

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE HIDRÁULICA

EVALUACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO MEDIANTE SIG Y SNAP EN LA CUENCA DEL RÍO PASTAZA

PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO HIDRÁULICO

AUTOR(ES):

Jazmin Noemi Chicaiza Vargas

Nelly Margoth Tixilema Ruiz

TUTOR:

Ing. Rudys Cusme Intriago

LATACUNGA, AGOSTO, 2026

Latacunga, 6 de agosto del 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Nelly Margoth Tixilema Ruiz declaro ser autora del proyecto de titulación "Evaluación de la humedad del suelo mediante SIG y SNAP en la cuenca del río Pastaza", siendo el Ing. Rudys Cusme Intriago tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.

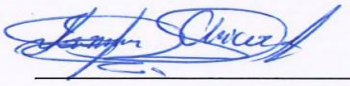
Nelly Margoth Tixilema Ruiz
C.C: 1727881425

Latacunga, 6 de agosto del 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Jazmin Noemi Chicaiza Vargas declaro ser autora del proyecto de titulación "Evaluación de la humedad del suelo mediante SIG y SNAP en la cuenca del río Pastaza", siendo el Ing. Rudys Cusme Intriago tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.



Jazmin Noemi Chicaiza Vargas
C.C: 0550314769

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **JAZMIN NOEMI CHICAIZA VARGAS**, identificado con cédula de ciudadanía No.0550314769 de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará EL CEDENTE; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. – EL CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Hidráulica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **"EVALUACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO MEDIANTE SIG Y SNAP EN LA CUENCA DEL RÍO PASTAZA"**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2022-Agosto 2022

Finalización de la carrera: Abril 2026 – Agosto 2026

Aprobación en Consejo Directivo: 13 de Agosto del 2026

Tutor: Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago, MSc

Tema: **"EVALUACIÓN DE LA HUMEDAD DE SUELO MEDIANTE SIG Y SNAP EN LA CUENCA DEL RÍO PASTAZA "**

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **EL CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE,** transfiere definitivamente a LA CESIONARIA y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

f) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.

g) La publicación del trabajo de grado.

h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

j) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que LA CESIONARIA no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 14 días del mes de agosto del 2026.

Jazmin Noemi Chicaiza Vargas
LA CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **JAZMIN NOEMI CHICAIZA VARGAS**, identificado con cédula de ciudadanía No.0550314769 de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará EL CEDENTE; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. – EL CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Hidráulica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado "**EVALUACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO MEDIANTE SIG Y SNAP EN LA CUENCA DEL RÍO PASTAZA"**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2022-Agosto 2022

Finalización de la carrera: Abril 2026 – Agosto 2026

Aprobación en Consejo Directivo: 13 de Agosto del 2026

Tutor: Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago, MSc

Tema: **"EVALUACIÓN DE LA HUMEDAD DE SUELO MEDIANTE SIG Y SNAP EN LA CUENCA DEL RÍO PASTAZA "**

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **EL CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE,** transfiere definitivamente a LA CESIONARIA y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

f) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.

g) La publicación del trabajo de grado.

h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

j) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que LA CESIONARIA no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 14 días del mes de agosto del 2026.

Nelly Margoth Tixilema Ruiz
EL CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

Latacunga, 6 de agosto del 2026

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: "Evaluación de la humedad del suelo mediante SIG y SNAP en la cuenca del río Pastaza". propuesto por las estudiantes: Jazmin Noemi Chicaiza Vargas y Nelly Margoth Tixilema Ruiz de la Carrera de Ingeniería Hidráulica, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.

Ing. Rudys Cusme Intriago, Mg.
C.C. 1313770891
TUTOR

Latacunga, 06/08/2026

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

En calidad de tribunal de lectores aprueban el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentaria emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y, por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, las postulantes Chicaiza Vargas Jazmin Noemi y Tixilema Ruiz Nelly Margoth con el título de su proyecto de investigación **"Evaluación de la humedad del suelo mediante SIG y SNAP en la cuenca del río Pastaza"** ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto se autorizó grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Para constancia firma:

Ing. Andy Miguel Giler Ormaza, MSc.	Ing. Jorge Villaroel	Ing. Patricio Chávez Zapata
C.C:1312820325	C.C: 0502943491	C.C:0501305668
LECTOR 1 (PRESIDENTE)	**LECTOR 2 (MIEMBRO)**	**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todos los que han sido parte fundamental en esta carrera llamada universidad. En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme vida, salud, por cuidarme y permitirme llegar hasta aquí. Por guiar mis pasos y nunca soltarme en los momentos difíciles. Sin Él, nada de esto sería posible.

A mis padres, Yolanda Vargas y Luciano Chicaiza Gracias por cada sacrificio, por cada palabra de aliento y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Mamá Yolanda, gracias por tu amor incondicional, por tus consejos y por estar siempre presente en cada paso que doy. Papá Luciano, gracias por tu ejemplo de perseverancia, por tu fortaleza y por enseñarme que con esfuerzo todo es posible. Ustedes son mi mayor inspiración y mi más grande bendición en la tierra. Los amo.

A mis hermanos/as Patricia, Vanessa, Joel, David, Juan y Aron Gracias por su apoyo constante, por sus ánimos en los momentos difíciles y por celebrar conmigo cada pequeño logro. Su compañía y su cariño han hecho este viaje más llevadero y significativo.

A mis cuñados Miguel Aguaisa y Bryan Quintero. Gracias por sumarse a nuestra familia con tanto cariño, por su respaldo y por estar siempre dispuestos a brindarme su apoyo. Cada uno de ustedes ha aportado su granito de arena para que hoy pueda estar aquí.

Gracias de corazón a todos. Sin ustedes, este logro no hubiera sido posible.

Jazmin Noemi Chicaiza Vargas

DEDICATORIA

Esta dedicatoria va especialmente para Dios por poner en mi camino a las personas que hoy me acompañan y por darme la oportunidad de cumplir este sueño.

A mis padres, Yolanda Vargas y Luciano Chicaiza por ser mi norte y mi hogar. Por darme la vida y enseñarme a vivirla con valentía. Todo lo que soy y todo lo que sueño ser, lleva su esencia. Esta meta es de ustedes. Gracias por su amor infinito y por ser el mejor regalo que Dios me ha dado.

A mis hermanos y hermanas por ser mis primeros amigos, mis cómplices de infancia y mis compañeros de vida. Cada uno de ustedes tiene un pedacito de mi corazón. Gracias por soportarme y cumplirme mis caprichos. Los amo.

A mis cuñados Porque al amar a mis hermanas, también me eligieron a mí para ser parte de su familia. Gracias por su cariño sincero y por ser parte de esta hermosa familia.

Se los dedico con todo mi amor, admiración y gratitud eterna.

Jazmin Noemi Chicaiza Vargas

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer profundamente a Dios y a mi familia que me acompañaron en todas las etapas de mi vida ya que sin ellos no podría haber logrado esta meta importante en mi vida.

Segundo a mis padres y a mi hermana Noemi por siempre brindarme su apoyo incondicional, por estar a mi lado en todo momento, por confiar en mí y por motivarme a seguir adelante y nunca rendirme.

Agradecer también a mi tutor de tesis por su paciencia, orientación y recomendaciones para poder culminar con éxitos mis estudios. Gracias a todas estas personas y que dios los bendiga siempre.

Tixilema Ruiz Nelly Margoth

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primero a Dios quien me ha dado salud y fuerza para poder alcanzar esta meta, a mis hermanos, a mi esposo y a mi hija por su amor y su apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de todo este proceso de formación personal y profesional.

Especialmente dedico este logro con mucho cariño a mis padres por siempre estar presente en todos los momentos buenos y malos de mi vida por enseñarme valores y a no rendirme ante las adversidades que se me presenten.

También dedico este logro a mi fiel compañero Lucas que, aunque no se encuentre físicamente dejó recuerdos inolvidables que siempre llevaré en mi corazón, siempre estarás presente en mi corazón. Esta meta también lleva un pedacito de ti. Por eso esta dedicatoria es para todos ustedes.

Tixilema Ruiz Nelly Margoth

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: EVALUACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO MEDIANTE SIG Y SNAP AN LA CUENCA DEL RIO PASTAZA

Autores:

Jazmin Noemi Chicaiza Vargas

Nelly Margoth Tixilema Ruiz

RESUMEN

El monitoreo del agua retenida en la parte superficial del suelo enfrenta desafíos en los ecosistemas andino-amazónicos, donde la orografía accidentada y la nubosidad constante limitan las mediciones normales, en este trabajo se evaluó la variabilidad espacio temporal de la humedad superficial en la cuenca del río Pastaza, integrando geoprocesamiento avanzado y teledetección. La delimitación de la cuenca mediante procesos computacional alcanzo un índice de Jaccard de 0.78 frente a la cartografía presentada por el Ministerio del Ambiente. A partir del tiempo de estudio de enero 2025 a enero 2026, se procesaron señales de radar Sentinel-1 y datos multiespectrales Sentinel-2, al carecer de una calibración física, se utilizó un índice espacial multicriterio que aísla el ruido de la biomasa e integra la retro dispersión con la topografía. La evaluación estadística, sustentada en un modelo de regresión lineal con coeficiente determinístico de 0.04 hasta 0.30, constató el impacto del drenaje gravitacional impuesto por las altas pendientes, esta cartografía generada es un insumo exploratorio fundamental para que los tomadores de decisión y el sector agro productivo estructuren futuros mecanismos de alerta temprana ante déficits hídricos.

