo       | 389              | 25,142    | 8,897       | 11,934       | 4,311         | 7,807     | 419                          | 7,380  | 6            | 2                 |
|              | Huamanga       | 95               | 8,555     | 3,071       | 4,291        | 1,193         | 2,471     | 111                          | 2,255  | 97           | 8                 |
|              | Huancá Sancos  | 212              | 8,409     | 2,781       | 4,153        | 1,475         | 2,438     | 202                          | 2,221  | 12           | 3                 |
|              | Huanta         | 9                | 896       | 411         | 387          | 98            | 77        | 1                            | 76     | 0            | 0                 |
|              | La Mar         | 251              | 27,627    | 10,642      | 13,282       | 3,703         | 6,036     | 429                          | 5,582  | 15           | 10                |
|              | Lucanas        | 202              | 10,314    | 2,450       | 5,111        | 2,753         | 3,953     | 133                          | 3,818  | 0            | 2                 |
|              | Parinacochas   | 21               | 194       | 65          | 96           | 33            | 34        | 0                            | 34     | 0            | 0                 |
|              | Sucre          | 176              | 9,445     | 3,071       | 4,514        | 1,860         | 3,020     | 114                          | 2,903  | 3            | 0                 |
|              | Victor Fajardo | 273              | 20,109    | 6,013       | 9,933        | 4,163         | 6,720     | 275                          | 6,427  | 16           | 2                 |
| Huancavelica | Vilcas Huaman  | 224              | 16,861    | 5,421       | 8,125        | 3,315         | 6,050     | 206                          | 5,824  | 10           | 10                |
|              | Castrovirreyna | 46               | 358       | 81          | 229          | 48            | 44        | 19                           | 22     | 3            | 0                 |
|              | Huaytara       | 249              | 2,234     | 844         | 1,089        | 301           | 112       | 31                           | 79     | 1            | 1                 |
| Total        |                | 3,154            | 309,414   | 108,412     | 155,784      | 45,218        | 88,166    | 11,592                       | 75,771 | 660          | 143               |

Nota: El material precario comprende muros de quincha, triplay/calamina/estera, piedra con barro, piedra o sillar con cal o cemento, tapia, otros

Fuente: INEI 2025. Censos Nacionales 2017.

### Áreas agrícolas

Representa a la cartografía del catastro de las parcelas rurales sobre las cuales se realiza actividad agrícola. Información recopilada de ministerio de agricultura, municipalidades, gobiernos regionales a través del Censo Agrario 2024.

Tabla 7: Áreas agrícolas

| Departamento | Provincia      | Has        |
|--------------|----------------|------------|
| Apurímac     | Andahuaylas    | 109,087.52 |
|              | Chincheros     | 42,940.03  |
| Ayacucho     | Cangallo       | 36,349.10  |
|              | Huamanga       | 17,559.40  |
|              | Huancá Sancos  | 6,592.37   |
|              | Huanta         | 896.66     |
|              | La Mar         | 32,126.87  |
|              | Lucanas        | 12,732.69  |
|              | Sucre          | 12,376.66  |
|              | Víctor Fajardo | 21,040.13  |
| Huancavelica | Vilcas Huamán  | 27,486.91  |
|              | Huaytara       | 267.18     |
| Total        |                | 319,455.52 |

Fuente: MIDAGRI, Censo Agrario 2024

### Establecimientos de salud

Representada por la cartografía de los centros de salud, recopilada del Ministerio de Salud (MINSA 2025).



Tabla 8. Establecimientos de salud expuestos a zonas susceptibles a inundación.

| Departamento | Provincia      | Centros de salud |
|--------------|----------------|------------------|
| Apurímac     | Andahuaylas    | 170              |
|              | Aymaraes       | 1                |
|              | Chincheros     | 57               |
| Ayacucho     | Cangallo       | 26               |
|              | Huamanga       | 8                |
|              | Huanca Sancos  | 12               |
|              | Huanta         | 2                |
|              | La Mar         | 32               |
|              | Lucanas        | 16               |
|              | Sucre          | 20               |
|              | Víctor Fajardo | 33               |
|              | Vilcas Huamán  | 25               |
|              | Castrovirreyna | 1                |
| Huancavelica | Huaytara       | 9                |

Fuente: MINSA 2025

### Instituciones educativas

Representada por la cartografía de las instituciones educativas, recopilada del Ministerio de Educación (MINEDU 2025).

Tabla 9. Instituciones educativas expuestas a zonas susceptibles a inundación

| Departamento | Provincia      | Instituciones educativas |         |          |            |                    |
|--------------|----------------|--------------------------|---------|----------|------------|--------------------|
|              |                | Total                    | Inicial | Primaria | Secundaria | Técnico Productiva |
| Apurímac     | Andahuaylas    | 539                      | 262     | 201      | 64         | 12                 |
|              | Aymaraes       | 1                        |         | 1        |            |                    |
|              | Chincheros     | 305                      | 139     | 102      | 45         | 19                 |
| Ayacucho     | Cangallo       | 162                      | 55      | 79       | 25         | 3                  |
|              | Huamanga       | 52                       | 23      | 23       | 6          |                    |
|              | Huanca Sancos  | 48                       | 13      | 25       | 10         |                    |
|              | Huanta         | 11                       | 4       | 4        | 3          |                    |
|              | La Mar         | 184                      | 72      | 91       | 19         | 2                  |
|              | Lucanas        | 77                       | 20      | 37       | 15         | 5                  |
|              | Parinacochas   | 3                        | 1       | 1        | 1          |                    |
|              | Sucre          | 97                       | 34      | 44       | 16         | 3                  |
|              | Victor Fajardo | 119                      | 36      | 58       | 22         | 3                  |
|              | Vilcas Huaman  | 164                      | 53      | 87       | 22         | 2                  |
| Huancavelica | Castrovirreyna | 3                        | 1       | 2        |            |                    |
|              | Huaytara       | 33                       | 13      | 17       | 3          |                    |
| Total        |                | 1798                     | 726     | 772      | 251        | 49                 |

Fuente: MINEDU 2025



## Red vial

Representa a la cartografía de las carreteras. Información recopilada ministerio de transporte y comunicaciones, municipalidades, gobiernos regionales.

Tabla 10: Red vial en la cuenca del río Pampas

| Departamento | Provincia      | Red vial (Km) |               |         |         |
|--------------|----------------|---------------|---------------|---------|---------|
|              |                | Nacional      | Departamental | Vecinal | Total   |
| Apurímac     | Andahuaylas    | 238.3         | 349.1         | 1210.5  | 1797.9  |
|              | Aymaraes       |               | 0.1           | 83.7    | 83.8    |
|              | Chincheros     | 66.2          | 141.5         | 610.6   | 818.4   |
| Ayacucho     | Cangallo       | 103.0         | 136.5         | 329.9   | 569.3   |
|              | Huamanga       | 73.3          | 18.4          | 177.4   | 269.1   |
|              | Huancá Sancos  | 90.5          | 87.2          | 380.9   | 558.5   |
|              | Huanta         | 0.0           |               | 46.9    | 47.0    |
|              | La Mar         | 50.4          | 130.5         | 456.6   | 637.5   |
|              | Lucanas        | 159.1         | 63.2          | 458.2   | 680.5   |
|              | Parinacochas   | 8.2           |               | 17.3    | 25.5    |
|              | Sucre          | 106.2         | 158.6         | 523.8   | 788.6   |
|              | Victor Fajardo | 115.0         | 76.1          | 619.5   | 810.6   |
|              | Vilcas Huaman  |               | 122.4         | 686.6   | 809.1   |
|              | Castrovirreyna | 19.2          |               | 60.6    | 79.8    |
| Huancavelica | Huaytara       | 89.0          | 51.3          | 164.8   | 305.1   |
| Total        |                | 1,118.3       | 1,335.0       | 5,827.5 | 8,280.7 |

Fuente: MTC 2024

## VI. Determinación del escenario de riesgo

Consiste en el proceso de análisis espacial entre las áreas susceptibles a inundación y los medios de vida e infraestructura existente en la cuenca, para lo cual se deberá realizar las siguientes actividades:

- Recopilación de información generada por las entidades científicas y técnicas relacionadas al peligro de inundación.
- Identificar las áreas de inundación a partir de la elaboración del mapa de susceptibilidad aplicando la metodología descrita anteriormente (modelo compuesto RRI+RF) para eventos extraordinarios en la cuenca del río Pampas.
- Sistematizar la cartografía de los elementos expuestos (agricultura, centros poblados, vías, instituciones educativas, entre otros.) identificados en el área de estudio (cuenca del río Pampas, departamento de Ayacucho).
- Realizar el análisis espacial de superposición de capas en el área de estudio entre las áreas susceptibles a inundación por cada nivel obtenido y los elementos expuestos identificados.
- Descripción del escenario de riesgo por inundación dentro del ámbito geográfico de la cuenca del río Pampas.



## ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIÓN EN LA CUENCA PAMPAS

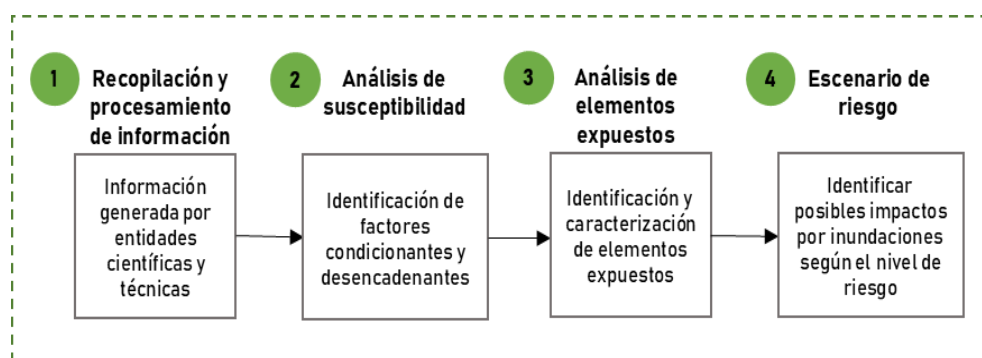


Figura 22: Flujograma del proceso de elaboración del escenario de riesgo por inundación

El resultado de este proceso de análisis espacial se describe a continuación:

De acuerdo con la Tabla 11 existen 693 centros poblados de la provincia de Andahuaylas en riesgo por inundaciones, pero en diferentes niveles, de los cuales 56 centros poblados se encuentran expuestos a riesgo muy alto y 143 centros poblados en riesgo alto. Asimismo, 143 centros poblados tienen un nivel de riesgo medio y 351 un nivel de riesgo bajo, siendo la provincia con mayor riesgo ante inundaciones (riesgo alto y muy alto).

Tabla 11: Provincias: Centros poblados según el nivel de riesgo por inundaciones

| Departamento | Provincia      | Centros poblados |            |            |              |              |
|--------------|----------------|------------------|------------|------------|--------------|--------------|
|              |                | Muy alto         | Alto       | Medio      | Bajo         | Total        |
| Apuímac      | Andahuaylas    | 56               | 143        | 143        | 351          | 693          |
|              | Aymaraes       |                  |            |            | 12           | 12           |
|              | Chincho        | 19               | 60         | 60         | 204          | 343          |
| Ayacucho     | Cangallo       | 15               | 46         | 44         | 284          | 389          |
|              | Huamanga       | 9                | 21         | 18         | 47           | 95           |
|              | Huancasancos   | 10               | 17         | 18         | 167          | 212          |
|              | Huanta         |                  |            |            | 9            | 9            |
|              | La Mar         | 17               | 41         | 56         | 137          | 251          |
|              | Lucanas        | 6                | 12         | 15         | 169          | 202          |
|              | Parinacochas   |                  |            |            | 21           | 21           |
|              | Sucre          | 6                | 16         | 24         | 130          | 176          |
|              | Victor Fajardo | 27               | 24         | 25         | 197          | 273          |
|              | Vilcas Huaman  | 22               | 54         | 36         | 112          | 224          |
|              | Castrovirreyna |                  |            | 1          | 45           | 46           |
| Huancavelica | Huaytara       | 5                |            | 15         | 229          | 249          |
| <b>total</b> |                | <b>192</b>       | <b>434</b> | <b>455</b> | <b>2,114</b> | <b>3,195</b> |

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de INEI 2025.

La Tabla 12 muestra la cantidad de población y viviendas según su nivel de riesgo por inundaciones. Este escenario muestra que un total de 78,811 personas y 20,800 viviendas se encuentran en riesgo muy alto frente a la ocurrencia de inundaciones comprendido en 192 centros poblados. En este mismo escenario se estima un total de 87,236 de personas y 25,264 viviendas en riesgo alto, ubicadas en 434 centros poblados.





## ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIÓN EN LA CUENCA PAMPAS

Tabla 12: Población y viviendas según el nivel de riesgo por inundaciones

| Departamento | Provincia      | Centros poblados | Riesgo Muy Alto |             |              |               |           |                              |        |              |                   |
|--------------|----------------|------------------|-----------------|-------------|--------------|---------------|-----------|------------------------------|--------|--------------|-------------------|
|              |                |                  | Población       |             |              |               | Viviendas |                              |        |              |                   |
|              |                |                  | Total           | 0 a 17 años | 18 a 59 años | 60 años a más | Total     | Ladrillo o bloque de cemento | Adobe  | Madera pared | Material precario |
| Apurímac     | Andahuaylas    | 56               | 57,131          | 19,690      | 32,368       | 5,073         | 14,419    | 6784                         | 7439   | 173          | 23                |
|              | Chinchero      | 19               | 3,049           | 1,214       | 1,397        | 438           | 903       | 18                           | 877    | 8            | 0                 |
| Ayacucho     | Cangallo       | 15               | 3,748           | 1,225       | 1,911        | 612           | 1,123     | 143                          | 979    | 1            | 0                 |
|              | Huamanga       | 9                | 1,048           | 341         | 523          | 184           | 298       | 20                           | 197    | 74           | 7                 |
|              | Huancas Sancos | 10               | 1,205           | 406         | 578          | 221           | 419       | 3                            | 415    | 0            | 1                 |
|              | La Mar         | 17               | 6,102           | 2,115       | 3,369        | 618           | 1,358     | 177                          | 1168   | 8            | 5                 |
|              | Lucanas        | 6                | 492             | 132         | 209          | 151           | 207       | 17                           | 190    | 0            | 0                 |
|              | Sucre          | 6                | 736             | 282         | 333          | 121           | 244       | 5                            | 238    | 1            | 0                 |
|              | Víctor Fajardo | 27               | 2,707           | 836         | 1,288        | 583           | 882       | 12                           | 870    | 0            | 0                 |
|              | Vilcas Huaman  | 22               | 2,522           | 773         | 1,182        | 567           | 935       | 16                           | 912    | 0            | 7                 |
| Huancavelica | Huaytara       | 5                | 71              | 25          | 34           | 12            | 12        | 0                            | 11     | 0            | 1                 |
| Total        |                | 192              | 78,811          | 27,039      | 43,192       | 8,580         | 20,800    | 7,195                        | 13,296 | 265          | 44                |

| Departamento | Provincia      | Centros poblados | Riesgo Alto |             |              |               |           |                              |        |              |                   |
|--------------|----------------|------------------|-------------|-------------|--------------|---------------|-----------|------------------------------|--------|--------------|-------------------|
|              |                |                  | Población   |             |              |               | Viviendas |                              |        |              |                   |
|              |                |                  | Total       | 0 a 17 años | 18 a 59 años | 60 años a más | Total     | Ladrillo o bloque de cemento | Adobe  | Madera pared | Material precario |
| Apurímac     | Andahuaylas    | 143              | 34,307      | 12,442      | 17,727       | 4,138         | 9,345     | 1592                         | 7692   | 59           | 2                 |
|              | Chinchero      | 60               | 18,455      | 6,849       | 9,389        | 2,217         | 5,185     | 712                          | 4385   | 84           | 4                 |
| Ayacucho     | Cangallo       | 46               | 6,644       | 2,335       | 3,194        | 1,115         | 2,148     | 163                          | 1982   | 2            | 1                 |
|              | Huamanga       | 21               | 1,708       | 645         | 777          | 286           | 468       | 2                            | 464    | 1            | 1                 |
|              | Huancas Sancos | 17               | 1,609       | 538         | 790          | 281           | 539       | 11                           | 528    | 0            | 0                 |
|              | La Mar         | 41               | 8,110       | 3,207       | 3,795        | 1,108         | 1,929     | 199                          | 1723   | 6            | 1                 |
|              | Lucanas        | 12               | 3,167       | 679         | 1,570        | 918           | 1,149     | 30                           | 1118   | 0            | 1                 |
|              | Sucre          | 16               | 935         | 318         | 425          | 192           | 346       | 7                            | 339    | 0            | 0                 |
|              | Víctor Fajardo | 24               | 5,669       | 1,776       | 2,757        | 1,136         | 1,811     | 105                          | 1705   | 0            | 1                 |
|              | Vilcas Huaman  | 54               | 6,632       | 2,104       | 3,283        | 1,245         | 2,344     | 165                          | 2173   | 6            | 0                 |
| Total        |                | 434              | 87,236      | 30,893      | 43,707       | 12,636        | 25,264    | 2,986                        | 22,109 | 158          | 11                |

| Departamento | Provincia      | Centros poblados | Riesgo Medio |             |              |               |           |                              |        |              |                   |
|--------------|----------------|------------------|--------------|-------------|--------------|---------------|-----------|------------------------------|--------|--------------|-------------------|
|              |                |                  | Población    |             |              |               | Viviendas |                              |        |              |                   |
|              |                |                  | Total        | 0 a 17 años | 18 a 59 años | 60 años a más | Total     | Ladrillo o bloque de cemento | Adobe  | Madera pared | Material precario |
| Apurímac     | Andahuaylas    | 143              | 18,358       | 6,648       | 8,927        | 2,783         | 5,425     | 171                          | 5230   | 20           | 4                 |
|              | Chinchero      | 60               | 10,394       | 3,958       | 4,972        | 1,464         | 3,004     | 126                          | 2765   | 63           | 50                |
| Ayacucho     | Cangallo       | 44               | 4,430        | 1,688       | 2,051        | 691           | 1,282     | 31                           | 1249   | 1            | 1                 |
|              | Huamanga       | 18               | 1,731        | 669         | 834          | 228           | 436       | 13                           | 421    | 2            | 0                 |
|              | Huancas Sancos | 18               | 3,486        | 1,250       | 1,702        | 534           | 952       | 155                          | 796    | 0            | 1                 |
|              | La Mar         | 56               | 6,490        | 2,595       | 2,947        | 948           | 1,611     | 31                           | 1578   | 0            | 2                 |
|              | Lucanas        | 15               | 233          | 57          | 97           | 79            | 110       | 0                            | 110    | 0            | 0                 |
|              | Sucre          | 24               | 2,203        | 658         | 1,074        | 471           | 717       | 9                            | 707    | 1            | 0                 |
|              | Víctor Fajardo | 25               | 2,878        | 856         | 1,445        | 577           | 1,042     | 7                            | 1033   | 2            | 0                 |
|              | Vilcas Huaman  | 36               | 3,054        | 1,012       | 1,511        | 531           | 1,020     | 23                           | 995    | 2            | 0                 |
| Huancavelica | Castrovirreyna | 1                | 4            | 0           | 1            | 3             | 1         | 1                            | 0      | 0            | 0                 |
|              | Huaytara       | 15               | 166          | 49          | 85           | 32            | 2         | 0                            | 2      | 0            | 0                 |
| Total        |                | 455              | 53,427       | 19,440      | 25,646       | 8,341         | 15,602    | 567                          | 14,886 | 91           | 58                |