Palabras clave: Humedad del suelo, Sentinel-1, Sentinel-2, SNAP, Sistemas de información geográficas.

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES FACULTY

THEME: "SOIL MOISTURE ASSESSMENT THROUGH GIS AND SNAP IN THE PASTAZA RIVERS BASIN"

Authors:

Jazmin Noemi Chicaiza Vargas

Nelly Margoth Tixilema Ruiz

ABSTRACT

Monitoring water retained in the soil's superficial part faces challenges in Andean-Amazonian ecosystems, where caused an accident orography rugged terrain and constant cloud limit normal measurements, in this work, it was assessed the spatiotemporal variability of surface moisture in the Pastaza River basin, integrating advanced geoprocessing and remote sensing. The basin delineation through computational processes achieved a Jaccard index of 0.78 compared to the cartography presented by the Environment Ministry. Starting at the study time of January 2025 to January 2026, it was processed Sentinel-1 radar signals and Sentinel-2 multispectral data, by lacking a physical calibration, it was used a multi-criteria spatial index, which isolates noise from biomass and integrates backscatter with topography. The statistical assessment, based on a linear regression model with a deterministic coefficient of 0.04 to 0.30, established the impact of gravitational drainage imposed by the high slopes, this generated cartography is a fundamental exploratory input for decision-makers and the agricultural production sector to structure future early warning mechanisms before water deficits.

Keywords: Soil moisture, Sentinel-1, Sentinel-2, SNAP, Geographic Information Systems.

ÍNDICE GENERAL

1. INFORMACIÓN GENERAL 1
2. INTRODUCCIÓN 2
2.1. Situación Problemática 2
2.2. Formulación del problema 3
2.3. Objeto y Campo de Acción 3
2.3.1. Objeto de Investigación: 3
2.3.2. Campo de Acción: 4
2.4. Beneficiarios 4
2.4.1. Directo 4
2.4.2. Indirecto 4
2.5. Justificación 4
2.6. Objetivos 4
2.6.1. General 4
2.6.2. Específicos 4
2.7. Sistemas de Tareas 6
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 7
3.1. Fundamentos hidrológicos y la humedad del suelo 7
3.2. Teledetección espacial 8
3.3. Plataformas y flujos de trabajos 10
3.4. Análisis espacial y geo morfometría 13
4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS 16
4.1. Área de estudio 16
4.2. Enfoque de la investigación 17
4.3. Materiales, datos y herramientas 18
4.4. Softwares 20
4.5. Diagrama de flujo 21
4.6. Procedimiento metodológico 22
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS 29
5.1. Adquisición de datos 29
5.2. Procesamiento de los datos 33
5.3. Modelación de la humedad del suelo 38
5.4. Evaluación de la humedad del suelo 40

5.5. Discusión 42
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 44
6.1. Conclusiones 44
6.2. Recomendaciones 44
7. REFERENCIAS 46
8. ANEXOS 51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1: Acoplamiento de los procesos hidrológicos. [18] 7
Figura 3.2: Esquema del cambio de cobertura y uso de suelo. 8
Figura 3.3. Espectro de la banda de microondas [21] 9
Figura 3.4. Radar – Sentinel-1 en órbita [23] 10
Figura 3.5. Operación de los modelos de Sentinel-1 [23] 11
Figura 3.6. Resoluciones de las bandas de Sentinel-2 11
Figura 3.7. Plataforma – Software SNAP 12
Figura 3.8. Esquema de trabajo en SNAP [30] 13
Figura 3.9. Software de referencia SIG - QGis 14
Figura 3.10. Esquema del modelo TWI 15
Figura 3.11. Visualización del método determinístico del índice de Jaccard 15
Figura 4.1. Flujo de trabajo de la investigación 21
Figura 4.2. Esquema metodológico de la adquisición de datos y delimitación de cuenca 23
Figura 4.3. Esquema metodológico del preprocesamiento 25
Figura 4.4 Esquema metodológico del análisis espacial 26
Figura 4.5. Esquema metodológico de la evaluación espaciotemporal 28
Figura 5.1. Delimitación de la cuenca con información del Ministerio del Ambiente 30
Figura 5.2. Mosaico del modelo de elevación de la cuenca del Río Pastaza 31
Figura 5.3 Delimitación de la cuenca 32
Figura 5.4 Imagen satelital Sentinel-1 del mes de diciembre 33
Figura 5.5. Superposición de las cuencas 34
Figura 5.6. Índice topográfico de humedad 35
Figura 5.7. Pendiente del terreno 36
Figura 5.8. Índice de vegetación normalizada anual 38
Figura 5.9. Procesamiento de las imágenes Sentinel -1 38
Figura 5.10. Resultados de la humedad del suelo anual 40
Figura 5.11. Regresión lineal (Humedad – NDVI) 42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.2: Áreas Conocimientos Unesco. [1] 1
Tabla 2.1 Sistema de Tareas del Plan de Titulación. 6
Tabla 4.1. Especificaciones técnicas del Sentinel-1 según la ESA 18
Tabla 4.2. Especificaciones técnicas de Sentinel-2 según la ESA..... 19
Tabla 4.3. Especificaciones técnicas del MED 19
Tabla 5.1. Detalle de los modelos de elevación digital – Alos Palsar..... 30
Tabla 5.2 Resultados del TWI 34
Tabla 5.3. Resultados de la pendiente..... 35
Tabla 5.4. Resultado del NDVI..... 37
Tabla 5.5. Resultados de la humedad del suelo..... 39
Tabla 5.6. Resultados de la Regresión Lineal..... 40

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3.1: Índice de Jaccard 16
Ecuación 3.2: Modelo de regresión lineal. 16
Ecuación 4.1 Índice de Jaccard 22
Ecuación 4.2. Ecuación general del Índice de vegetación 24
Ecuación 4.3. Ecuación del índice de vegetación para las imágenes Sentinel-2 24
Ecuación 4.4 Ecuación del índice de humedad 25
Ecuación 4.5 Ecuación de la regresión 27
Ecuación 4.6. Coeficiente de determinación R^2 27
Ecuación 4.7. Raíz del error cuadrático medio (RMSE) 27
Ecuación 5.1. Ecuación de la humedad 38

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: Evaluación de la humedad del suelo mediante SIG y SNAP en la cuenca del río Pastaza.

Modalidad de Titulación:

MODALIDAD DE TITULACIÓN	HOMOLOGACIONES PARA INFORME FINAL DE TITULACIÓN	SELECCIÓN
Propuesta tecnológica	Informe de propuesta tecnológica	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
	Artículo científico	
Proyecto de investigación	Informe de Proyecto de investigación	X
	Artículo científico	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
Examen de indicadores de RDA		

Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto: S/P.

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación: Jazmín Noemi Chicaiza Vargas, Nelly Margoth Tixilema Ruiz, Ing. Rudys Cusme, Mgtr.

Área de Conocimiento:

Tabla 1.1: Áreas Conocimientos Unesco. [1]

25 Ciencia de la tierra y del espacio	2508 Hidrología	2508.11 Humedad del suelo

Línea de investigación: Meteorología, hidrología, mecánica de fluidos, sistemas y obras hidráulicas.

Sub-líneas de investigación de la Carrera: Gestión y manejo sostenible y/o sustentable del recurso hídrico.

2. INTRODUCCIÓN

El agua que se encuentra retenida en la parte superficial de la tierra es la que controla el intercambio energético y de carbono entre la capa de la litosfera y la atmosfera. A pesar de que esto es una pequeña representación del volumen general de agua dulce, su condición define como la lluvia se divide es decir entre lo que se filtra hacia el terreno y lo que corre por la superficie [2], [3]. Por ello, ante el debido aumento de acontecimientos climáticos severos [4], se procedió a cartografiar los lugares donde se encuentra más húmedo el suelo, esto se volvió algo indispensable para la correcta organización agrícola ya que así evitamos desastres que pueden aparecer. A su vez, las técnicas más habituales que se utilizan para medir esto son los sensores de capacitancia, reflectometría de dominio de tiempo (TDR) y los ensayos gravimétricos in situ. Además, los beneficios que ofrecen estos métodos al momento de ser utilizados son resultados precisos en cada punto de medición. Sin embargo, su costo suele ser muy elevado y enfrentan limitaciones al momento de querer aplicar en zonas más extensas. Como los puntos de medición se encuentran muy dispersos no se logra observar con precisión la variación espacial en la topografía [5], esto obliga a los modeladores a estimar valores en las zonas que no se alcanzaron a ser medidas, lo que provoca mucha inseguridad y gran duda en los datos finales [6].

Sumando a ello, es importante recalcar que la observación desde el satélite nos brinda una solución que los métodos tradicionales no pueden ofrecer ya que estos no cubren zonas grandes [7]. De hecho, los satélites comunes que son infrarrojos y ópticos no son de utilidad porque estos no funcionan en la zona de andes-amazónica debido a que siempre esta cubierto por nubes. Afortunadamente, el Radar de Apertura Sintética (SAR) si logra ver a través de las nubes, lluvia y hojas y logra llegar al suelo [8]. Asimismo, como el suelo cambia constantemente sus propiedades el radar logra captar de mejor manera los cambios de humedad que se producen [9].

En este sentido, aquí es donde entra Sentinel-1 del programa europeo Copernicus (equipado con SAR de banda C) donde su principal función es proporcionar imágenes claras y concretas para supervisar zonas extensas [10], [11]. Ahora bien, los datos que nos da son cantidades numéricas que todavía no han sido analizados y para poder interpretarlos se requiere de procedimientos complejos. Por fortuna, tenemos a nuestro alcance herramientas especializadas como lo es SNAP diseñada por la Agencia Espacial Europea (ESA), que nos sirve para poder ajustar las mediciones del radar y por ende

corregir algunos problemas que pueden aparecer cuando el radar choca en espacios de la cordillera [12].