| Departamento | Provincia      | Centros poblados | Riesgo Bajo |             |              |               |           |                              |        |              |                   |
|--------------|----------------|------------------|-------------|-------------|--------------|---------------|-----------|------------------------------|--------|--------------|-------------------|
|              |                |                  | Población   |             |              |               | Viviendas |                              |        |              |                   |
|              |                |                  | Total       | 0 a 17 años | 18 a 59 años | 60 años a más | Total     | Ladrillo o bloque de cemento | Adobe  | Madera pared | Material precario |
| Apurímac     | Andahuaylas    | 351              | 24,133      | 8,908       | 11,726       | 3,499         | 6,997     | 171                          | 6795   | 23           | 8                 |
|              | Aymaraes       | 12               | 94          | 21          | 53           | 20            | 13        | 0                            | 13     | 0            | 0                 |
|              | Chinchero      | 204              | 13,349      | 4,935       | 6,081        | 2,333         | 4,113     | 78                           | 3954   | 67           | 14                |
| Ayacucho     | Cangallo       | 284              | 10,320      | 3,649       | 4,778        | 1,893         | 3,254     | 82                           | 3170   | 2            | 0                 |
|              | Huamanga       | 47               | 4,068       | 1,416       | 2,157        | 495           | 1,269     | 76                           | 1173   | 20           | 0                 |
|              | Huancas Sancos | 167              | 2,109       | 587         | 1,083        | 439           | 528       | 33                           | 482    | 12           | 1                 |
|              | Huanta         | 9                | 896         | 411         | 387          | 98            | 77        | 1                            | 76     | 0            | 0                 |
|              | La Mar         | 137              | 6,925       | 2,725       | 3,171        | 1,029         | 1,138     | 22                           | 1113   | 1            | 2                 |
|              | Lucanas        | 169              | 6,422       | 1,582       | 3,235        | 1,605         | 2,487     | 86                           | 2400   | 0            | 1                 |
|              | Parinacochas   | 21               | 194         | 65          | 96           | 33            | 34        | 0                            | 34     | 0            | 0                 |
|              | Sucre          | 130              | 5,571       | 1,813       | 2,682        | 1,076         | 1,713     | 93                           | 1619   | 1            | 0                 |
|              | Víctor Fajardo | 197              | 8,855       | 2,545       | 4,443        | 1,867         | 2,985     | 151                          | 2819   | 14           | 1                 |
| Huancavelica | Vilcas Huaman  | 112              | 4,653       | 1,532       | 2,149        | 972           | 1,751     | 2                            | 1744   | 2            | 3                 |
|              | Castrovirreyna | 45               | 354         | 81          | 228          | 45            | 43        | 18                           | 22     | 3            | 0                 |
| Huancavelica | Huaytara       | 229              | 1,997       | 770         | 970          | 257           | 98        | 31                           | 66     | 1            | 0                 |
| Total        |                | 2,114            | 89,940      | 31,040      | 43,239       | 15,661        | 26,500    | 844                          | 25,480 | 146          | 30                |

Material precario: Adobe, quincha, triplay, calamina, estera, piedra con barro, piedra o sillar con cal o cemento, tapia.

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de INEI 2025.



## ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIÓN EN LA CUENCA PAMPAS

La tabla 13 muestra la cantidad de superficie agrícola en hectáreas según su nivel de riesgo frente a inundaciones. Este escenario estima que 9,768 hectáreas se encuentran en un nivel de riesgo muy alto y 32,603 hectáreas con riesgo alto.

Tabla 13: Superficie agrícola según el nivel de riesgo por inundaciones

| Departamento | Provincia      | Superficie agrícola (Hectáreas) |                 |             |              |             |
|--------------|----------------|---------------------------------|-----------------|-------------|--------------|-------------|
|              |                | Total                           | Riesgo Muy alto | Riesgo Alto | Riesgo Medio | Riesgo Bajo |
| Apurímac     | Andahuaylas    | 109,088                         | 3,336.6         | 12,574.2    | 19,225.1     | 73,951.5    |
|              | Chinchoero     | 42,940                          | 655.3           | 2,715.0     | 5,106.2      | 34,463.5    |
| Ayacucho     | Cangallo       | 36,349                          | 615.4           | 2,395.9     | 3,641.3      | 29,696.5    |
|              | Huamanga       | 17,559                          | 496.3           | 1,438.8     | 1,835.6      | 13,788.7    |
|              | Huanca Sancos  | 6,592                           | 706.9           | 1,382.8     | 950.8        | 3,551.9     |
|              | Huanta         | 897                             |                 |             | 139.2        | 757.5       |
|              | La Mar         | 32,127                          | 724.9           | 3,226.5     | 5,221.7      | 22,953.8    |
|              | Lucanas        | 12,733                          | 186.5           | 915.6       | 2,304.3      | 9,326.3     |
|              | Sucre          | 12,377                          | 417.7           | 1,317.5     | 1,882.1      | 8,759.3     |
|              | Victor Fajardo | 21,040                          | 1,103.0         | 2,495.8     | 3,224.8      | 14,216.5    |
|              | Vilcas Huaman  | 27,487                          | 1,458.3         | 4,126.7     | 5,443.5      | 16,458.4    |
| Huancavelica | Huaytara       | 267                             | 66.9            | 14.6        | 15.1         | 170.5       |
| Total        |                | 319,456                         | 9,768           | 32,603      | 48,990       | 228,095     |

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de MIDAGRI 2024.

La tabla 14 muestra los establecimientos de salud según el nivel de riesgo por inundaciones. De un total de 412 establecimientos de salud, en riesgo muy alto se encuentran 81 y en riesgo alto 139.

Tabla 14: Establecimientos de salud según el nivel de riesgo por inundaciones.

| Departamento | Provincia      | Establecimiento de Salud |                 |             |              |             |
|--------------|----------------|--------------------------|-----------------|-------------|--------------|-------------|
|              |                | Total                    | Riesgo Muy alto | Riesgo Alto | Riesgo Medio | Riesgo Bajo |
| Apurímac     | Andahuaylas    | 170                      | 48              | 78          | 16           | 28          |
|              | Aymaraes       | 1                        |                 |             |              | 1           |
|              | Chinchoero     | 57                       | 4               | 21          | 14           | 18          |
| Ayacucho     | Cangallo       | 26                       | 5               | 5           | 4            | 12          |
|              | Huamanga       | 8                        |                 | 2           | 3            | 3           |
|              | Huanca Sancos  | 12                       | 2               | 4           | 4            | 2           |
|              | Huanta         | 2                        |                 |             | 1            | 1           |
|              | La Mar         | 32                       | 5               | 4           | 11           | 12          |
|              | Lucanas        | 16                       | 2               | 2           | 3            | 9           |
|              | Sucre          | 20                       | 3               | 4           | 3            | 10          |
|              | Victor Fajardo | 33                       | 7               | 5           | 4            | 17          |
|              | Vilcas Huaman  | 25                       | 4               | 13          | 1            | 7           |
| Huancavelica | Castrovirreyna | 1                        |                 |             |              | 1           |
|              | Huaytara       | 9                        | 1               | 1           | 2            | 5           |
| Total        |                | 412                      | 81              | 139         | 66           | 126         |

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de MINSA 2025.