Posteriormente, una vez que la señal del radar queda ajustada se procede a contextualizar. De tal manera, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) nos facilita para poder agrupar toda la información del radar con los mapas de los terrenos donde se visualiza su altura y su vegetación [13], [14]. Esto es algo fundamental para poder analizar y entender zonas como lo es la cuenca del río Pastaza, es un lugar donde un canal baja rápidamente desde los Andes nevados hasta la Amazonia. Es un sitio que se encuentra en constante movimiento y expansión de la agricultura

[15], [16]. Por esta razón, la presente investigación tiene como objetivo la elaboración de un índice geoespacial de humedad superficial potencial para el río Pastaza, utilizando programas como SNAP junto con los cálculos SIG, con el fin de entregar mapas actualizados a los agricultores y autoridades para enfrentar y estar preparados ante los cambios climáticos.

2.1.Situación Problemática

El hecho de no contar con información específica y actualizada de cómo se encuentra la humedad del suelo en la cuenca del río Pastaza, afecta al desarrollo agrícola como limita riesgos de deslizamiento e inundaciones. A esto se suma, que las mediciones en estas zonas son muy complicadas, ya que existen laderas que son muy empinadas y peligrosas y las entidades responsables no disponen de recursos económicos ni recursos logísticos [5]. Por consiguiente, en estos sectores no se puede prever las zonas que están próximas a secar y perder humedad y las zonas que se van a inundar, las decisiones que toman los agricultores como las autoridades se basan específicamente en la experiencia o la intuición, no en datos científicos ni técnicos.

2.2.Formulación del problema

¿Qué patrones espaciales y temporales presenta un índice geoespacial normalizado de humedad superficial, construido mediante retro dispersión Sentinel-1, Sentinel-2 y variables topográficas en la cuenca del río Pastaza?

2.3.Objeto y Campo de Acción

2.3.1. Objeto de Investigación: Humedad del suelo en la cuenca del Río Pastaza.

2.3.2. Campo de Acción: 2508.11 Humedad del suelo

2.4.Beneficiarios

2.4.1. Directo

- Autoridades locales de la gestión hídrica.
- Asociaciones agrícolas o productores de la zona.
- Comunidad científica y académica.

2.4.2. Indirecto

- Moradores de la cuenca.
- Entidades comerciales y de logísticas.

2.5.Justificación

La modelación de la disponibilidad hídrica a nivel superficial resulta apremiante para fortalecer la resiliencia de la infraestructura y el ordenamiento territorial frente a las sequias y deslaves recurrentes [2], La densa nubosidad amazónicas y andina inhabilita a las misiones ópticas, aprovechar las capacidades del radar pasa este condicionante climático, asegurando una recolección sistemática de datos [10]. Este estudio traza un recorrido metodológico que entrelaza la potencia de cálculo de lenguajes de programación con repositorios satelitales abiertos, fundando una línea base cartográfica que moderniza radicalmente la gestión del agua en la región centro-oriental del Ecuador.

2.6.Objetivos

2.6.1. General

Evaluar el índice geoespacial normalizado de humedad superficial mediante retro dispersión, variables topográficas e información espectral multibanda para la cuenca del río Pastaza.

2.6.2. Específicos

- Recopilar imágenes satelitales de observación de la tierra (Sentinel-1, Sentinel-2) mediante Copernicus para el preprocesamiento de información de la cuenca del río Pastaza.

- Procesar la información mediante técnicas de geo procesamiento en SNAP y QGis para la generación de modelos de la cuenca del río Pastaza.
- Analizar la dinámica del índice humedad y su relación con la cobertura de suelo y variables topográficas presente en la cuenca del río Pastaza.

2.7.Sistemas de Tareas

Tabla 2.1 Sistema de Tareas del Plan de Titulación.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Recopilar imágenes satelitales de observación de la tierra (Sentinel-1) mediante Copernicus para el preprocesamiento de información de la cuenca del río Pastaza.	Delimitación y acondicionamiento de la cuenca del río Pastaza utilizando Modelo de elevación digital y descarga de imágenes Sentinel-1 y Sentinel-2	Imágenes satelitales Sentinel de la cuenca del río Pastaza	Copernicus SNAP QGIS
Procesar la información mediante técnicas de geoprocesamiento en SNAP y QGis para la generación de modelos de la cuenca del río Pastaza.	Procesamiento de los datos de retro dispersión en la plataforma SNAP con ejecución de mapas en SIG para construir el índice.	Mapas de humedad del suelo en la cuenca del río Pastaza.	SNAP QGIS
Analizar la dinámica del índice humedad y su relación con la cobertura de suelo y variables topográficas presente en la cuenca del río Pastaza.	Extracción de la cobertura vegetal, variables topográficas y ejecución de la evaluación estadística.	Métricas estadísticas para la correlación de la humedad del suelo con la cobertura vegetal.	QGIS Python

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1.Fundamentos hidrológicos y la humedad del suelo

3.1.1. Dinámica de la humedad superficial

Se define a la humedad superficial como la fracción volumétrica de agua alojada en los poros de la matriz edáfica superior (generalmente los primeros 5 a 10 centímetros). Pese a constituir apenas el 0.0012% de las reservas continentales, esta lámina hídrica regula de forma directa el balance térmico y determina los umbrales de infiltración frente a las precipitaciones [3], [17]. Entender la variación física de los niveles de saturación permite estimar el riesgo latente de inundaciones repentinas o, en el extremo opuesto, el declive de los rendimientos agrícolas por marchitez.

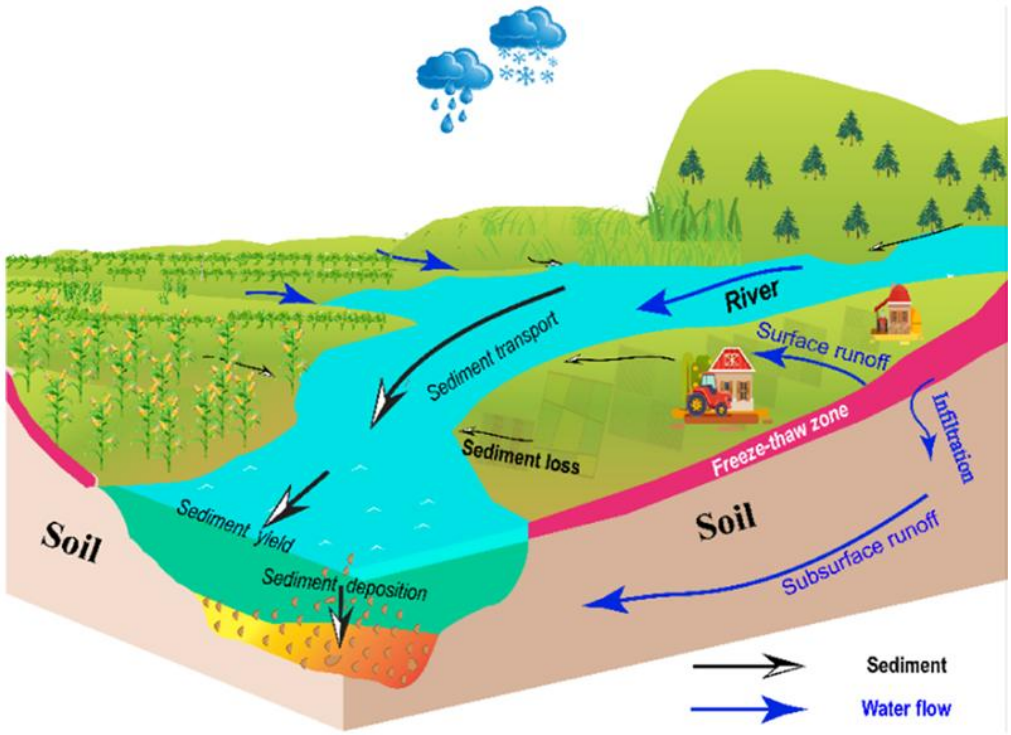


Figura 3.1: Acoplamiento de los procesos hidrológicos. [18]

3.1.2. Interacciones hidrológicas en cuencas andino-amazónicas

La geografía orquesta de manera implacable el flujo de estas aguas. En sistemas de transición como la cuenca del río Pastaza, el choque de los vientos húmedos orientales contra la pared andina desencadena precipitaciones orográficas intensas [19]. La topografía abrupta acelera la escorrentía, limitando el tiempo de retención en las laderas.

Cualquier alteración en la frontera agrícola disminuye aún más la permeabilidad estructural del suelo, agravando la vulnerabilidad de las poblaciones asentadas en los valles [15].

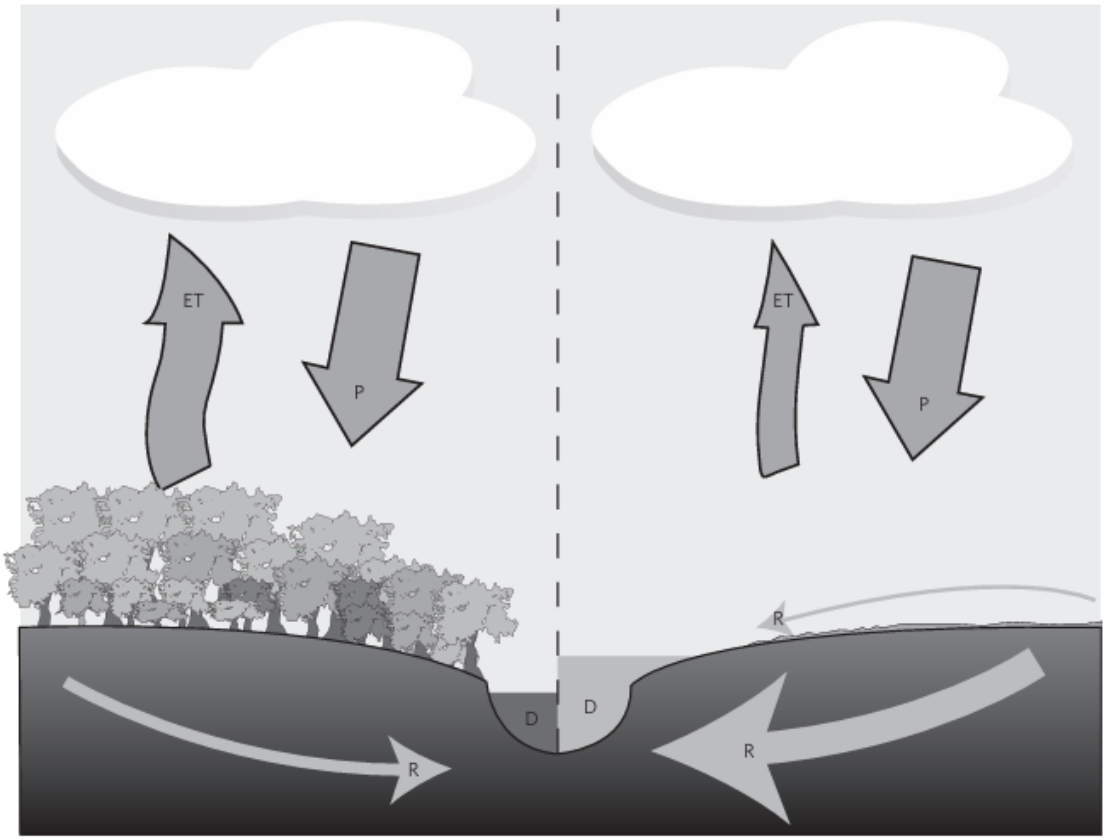


Figura 3.2: Esquema del cambio de cobertura y uso de suelo.

3.2.Teledetección espacial

3.2.1. Espectro Electromagnético y Microondas

Extraer datos continuos en terrenos escarpados exige trascender el monitoreo clásico y apoyarse en la observación satelital. Las técnicas ópticas basadas en índices de estrés hídrico se ven paralizadas por los techos de nubes característicos del trópico. La física de las microondas resuelve este conflicto operativo: operando con longitudes de onda más amplias (de 0.30 a 30 cm), la energía traspasa las capas atmosféricas sin distorsión apreciable [20], [21].

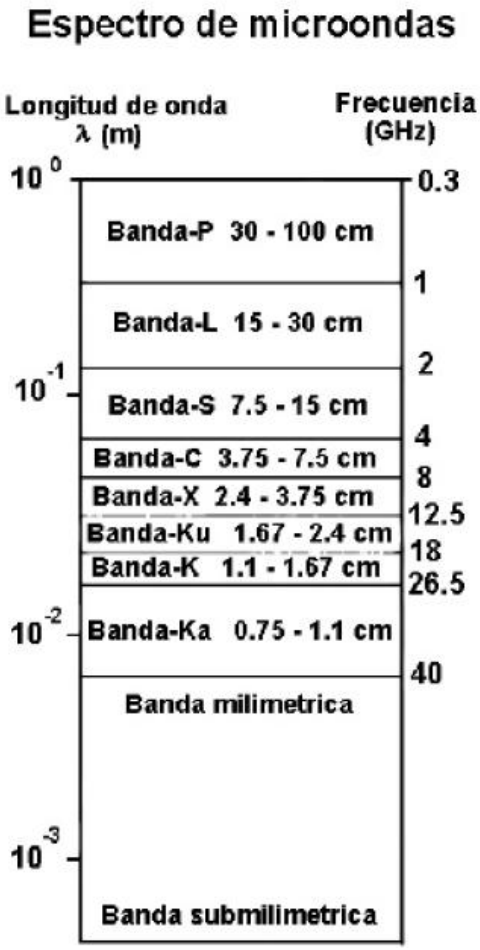


Figura 3.3. Espectro de la banda de microondas [21]

3.2.2. Sensores activos vs pasivos

En el ámbito de las microondas, la tecnología activa (radares) ostenta superioridad resolutiva frente a la pasiva (radiómetros). Los radares emiten señales y procesan su rebote, destilando píxeles de hasta 10 metros [22]. El suelo húmedo reacciona al pulso de radar como un espejo eléctrico: la constante dieléctrica del agua líquida (cercana a 80) difiere abruptamente de las partículas secas (entre 3 y 4). Así, conforme el terreno se satura de agua, la energía devuelta al satélite (retrodispersión) crece de manera notable [24], [25].



Figura 3.4. Radar – Sentinel-1 en órbita [23]

3.2.3. Dieléctrica del suelo

El principio físico que permite a un sensor medir la humedad del suelo radica en las propiedades eléctricas, específicamente en la constante dieléctrica relativa. El agua es estado líquido, debido a la estructura dipolar de su molécula que posee una constante dieléctrica excepcionalmente alta (con 80º a temperatura ambiente) en el rango de las microondas. Las partículas secas del suelo tienen una constante muy baja que se encuentra entre 3 y 4º [24]. Cuando aumenta el contenido volumétrico del agua en el suelo, la constante de la mezcla suelo-aire-agua aumenta exponencialmente. Este incremento en la permitividad eléctrica que aumenta proporcionalmente con la reflectividad de la superficie en la interfaz aire-suelo [25]. Es decir, un suelo más húmedo devuelve una señal de retrodispersión de los radares, al calibrar la señal de retorno es posible invertir modelos para cuantificar con exactitud la humedad presente en la capa superficial.

3.3.Plataformas y flujos de trabajos

3.3.1. Sentinel-1 y Sentinel-2

La constelación radar Sentinel-1 opera en Banda C, garantizando una interacción directa con la porción más superficial del terreno [23], [26]. Sin embargo, la biomasa atenúa este rebote eléctrico. Se torna mandatorio enlazar este análisis con las imágenes ópticas de la

misión Sentinel-2. Mediante índices como el NDVI, es posible calibrar matemáticamente la densidad del dosel y separar el "ruido vegetal" de la humedad real [27], [28].

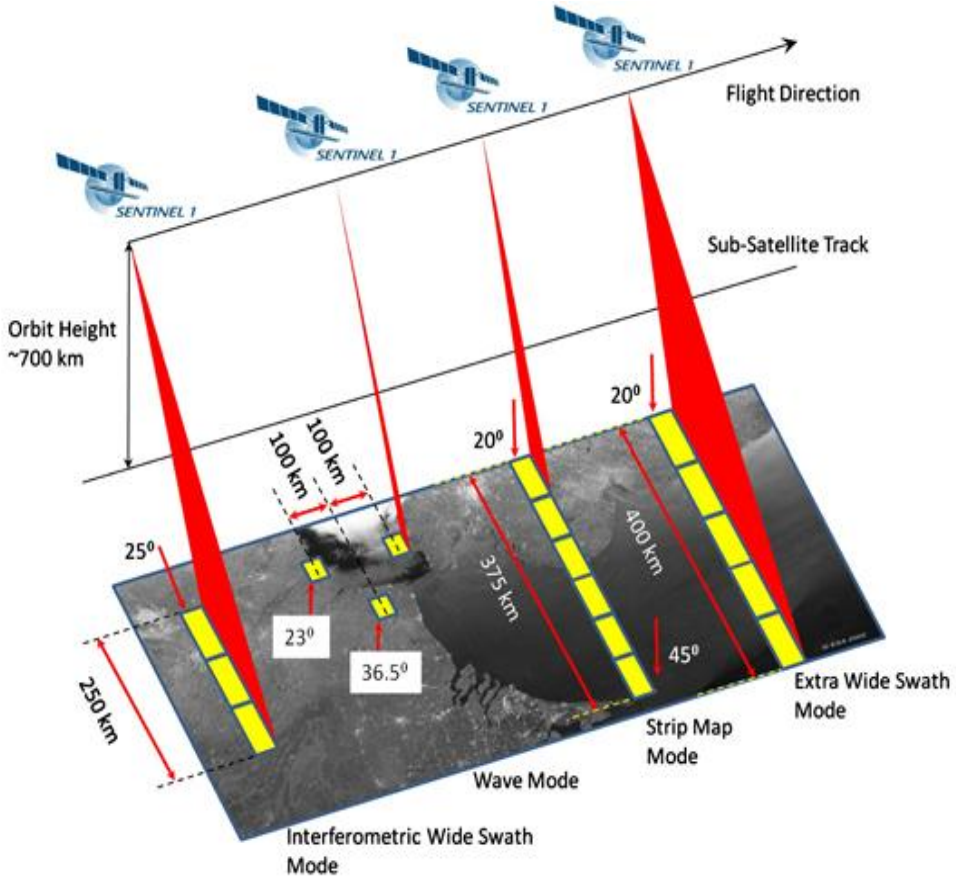


Figura 3.5. Operación de los modelos de Sentinel-1 [23]