La tabla 15 muestra que un total de 231 instituciones educativas se encuentra en nivel de riesgo muy alto a inundaciones, mientras 446 se encuentran en riesgo alto.



## ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIÓN EN LA CUENCA PAMPAS

Tabla 15: Instituciones educativas según el nivel de riesgo por inundaciones.

| Departamento | Provincia      | Instituciones educativas |       |                 |             |              |             |
|--------------|----------------|--------------------------|-------|-----------------|-------------|--------------|-------------|
|              |                | Nivel educativo          | Total | Riesgo Muy alto | Riesgo Alto | Riesgo Medio | Riesgo Bajo |
| Apurímac     | Andahuaylas    | Inicial                  | 262   | 48              | 75          | 66           | 73          |
|              |                | Primaria                 | 201   | 29              | 59          | 58           | 55          |
|              |                | Secundaria               | 64    | 19              | 16          | 19           | 10          |
|              |                | Técnico Productiva       | 12    | 8               | 2           |              | 2           |
|              |                | Subtotal                 | 539   | 104             | 152         | 143          | 140         |
|              | Aymaraes       | Inicial                  | 1     |                 |             |              | 1           |
|              |                | Primaria                 | 0     |                 |             |              |             |
|              |                | Secundaria               | 0     |                 |             |              |             |
|              |                | Técnico Productiva       | 0     |                 |             |              |             |
|              |                | Subtotal                 | 1     | 0               | 0           | 0            | 1           |
|              | Chinchero      | Inicial                  | 139   | 11              | 33          | 45           | 50          |
|              |                | Primaria                 | 102   | 8               | 30          | 21           | 43          |
|              |                | Secundaria               | 45    | 4               | 15          | 9            | 17          |
|              |                | Técnico Productiva       | 19    | 1               | 7           | 4            | 7           |
|              |                | Subtotal                 | 305   | 24              | 85          | 79           | 117         |
| Ayacucho     | Cangallo       | Inicial                  | 55    | 4               | 11          | 10           | 30          |
|              |                | Primaria                 | 79    | 7               | 16          | 17           | 39          |
|              |                | Secundaria               | 25    | 3               | 8           | 5            | 9           |
|              |                | Técnico Productiva       | 3     | 1               | 1           | 1            |             |
|              |                | Subtotal                 | 162   | 15              | 36          | 33           | 78          |
|              | Huamanga       | Inicial                  | 23    | 4               | 4           | 8            | 7           |
|              |                | Primaria                 | 23    |                 | 4           | 8            | 11          |
|              |                | Secundaria               | 6     |                 | 1           | 3            | 2           |
|              |                | Técnico Productiva       | 0     |                 |             |              |             |
|              |                | Subtotal                 | 52    | 4               | 9           | 19           | 20          |
|              | Huanca Sancos  | Inicial                  | 18    | 5               | 8           | 3            | 2           |
|              |                | Primaria                 | 21    | 1               | 10          | 3            | 7           |
|              |                | Secundaria               | 9     |                 | 4           | 3            | 2           |
|              |                | Técnico Productiva       | 0     |                 |             |              |             |
|              |                | Subtotal                 | 48    | 6               | 22          | 9            | 11          |
|              | Huanta         | Inicial                  | 4     |                 |             | 1            | 3           |
|              |                | Primaria                 | 5     |                 |             | 1            | 4           |
|              |                | Secundaria               | 2     |                 |             |              | 2           |
|              |                | Técnico Productiva       | 0     |                 |             |              |             |
|              |                | Subtotal                 | 11    | 0               | 0           | 2            | 9           |
|              | La Mar         | Inicial                  | 72    | 7               | 19          | 16           | 30          |
|              |                | Primaria                 | 91    | 9               | 16          | 22           | 44          |
|              |                | Secundaria               | 19    | 2               | 9           | 4            | 4           |
|              |                | Técnico Productiva       | 2     |                 | 1           | 1            |             |
|              |                | Subtotal                 | 184   | 18              | 45          | 43           | 78          |
|              | Lucanas        | Inicial                  | 20    | 1               | 5           | 2            | 12          |
|              |                | Primaria                 | 37    | 2               | 3           | 7            | 25          |
|              |                | Secundaria               | 15    | 1               | 1           | 3            | 10          |
|              |                | Técnico Productiva       | 5     |                 |             | 1            | 4           |
|              |                | Subtotal                 | 77    | 4               | 9           | 13           | 51          |
|              | Parinacochas   | Inicial                  | 1     |                 |             |              | 1           |
|              |                | Primaria                 | 1     |                 |             |              | 1           |
|              |                | Secundaria               | 1     |                 |             |              | 1           |
|              |                | Técnico Productiva       | 0     |                 |             |              |             |
|              |                | Subtotal                 | 3     | 0               | 0           | 0            | 3           |
|              | Sucre          | Inicial                  | 34    | 2               | 5           | 9            | 18          |
|              |                | Primaria                 | 44    | 2               | 7           | 10           | 25          |
|              |                | Secundaria               | 16    | 3               | 3           | 1            | 9           |
|              |                | Técnico Productiva       | 3     |                 |             | 2            | 1           |
|              |                | Subtotal                 | 97    | 7               | 15          | 22           | 53          |
|              | Víctor Fajardo | Inicial                  | 36    | 6               | 9           | 6            | 15          |
|              |                | Primaria                 | 58    | 9               | 10          | 14           | 25          |
|              |                | Secundaria               | 22    | 2               | 4           | 6            | 10          |
|              |                | Técnico Productiva       | 3     |                 | 2           |              | 1           |
|              |                | Subtotal                 | 119   | 17              | 25          | 26           | 51          |
|              | Vilcas Huaman  | Inicial                  | 53    | 9               | 15          | 10           | 19          |
|              |                | Primaria                 | 87    | 11              | 26          | 17           | 33          |
|              |                | Secundaria               | 22    | 7               | 6           | 1            | 8           |
|              |                | Técnico Productiva       | 2     | 1               | 1           |              |             |
|              |                | Subtotal                 | 164   | 28              | 48          | 28           | 60          |
| Huancavelica | Castrovirreyna | Inicial                  | 1     |                 |             |              | 1           |
|              |                | Primaria                 | 2     |                 |             |              | 2           |
|              |                | Secundaria               | 0     |                 |             |              |             |
|              |                | Técnico Productiva       | 0     |                 |             |              |             |
|              |                | Subtotal                 | 3     | 0               | 0           | 0            | 3           |
|              | Huaytara       | Inicial                  | 13    | 2               |             | 1            | 10          |
|              |                | Primaria                 | 17    | 2               |             | 1            | 14          |
|              |                | Secundaria               | 3     |                 |             |              | 3           |
|              |                | Técnico Productiva       | 0     |                 |             |              |             |
| Subtotal     | 33             | 4                        | 0     | 2               | 27          |              |             |
| Total        |                |                          | 1798  | 231             | 446         | 419          | 702         |

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de MINEDU 2025.



## ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIÓN EN LA CUENCA PAMPAS

La Tabla 16 muestra en su conjunto la red de vías que se encuentran en riesgo por inundaciones, según el nivel de riesgo. En general, el análisis muestra que 309.5 km de la red vial se encuentra en riesgo muy alto y 682.5 km en riesgo alto.

Tabla 16: Red vial según el nivel de riesgo por inundaciones

| Departamento | Provincia      | Red vial (Km)   |               |                 |              |              |               |
|--------------|----------------|-----------------|---------------|-----------------|--------------|--------------|---------------|
|              |                | Jerarquía       | Total         | Riesgo Muy alto | Riesgo Alto  | Riesgo Medio | Riesgo Bajo   |
| Apurímac     | Andahuaylas    | Nacional        | 238.3         | 9.5             | 38.2         | 44.2         | 146.3         |
|              |                | Departamental   | 349.1         | 17.8            | 33.8         | 48.1         | 249.4         |
|              |                | Vecinal         | 1210.5        | 75.5            | 178.2        | 222.6        | 734.2         |
|              |                | <b>Subtotal</b> | <b>1797.9</b> | <b>102.8</b>    | <b>250.3</b> | <b>314.9</b> | <b>1129.9</b> |
|              | Aymaraes       | Nacional        | 0.0           |                 |              |              |               |
|              |                | Departamental   | 0.1           |                 |              |              | 0.1           |
|              |                | Vecinal         | 83.7          | 0.2             |              | 1.0          | 82.6          |
|              |                | <b>Subtotal</b> | <b>83.8</b>   | <b>0.2</b>      | <b>0.0</b>   | <b>1.0</b>   | <b>82.6</b>   |
|              | Chincheró      | Nacional        | 66.2          | 1.6             | 10.4         | 13.2         | 41.0          |
|              |                | Departamental   | 141.5         | 5.3             | 11.5         | 18.1         | 106.6         |
|              |                | Vecinal         | 610.6         | 6.8             | 44.0         | 69.1         | 490.7         |
|              |                | <b>Subtotal</b> | <b>818.4</b>  | <b>13.8</b>     | <b>65.9</b>  | <b>100.4</b> | <b>638.3</b>  |
| Ayacucho     | Cangallo       | Nacional        | 103.0         | 4.1             | 9.6          | 10.7         | 78.6          |
|              |                | Departamental   | 136.5         | 3.6             | 7.7          | 8.6          | 116.5         |
|              |                | Vecinal         | 329.9         | 10.5            | 23.8         | 38.9         | 256.8         |
|              |                | <b>Subtotal</b> | <b>569.3</b>  | <b>18.3</b>     | <b>41.1</b>  | <b>58.1</b>  | <b>451.9</b>  |
|              | Huamanga       | Nacional        | 73.3          | 5.3             | 11.1         | 7.2          | 49.7          |
|              |                | Departamental   | 18.4          | 0.2             | 0.6          | 1.3          | 16.4          |
|              |                | Vecinal         | 177.4         | 10.2            | 16.3         | 20.4         | 130.5         |
|              |                | <b>Subtotal</b> | <b>269.1</b>  | <b>15.7</b>     | <b>27.9</b>  | <b>28.9</b>  | <b>196.6</b>  |
|              | Huanca Sancos  | Nacional        | 90.5          | 16.1            | 10.9         | 11.5         | 52.0          |
|              |                | Departamental   | 87.2          | 3.2             | 6.0          | 6.2          | 71.8          |
|              |                | Vecinal         | 380.9         | 13.3            | 25.2         | 37.1         | 305.3         |
|              |                | <b>Subtotal</b> | <b>558.5</b>  | <b>32.6</b>     | <b>42.0</b>  | <b>54.8</b>  | <b>429.1</b>  |
|              | Huanta         | Nacional        | 0.0           |                 |              |              | 0.0           |
|              |                | Departamental   | 0.0           |                 |              |              |               |
|              |                | Vecinal         | 46.9          |                 |              | 4.0          | 42.9          |
|              |                | <b>Subtotal</b> | <b>47.0</b>   | <b>0.0</b>      | <b>0.0</b>   | <b>4.0</b>   | <b>43.0</b>   |
|              | La Mar         | Nacional        | 50.4          | 0.4             | 1.7          | 10.0         | 38.2          |
|              |                | Departamental   | 130.5         | 6.5             | 13.0         | 19.5         | 91.6          |
|              |                | Vecinal         | 456.6         | 19.2            | 34.9         | 56.6         | 345.8         |
|              |                | <b>Subtotal</b> | <b>637.5</b>  | <b>26.1</b>     | <b>49.6</b>  | <b>86.2</b>  | <b>475.6</b>  |
|              | Lucanas        | Nacional        | 159.1         | 0.3             | 0.8          | 8.7          | 149.3         |
|              |                | Departamental   | 63.2          |                 |              | 0.6          | 62.6          |
|              |                | Vecinal         | 458.2         | 3.9             | 11.1         | 35.1         | 408.1         |
|              |                | <b>Subtotal</b> | <b>680.5</b>  | <b>4.2</b>      | <b>11.9</b>  | <b>44.4</b>  | <b>620.0</b>  |
|              | Parinacochas   | Nacional        | 8.2           |                 |              |              | 8.2           |
|              |                | Departamental   | 0.0           |                 |              |              |               |
|              |                | Vecinal         | 17.3          |                 |              |              | 17.3          |
|              |                | <b>Subtotal</b> | <b>25.5</b>   | <b>0.0</b>      | <b>0.0</b>   | <b>0.0</b>   | <b>25.5</b>   |
|              | Sucre          | Nacional        | 106.2         | 0.7             | 1.7          | 8.0          | 95.8          |
|              |                | Departamental   | 158.6         | 3.9             | 14.9         | 16.7         | 123.1         |
|              |                | Vecinal         | 523.8         | 5.4             | 17.2         | 52.8         | 448.3         |
|              |                | <b>Subtotal</b> | <b>788.6</b>  | <b>10.0</b>     | <b>33.9</b>  | <b>77.5</b>  | <b>667.2</b>  |
|              | Victor Fajardo | Nacional        | 115.0         | 14.2            | 16.4         | 14.6         | 69.8          |
|              |                | Departamental   | 76.1          | 0.2             | 1.7          | 2.7          | 71.4          |
|              |                | Vecinal         | 619.5         | 22.4            | 42.8         | 53.9         | 500.4         |
|              |                | <b>Subtotal</b> | <b>810.6</b>  | <b>36.8</b>     | <b>60.9</b>  | <b>71.3</b>  | <b>641.6</b>  |
|              | Vilcas Huaman  | Nacional        | 0.0           |                 |              |              |               |
|              |                | Departamental   | 122.4         | 6.9             | 17.6         | 24.3         | 73.7          |
|              |                | Vecinal         | 686.6         | 34.8            | 81.4         | 104.7        | 465.8         |
|              |                | <b>Subtotal</b> | <b>809.1</b>  | <b>41.6</b>     | <b>99.0</b>  | <b>129.0</b> | <b>539.5</b>  |
| Huancavelica | Castrovirreyna | Nacional        | 19.2          |                 |              | 0.0          | 19.1          |
|              |                | Departamental   | 0.0           |                 |              |              |               |
|              |                | Vecinal         | 60.6          | 0.2             |              | 1.2          | 59.2          |
|              |                | <b>Subtotal</b> | <b>79.8</b>   | <b>0.2</b>      | <b>0.0</b>   | <b>1.3</b>   | <b>78.3</b>   |
|              | Huaytara       | Nacional        | 89.0          | 5.8             |              | 6.4          | 76.8          |
|              |                | Departamental   | 51.3          |                 |              | 2.8          | 48.5          |
|              |                | Vecinal         | 164.8         | 1.4             |              | 2.2          | 161.1         |
|              |                | <b>Subtotal</b> | <b>305.1</b>  | <b>7.3</b>      | <b>0.0</b>   | <b>11.4</b>  | <b>286.4</b>  |
| <b>Total</b> |                |                 | <b>8280.7</b> | <b>309.5</b>    | <b>682.5</b> | <b>983.1</b> | <b>6305.6</b> |

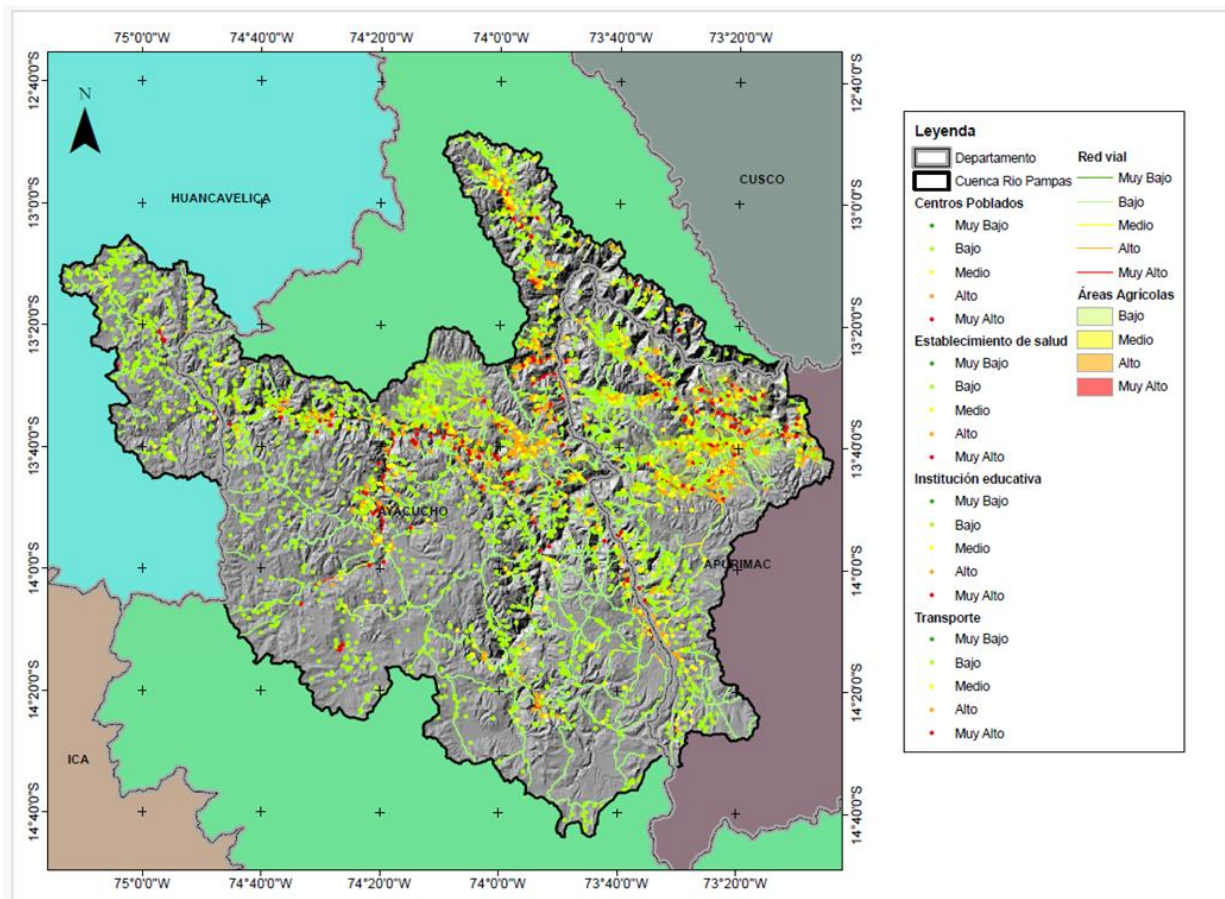
Elaborado por CENEPRED con datos de MTC, 2024.



## ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIÓN EN LA CUENCA PAMPAS

Conforme al Mapa resultante (Figura 23) se puede visualizar el análisis espacial de superposición de capas en el área de estudio entre las áreas susceptibles a inundación por cada nivel obtenido y los elementos expuestos identificados, y en base a ello priorizar sectores críticos según el nivel de riesgo determinado por cada elemento.

Figura 23. Mapa de riesgo de elementos expuestos en el ámbito de la cuenca del río Pampas



Para un mayor detalle de los elementos en riesgo según el nivel obtenido (muy alto, alto, medio y bajo) indicado en el presente estudio, se recomienda consultar la base de datos adjunta al presente estudio (**Ver Anexo 1**).





## VII. Conclusiones

La cuenca (unidad hidrográfica) constituye la principal unidad territorial para la planificación hídrica y de los riesgos asociados (ANA 2017). Bajo este criterio, en la elaboración del escenario de riesgo se adoptó un enfoque de cuenca para el análisis de susceptibilidad a la ocurrencia de inundaciones, considerando todo el ámbito de la cuenca del río Pampas.

La metodología propuesta para la elaboración del mapa de susceptibilidad, está compuesta por la integración de los resultados de los modelos RRI + RF, así como de la verificación a través del uso de imágenes radar (SAR) y de la visita de campo. El resultado ha identificado el 82.54% de las ocurrencias de inundaciones en la cuenca entre los niveles de susceptibilidad alta y muy alta. En ese sentido, el modelo propuesto RRI+RF tiene una alta capacidad para identificar las zonas susceptibles a inundaciones en la cuenca del río Pampas.