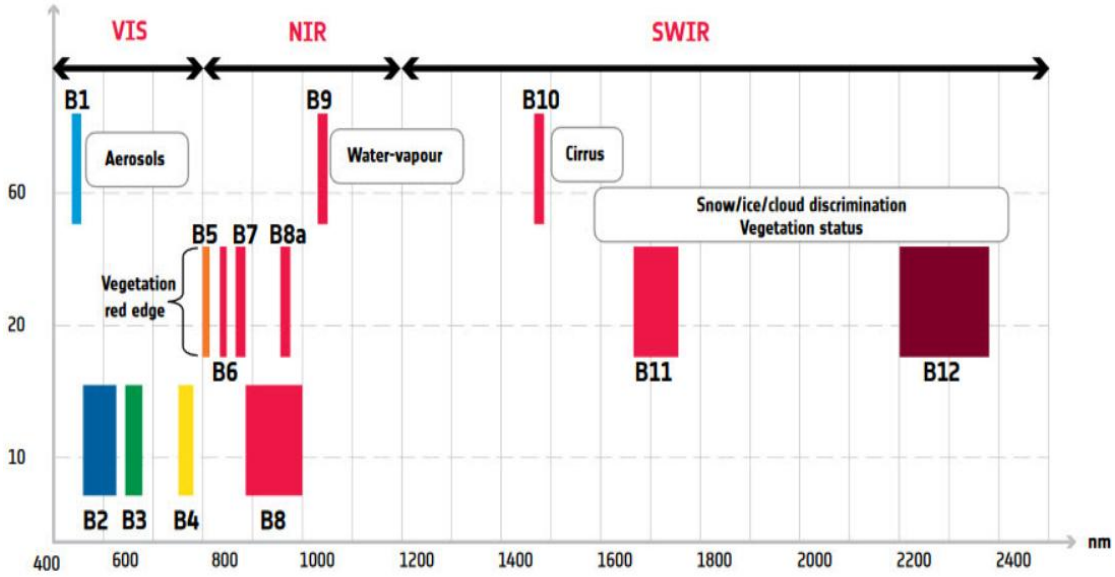


Figura 3.6. Resoluciones de las bandas de Sentinel-2

3.3.2. Plataforma - Software SNAP

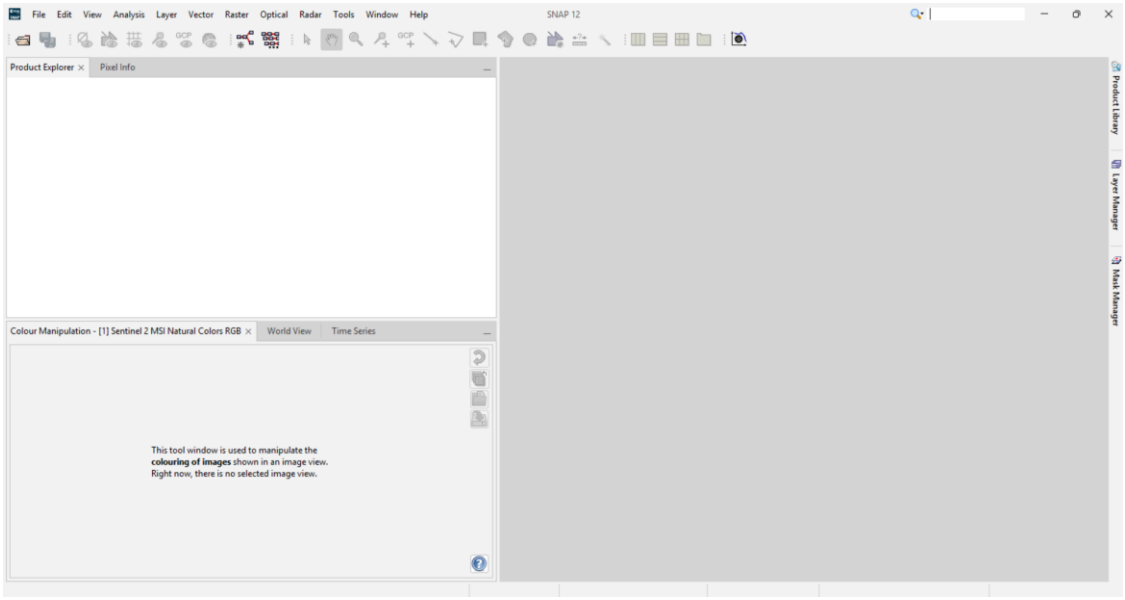


Figura 3.7. Plataforma – Software SNAP

El software Sentinel Application Platform lidera el preprocesamiento de estas señales crudas. Las herramientas integradas de calibración radiométrica asientan los valores de retrodispersión; los filtros espaciales (Refined Lee) suavizan la distorsión electromagnética natural del sensor, y las correcciones de rango-Doppler reasignan los píxeles desviados por el relieve topográfico a su verdadera posición ortográfica [11], [29], [30].

3.3.3. Calibración radiométrica

Convierte los números digitales (DN) capturados por el sensor en valores absolutos de retrodispersión de radar. Esta corrección compensa la perdida de señal debida a la distancia antena-objeto y los patrones del radar.

3.3.4. Filtro de Speckle

Las imágenes sufren un ruido granular de tipo multiplicativo debido a la interferencia constructiva y destructiva de las ondas electromagnéticas dentro de cada píxel. La plataforma SNAP implementa algoritmos de convolución avanzada, como referencia el filtro de Refined Lee, el cual preserva los bordes estructurales mientras promedia las áreas homogéneas para suavizar los ruidos posibles.

3.3.5. Correcciones del terreno

El radar adquiere datos mediante proyecciones inclinadas, la topografía montañosa genera graves distorsiones geométricas, utilizando un modelo digital de elevaciones (MED), el algoritmo Range-Doppler Terrain orto rectifica cada pixel a su ubicación geográfica real y corrige las variaciones radiométricas inducidas por el ángulo de incidencia de la cuenca [11].

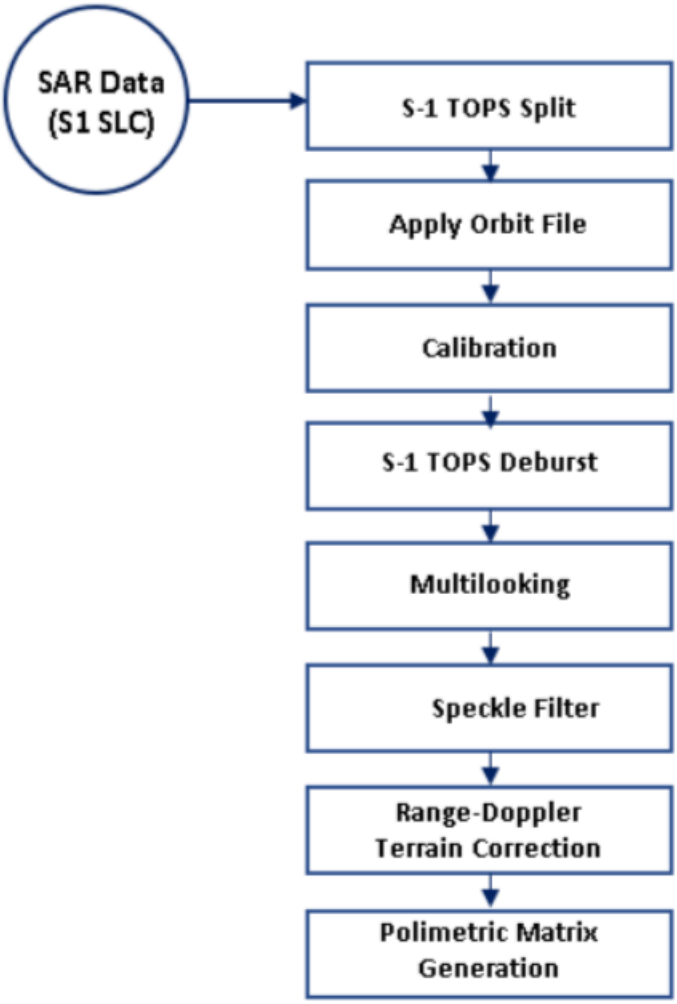


Figura 3.8. Esquema de trabajo en SNAP [30]

3.4.Análisis espacial y geo morfometría

3.4.1. Sistemas de información geográfica

Las imágenes satelitales que se procesan en SNAP, su modelado hidrológico demanda entornos analíticos que soporten algebra de mapas masivas y correlación espacial. Los sistemas de información funcionan como la matriz integradora que permiten la

superposición y análisis matricial de las variables derivadas de Sentinel-1 y Sentinel-2 con la climatología local y el sustrato geológico de las cuencas [31].

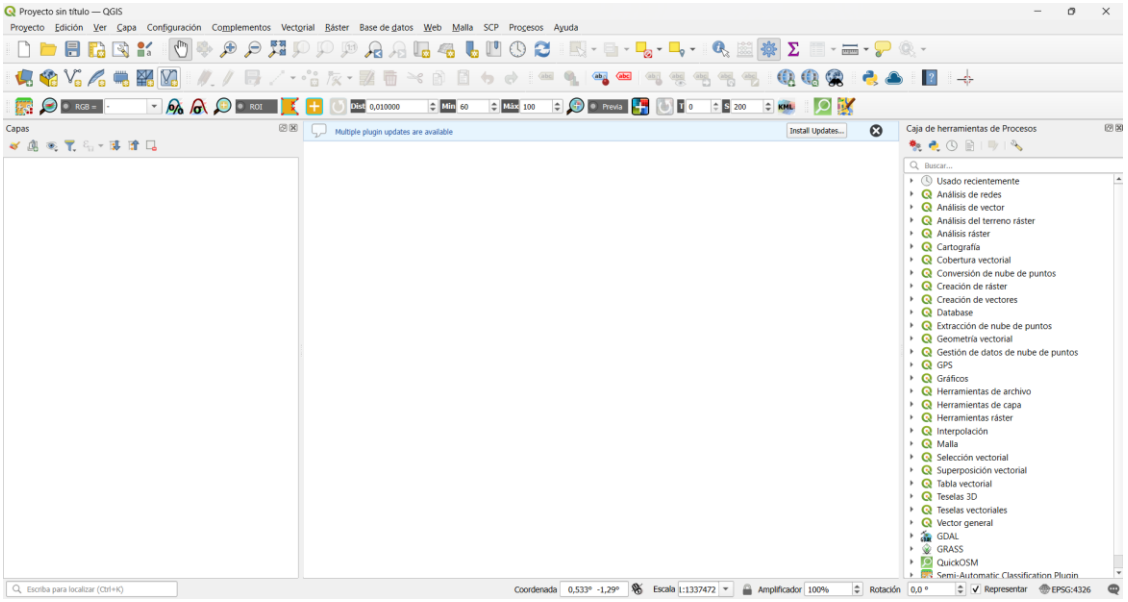


Figura 3.9. Software de referencia SIG - QGis

3.4.2. Modelos de elevación digital con sus parámetros morfométricos

La distribución gravitacional de la humedad superficial, esta fuertemente regulada por la morfometría del paisaje, el procesamiento de modelos digitales en entornos SIG a través de algoritmos o lenguajes como Python, lo que permite derivar parámetros críticos como el mapa de pendientes, direcciones de flujos y su acumulación de este [32]. El cálculo del índice topográfico de humedad (TWI) se modela probabilísticamente en las zonas de convergencia de agua frente a las zonas de rápida desecación. Cruzar el mapa de retrodispersión SAR con el TWI es una metodología optima para validar la coherencia espacial de la humedad.

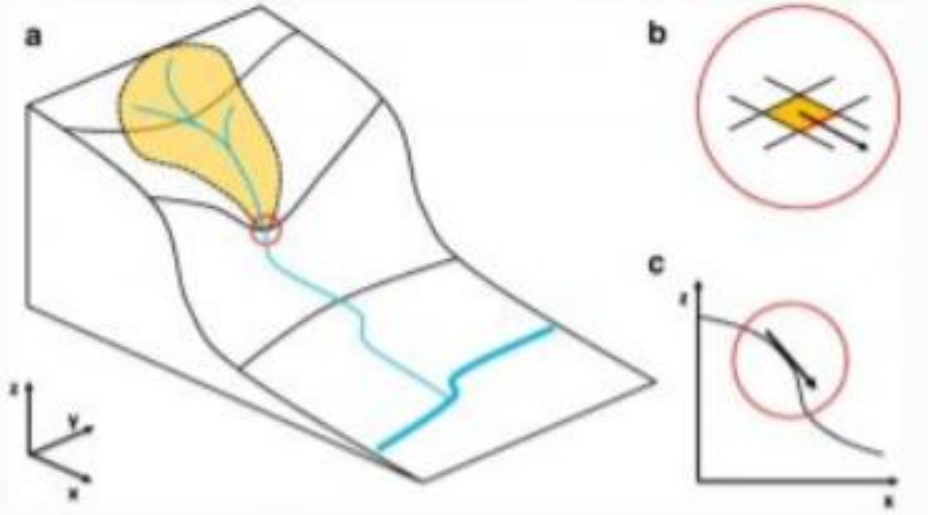


Figura 3.10. Esquema del modelo TWI

3.4.3. Índices de precisión espacial

En la modelación espacial, las metodologías computacionales y cartográficas se deben validar estadísticamente, dentro de las ciencias de la geo información, los coeficientes de similitud espacial son primordiales, métricas como índice de Jaccard pueden comprobar la fiabilidad de algoritmos de las extracciones geo morfométrica. Esta precisión morfométrica garantiza que se estimara el volumen de humedad satelital de los ríos, minimizando la propagación de errores en el análisis [33].

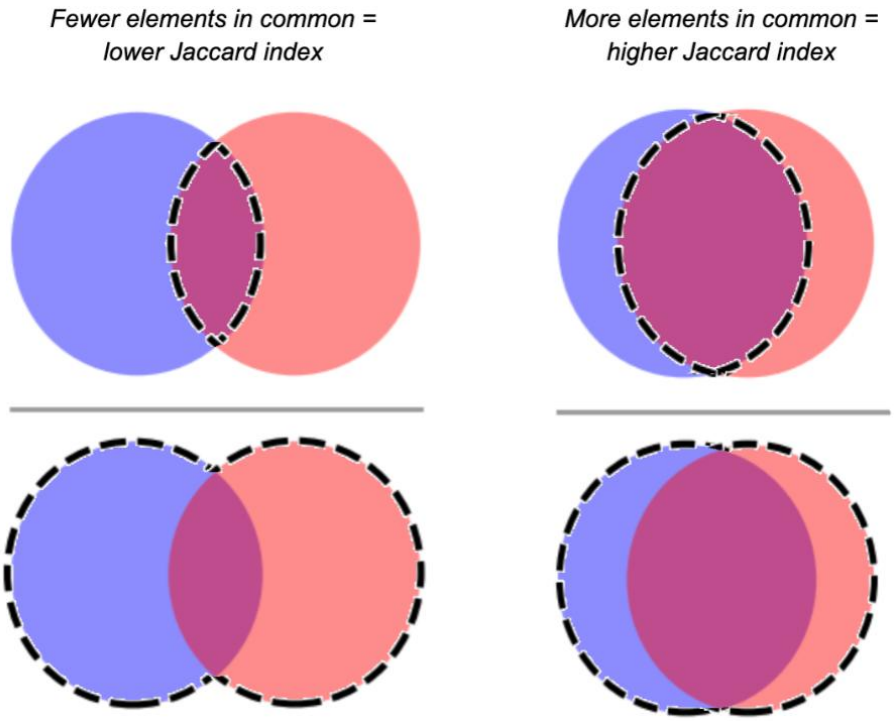


Figura 3.11. Visualización del método determinístico del índice de Jaccard

Este índice entre los valores más se acerque a la unidad demuestra matemáticamente que los resultados son más confiables a una exactitud casi perfecta de la humedad del suelo y la fórmula matemática del índice es la siguiente:

$$J(A,B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

Ecuación 3.1: Índice de Jaccard

Donde:

$A \cap B$ = Es el área de intersección

$A \cup B$ = Es el área de unión.

Siendo este uno de los índices que se pueden aplicar, luego podemos obtener otros métodos como el de regresión lineal que destaca su técnica para interpretar los procesos de regeneración, degradación o estabilidad de la cobertura, siendo una aportación matemática muy estable para conocer los valores de la humedad del suelo en función del tiempo de estudio [34], su ecuación matemática es la siguiente:

$$Y = a + bX$$

Ecuación 3.2: Modelo de regresión lineal.

Donde:

Y = valor estimado de la humedad

a = intercepto

b = pendiente de la tendencia

X = variable independiente (tiempo)

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1.Área de estudio

El desarrollo de la investigación se circunscribe en la cuenca del Río Pastaza, la cual es un sistema hidrográfico estratégico y de altísima complejidad ambiental ubicado en la región centro-oriental del Ecuador. Por sus características, constituye un laboratorio natural para evaluar la teledetección de humedad debido a su transición entre la cordillera de los Andes y llanura amazónica. Por ello se reconocen los siguientes datos importantes de la cuenca:

4.1.1. Ubicación y delimitación territorial

La cuenca del Río Pastaza transita sobre las vertientes orientales de la cordillera de los Andes, drenando sus aguas hacia la cuenca amazónica, abarca una extensión que involucra directa e indirectamente a las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Pastaza y Morona Santiago [35].

4.1.2. Geomorfología y relieve

Dentro de las características importantes en la cuenca de Pastaza, es su relieve extremadamente heterogéneo y su gradiente altitudinal, cuya gradiente altitudinal varia en las cumbres de los glaciares del volcán Cotopaxi y Chimborazo hasta descender drásticamente a la planicie amazónica, con elevaciones superiores a 5000 m.s.n.m. a las zonas altas y cercanas a 300 m.s.n.m. en la planicie amazónica.[35].

4.1.3. Climatología y cobertura de nubes

La cuenca presenta un régimen bimodal. En las zonas altas se registran temperaturas bajas y precipitaciones anuales comprendidas entre 500 y 1000 mm, en las estribaciones orientales el encuentro de masas de aire cálido y húmedo genera precipitaciones orográficas que pueden superar los 3000 mm anuales [35].

4.1.4. Uso del suelo

La geología de la cuenca alta y media está influenciada por actividad volcánica, predominando suelos de tipo Andisol, estos suelos poseen una estructura poroso característica que los dota para tener una capacidad de retención de humedad del suelo muy buena, pero los vuelve muy susceptibles a la erosión hídrica si llegan a perder mucha cobertura vegetal, lo cual el territorio presenta una presión antrópica debido a las actividades agropecuarias [35].

4.2.Enfoque de la investigación

El despliegue metodológico descansó sobre un paradigma cuantitativo de corte longitudinal y correlacional. Se abstuvo de manipular escenarios climáticos, apoyándose estrictamente en las series de tiempo extraídas por observación satelital para comprender el vínculo causal entre el índice de humedad potencial (variable dependiente) y el comportamiento del NDVI, la altitud y la inclinación del suelo [16].