El resultado del escenario de riesgo presenta los posibles impactos que pueden presentarse ante la ocurrencia de inundaciones dentro de la cuenca del río Pampas, en el ámbito de la región Ayacucho, Apurímac y Huancavelica, según el nivel de riesgo obtenido. Se estima que un total de 78,811 personas y 20,800 viviendas se encuentran en riesgo muy alto frente a la ocurrencia de inundaciones comprendido en 192 centros poblados. En este mismo escenario se estima un total de 87,236 de personas y 25,264 viviendas en riesgo alto, ubicadas en 434 centros poblados.

En cuanto a la superficie agrícola se estima que 9,768 hectáreas se encuentran en un nivel de riesgo muy alto y 32,603 hectáreas con riesgo alto.

En cuanto a los establecimientos de salud, de un total de 412 establecimientos de salud, en riesgo muy alto se encuentran 81 y en riesgo alto 139.

En cuanto a las instituciones educativas, 231 se encuentran en nivel de riesgo muy alto a inundaciones, mientras 446 se encuentran en riesgo alto.

En cuanto a la red vial, el análisis muestra que 309.5 km de la red vial se encuentra en riesgo muy alto y 682.5 km en riesgo alto.

## VIII. Recomendaciones

Se recomienda al Gobierno Regional de Ayacucho a través de su oficina de Gestión del Riesgo de Desastres y en coordinación con las Municipalidades Provinciales de Cangallo, así como a la Municipalidad Distrital de Concepción, entre otras jurisdicciones identificadas en el presente estudio, lo siguiente:

- Identificar las zonas priorizadas para las intervenciones orientadas a la prevención y reducción del riesgo de desastres frente a las inundaciones, con base en los resultados del presente escenario de riesgos.
- Identificar las zonas donde se necesite realizar estudios de riesgo de mayor detalle que permitan definir acciones y medidas estructurales para reducir los posibles impactos frente a inundaciones en periodos con eventos extremos.
- Difundir el presente escenario de riesgo a las entidades vinculadas a la gestión del riesgo frente a inundaciones, principalmente a las gerencias, subgerencias y oficinas del Gobierno Regional de Ayacucho, así como de los gobiernos locales identificados con nivel de riesgo alto y muy alto, Autoridad Local de Agua, junta de regantes y Dirección Zonal del SENAMHI, para las acciones de coordinación y



planificación en marco de las funciones del Grupo de Trabajo para la Gestión del Riesgo de Desastres.

- Formular o actualizar el respectivo Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres – PPRRD, considerando el presente estudio en la fase de elaboración del diagnóstico.



## IX. Bibliografía

- Alam, A., Bhat, M. S., Ahmad, H. F., Ahmad, B., Ahmad, S., & Sheikh, A. H. (2018). Flood risk assessment of Srinagar city in Jammu and Kashmir, India. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 6(1), 102–116.
- Anusha, N., & Bharathi, B. (2019). The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences Flood detection and flood mapping using multi-temporal synthetic aperture radar and optical data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, (xxxx), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2019.01.001>
- Arabameri, A., Rezaei, K., Cerdà, A., Conoscenti, C., & Kalantari, Z. (2019). A comparison of statistical methods and multi-criteria decision making to map flood hazard susceptibility in Northern Iran. *Science of the Total Environment*, 660, 443–458. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.021>
- Aybar, C., Fernández, C., Huerta, A., Lavado, W., Vega, F., & Felipe-Obando, O. (2020). Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day. *Hydrological Sciences Journal*, 65(5), 770–785. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1649411>
- Bui, D. T., Khosravi, K., Li, S., Shahabi, H., Panahi, M., Singh, V. P., ... Bin Ahmad, B. (2018). New hybrids of ANFIS with several optimization algorithms for flood susceptibility modeling. *Water (Switzerland)*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/w10091210>
- Cash, J. R., & Karp, A. H. (1990). A Variable Order Runge-Kutta Method for Initial Value Problems with Rapidly Varying Right-Hand Sides. *ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)*, 16(3), 201–222. <https://doi.org/10.1145/79505.79507>
- Jarvis, A., Reuter, H. I., Nelson, A., & Guevara, E. (2008). *Hole-filled seamless SRTM data V4*. (September 2017). Retrieved from <http://srtm.csi.cgiar.org>
- Joshi, V., & Kumar, K. (2006). Extreme rainfall events and associated natural hazards in Alaknanda valley, Indian Himalayan region. *Journal of Mountain Science*, 3(3), 228–236. <https://doi.org/10.1007/s11629-006-0228-0>
- Nguyen, V. P., Pham, D. H., Bui, P. D., Bui, N. T., & Nguyen, D. V. A. (2021). Research the Possibility of Using Sea Sand in Roadbed Construction in Vietnam. *International Journal of GEOMATE*, 20(77), 123–131. <https://doi.org/10.21660/2020.77.47890>
- Rahman, M. R., & Thakur, P. K. (2018). Detecting, mapping and analysing of flood water propagation using synthetic aperture radar (SAR) satellite data and GIS: A case study from the Kendrapara District of Orissa State of India. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21, S37–S41. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.10.002>
- Rifath, A. R., Muktadir, M. G., Hasan, M., & Islam, M. A. (2024). Flash flood prediction modeling in the hilly regions of Southeastern Bangladesh: A machine learning attempt on present and future climate scenarios. *Environmental Challenges*, 17(August), 101029. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.101029>
- Samanta, S., Pal, D. K., & Palsamanta, B. (2018). Flood susceptibility analysis through remote sensing, GIS and frequency ratio model. *Applied Water Science*, 8(2). <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0710-1>
- Sayama, T., Tatebe, Y., Iwami, Y., & Tanaka, S. (2015). Hydrologic sensitivity of flood runoff



- and inundation: 2011 Thailand floods in the Chao Phraya River basin. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(7), 1617–1630. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1617-2015>
- Sayama, Takahiro, Ozawa, G., Kawakami, T., Nabesaka, S., & Fukami, K. (2012). Analyse pluie-débit-inondation de la crue de 2010 au Pakistan dans le bassin de la rivière Kaboul. *Hydrological Sciences Journal*, 57(2), 298–312. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.644245>
- SENAMHI. (2021). *Estudio de modelamiento hidrológico a paso diario a nivel nacional para el monitoreo de potenciales inundaciones*.
- Sørensen, R., Zinko, U., & Seibert, J. (2006). On the calculation of the topographic wetness index: Evaluation of different methods based on field observations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(1), 101–112. <https://doi.org/10.5194/hess-10-101-2006>
- Wagner, K. (2007). Mental models of flash floods and landslides. *Risk Analysis*, 27(3), 671–682. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2007.00916.x>



**CENEPRED**

Centro Nacional de Estimación, Prevención y  
Reducción del Riesgo de Desastres

<https://www.gob.pe/cenepred>

Dirección: Av. Del Parque Norte. N° 829 - 833. San Isidro, Lima - Perú

Horario: de atención: 08:30 a.m. a 05:30 p.m.