4.3.Materiales, datos y herramientas

La investigación se estructura en un ecosistema tecnológico basado en programas informáticos libre y plataformas científicas abiertas.

4.3.1. Insumos

El modelado de la humedad del suelo requiere de la sinergia de fuentes de información espacial con resoluciones geométricas y espectrales, estos insumos se rigen por los estándares del programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA)

4.3.2. Imágenes SAR

Las imágenes satelitales son de Nivel 1. Se seleccionaron imágenes Sentinel-1 adquiridas en banda C, debido a su capacidad de operar bajo condiciones de nubosidad debido a su capacidad óptima para penetrar la nubosidad y lluvia, interactuando con los primeros centímetros de los perfiles edáficos.

Tabla 4.1. Especificaciones técnicas del Sentinel-1 según la ESA

Característica	Especificación
Misión Satelital	Sentinel-1 (Constelación A/B)
Tipo de Sensor	C-SAR (Radar de Apertura Sintética)
Frecuencia / Longitud de onda	Banda C: 5.405 GHz / ~5.6 cm
Nivel de Procesamiento	Level 1 GRD (Ground Range Detected)
Modo de Adquisición	IW (Interferometric Wide Swath)
Polarización	Dual: VV (Vertical-Vertical) y VH (Vertical-Horizontal)
Resolución Espacial Nominal	10 m x 10 m
Ancho de Barrido (Swath)	250 km
Plataforma de Descarga	Copernicus Open Access Hub (ESA)

4.3.3. Imágenes ópticas multiespectrales

Las imágenes son de Nivel 2A que viene con una corrección atmosférica para extraer el índice de vegetación (NDVI) y aislar la interferencia generada por la vegetación sobre las señales de los radares.

Tabla 4.2. Especificaciones técnicas de Sentinel-2 según la ESA

Característica	Especificación
Misión Satelital	Sentinel-2 (Constelación A/B)
Tipo de Sensor	MSI (MultiSpectral Instrument)
Nivel de Procesamiento	Level-2A (Bottom of Atmosphere - BOA)
Bandas extraídas (NDVI)	Banda 4 (Rojo: 665 nm) y Banda 8 (NIR: 842 nm)
Resolución Espacial (B4 y B8)	10 m
Frecuencia de Revisita	~5 días en el ecuador
Cobertura de Nubes Tolerada	< 20% sobre el área de interés

4.3.4. Modelos de elevación digital (MED)

Es fundamental para las delimitaciones y extracción de variables morfométricas de las cuencas (pendientes, redes de flujo, altitudes, entre otros).

Tabla 4.3. Especificaciones técnicas del MED

Característica	Especificación
Misión	ALOS PALSAR (Advanced Land Observing Satellite-Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar)
Tipo de Dato	Raster (Modelo digital de elevación)
Resolución Espacial	12.5 metros
Sistema de Referencia	CRS: EPSG:32717
Proveedor	JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency)

4.4.Softwares

4.4.1. Python – Pycharm IDE

Utilizado para el desarrollo de scripts de automatización con librerías espaciales como GeoPandas y WhiteboxTools. [36]

4.4.2. SNAP

También conocido como la aplicación de Sentinel de la ESA, es fundamental para el preprocesamiento físico y matemático de las microondas.

4.4.3. QGIS

Software de sistema de información geográfica que utiliza el algebra de mapas y diseño de la cartografía temática. [37]

4.5.Diagrama de flujo

La humedad del suelo se determina mediante un flujo secuencial e iterativo donde el procedimiento se divide en una fase estática y una fase dinámica, las cuales convergen en el modelado estadístico final.

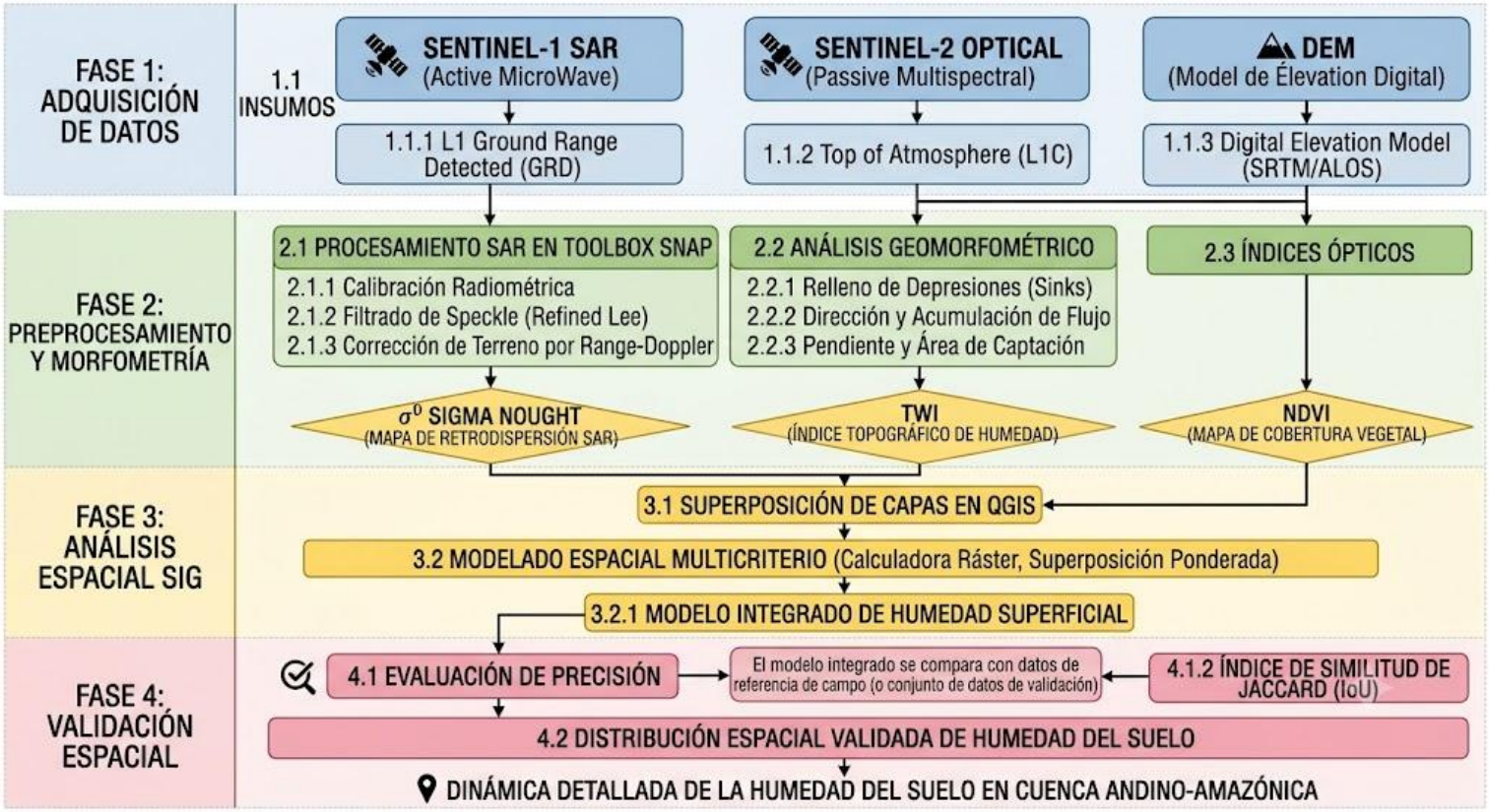


Figura 4.1. Flujo de trabajo de la investigación

4.6.Procedimiento metodológico

4.6.1. Delimitación de la cuenca

El primer paso metodológico consiste en definir con precisión los límites del área de estudio. El trazado manual se reemplazó por un algoritmo desarrollado en Python y ejecutado desde Pycharm.

- Se acondiciona el MED con la librería de WhiteboxTools, aplicando el algoritmo Breach Depressions para eliminar los sumideros erróneos en el modelo ALOS PALSAR para luego calcular las matrices de D8 Flow pointer y D8 Flow accumulation.
- Validación de la cuenca en el caso de que existan datos oficiales de referencia disponibles para evaluar la simulación geométrica de la delimitación frente a la cuenca realizada, esto mediante el índice de Jaccard midiendo con exactitud su superposición espacial.

$$J(A,B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

Ecuación 4.1 Índice de Jaccard

Donde:

$A \cap B$ = Es el área de intersección

$A \cup B$ = Es el área de unión.

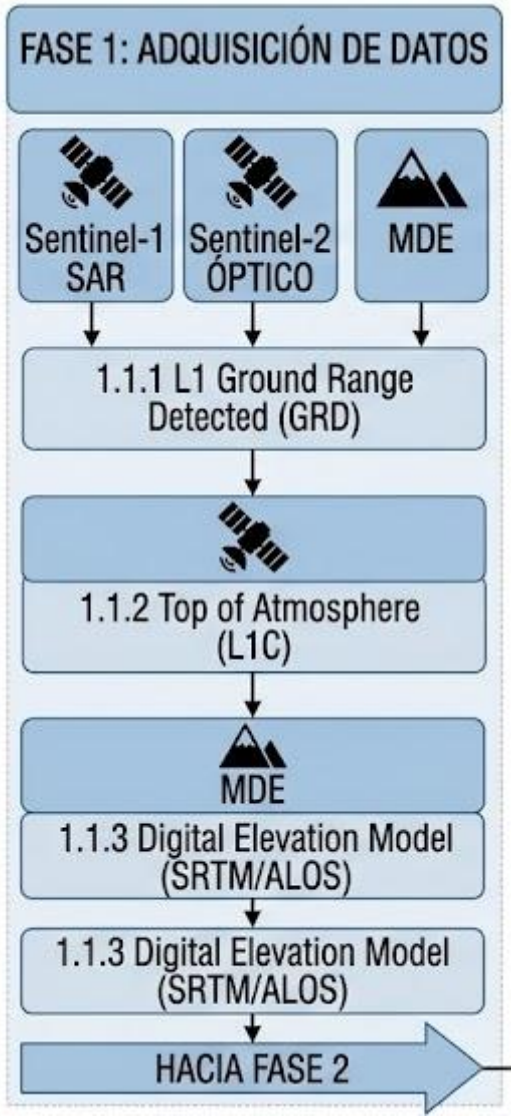


Figura 4.2. Esquema metodológico de la adquisición de datos y delimitación de cuenca

4.6.2. Preprocesamiento de los datos SAR

Las imágenes crudas de Sentinel-1 no representan de forma directa la humedad del suelo, debido a sus distorsiones y ruidos, por lo cual se construyó un flujo de procesamiento mediante *Graph Builder* en el software SNAP, el cual debe contener la siguiente secuencia de operaciones sobre cada imagen satelital ingresada [11]:

- *Apply Orbit File:* Es la restitución de la efeméride del satélite para corregir su posición exacta.
- *Thermal Noise Removal*: Es la supresión del ruido electromagnético de fondo.
- *Radiometric Calibration*: Es la transformación de los números digitales en coeficientes de retrodispersión absoluta, normalizando la reflectividad del terreno.

- *Speckle filtering: es la aplicación del filtro Refined Lee*. *Este filtro reduce el ruido* multiplicativo y preserva las estructuras topográficas relevantes como cauces y bordes definidos[38].
- *Range-Doppler Terrain Correction: Es la compensación de las distorsiones* geométricas para la corrección ortográfica de los pixeles a las proyecciones necesarias.
- *Conversión logarítmica:* Es donde la matriz se transforma a decibelios mediante los logaritmos de base 10 para facilitar el procesamiento de las imágenes.

4.6.3. Procesamiento óptico

En la modelación de la humedad del suelo, es necesario aislar la interferencia electromagnética generada por la biomasa vegetal, el uso de imágenes Sentinel-2 para el cálculo de índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) aplicando el álgebra de mapas sobre la reflectancia del infrarrojo cercano y la banda roja. Los productos obtenidos se armonizaron especialmente con las imágenes de radar [39], [40].

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Ecuación 4.2. Ecuación general del Índice de vegetación

Donde:

NIR = Banda de infrarrojo cercano

RED = Banda roja

Para las imágenes Sentinel-2 queda de la siguiente manera:

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$$

Ecuación 4.3. Ecuación del índice de vegetación para las imágenes Sentinel-2

Donde:

B8 = Banda de infrarrojo cercano

B4 = Banda roja



Figura 4.3. Esquema metodológico del preprocesamiento

4.6.4. Modelación de la humedad del suelo

La escasez histórica de sondas físicas en la geografía pasta cense obliga a reformular los métodos físicos absolutos. En su lugar, el estudio consolidó un índice geoespacial multicriterio capaz de evaluar la humedad potencial. Este constructo heurístico homologó los rasters de retrodispersión, TWI y NDVI al rango normativo [0, 1], desechando valores atípicos fuera de los percentiles 2 y 98. La programación en Python combinó estos componentes bajo el siguiente esquema de ponderación [7], [10]:

$$Humedad = \beta_1(SAR_NORM) + \beta_2(TWI_NORM) + \beta_3(1 - NDVI_NORM)$$

Ecuación 4.4 Ecuación del índice de humedad

Donde:

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = Pesos unitarios del modelo.

SAR_NORM = Imágenes Sentinel-1 con retrodispersión

TWI_NORM = Índice topográfico de humedad

NDVI_NORM = Índice de vegetación normalizada

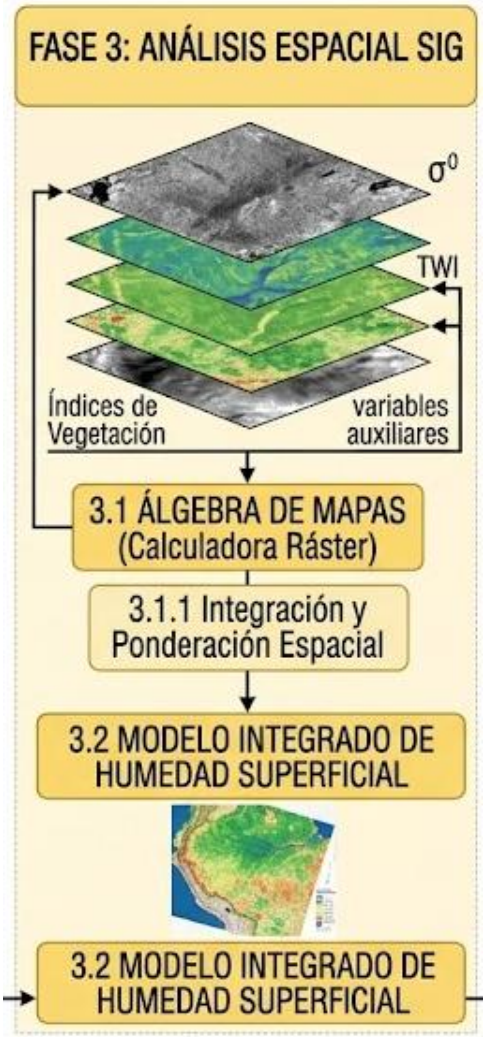


Figura 4.4 Esquema metodológico del análisis espacial

4.6.5. Evaluación espaciotemporal

Validar empíricamente esta síntesis espacial demandó el uso de regresión lineal múltiple sobre una muestra de 50,000 píxeles pareados de forma aleatoria. Las métricas estándar, como el Coeficiente de Determinación (R^2) y la Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE), pesaron el grado de explicación del radar y las laderas sobre el modelo [42], [43]. Adicionalmente, el cálculo de los valores "p" constató si las deducciones teóricas sobre la atenuación vegetal gozaban de solvencia estadística formal.

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1(NDVI_{it}) + \beta_2(Pendiente_i) + \beta_3(Altitud_i) + \epsilon$$

Ecuación 4.5 Ecuación de la regresión

Donde:

Y_{it} = Humedad superficial del suelo en función de la variable dependiente i durante el tiempo t

β_0 = Constante de intersección del modelo

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = Coeficientes de regresión que ponderan la influencia del índice vegetal, la inclinación del terreno y el clima orográfico.

El cálculo de coeficientes de determinación espacial (R^2) y error cuadrático medio (RMSE) permite observar las estadísticas de la variación temporal de la desecación observada en las laderas, en comparación con la retención hídrica observada en los valles y zonas de cobertura vegetal densa de los valles interandinos y zonas densas de cobertura vegetal [16]. En la aplicación de estos métodos estadísticos, el RMSE mide la magnitud promedio de los errores, penalizando fuertemente las diferencias entre las mismas unidades de la variable, mientras que el R^2 evalúa la bondad del ajuste del modelo, proporcionando la varianza en los datos observados [43], por ello se presenta a continuación sus ecuaciones de trabajo para este estudio:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - y_{ip})^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - y_{im})^2}$$

Ecuación 4.6. Coeficiente de determinación R^2

Donde:

y_i = Valor observado

y_{ip} = Valor predicho por el modelo

y_{im} = Media aritmética de los valores observados

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^{n}(y_i - y_{ip})^2}$$

Ecuación 4.7. Raíz del error cuadrático medio (RMSE)

Donde:

n = Número total de observaciones

y_i = Valor observado

y_{ip} = Valor predicho por el modelo

4.6.5.1.Datos de referencia de campo

La falta de datos de campo suele presentar importantes desafíos de validación debido a la escasez de datos de referencia de alta resolución que pueden proporcionar simultáneamente una magnitud precisa de contenido de agua del suelo y representar correctamente los patrones espaciales de las variaciones de humedad del suelo (HS). Además, el riesgo de introducir errores a partir del conjunto de datos auxiliares limita la fiabilidad de los campos de la HS, lo que sugiere que la captura directa de datos de campo sea a partir de observaciones de microondas. [44]

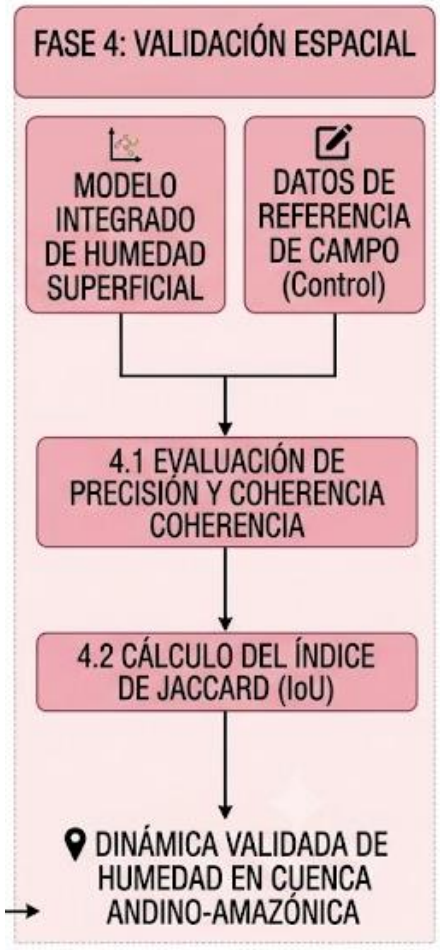
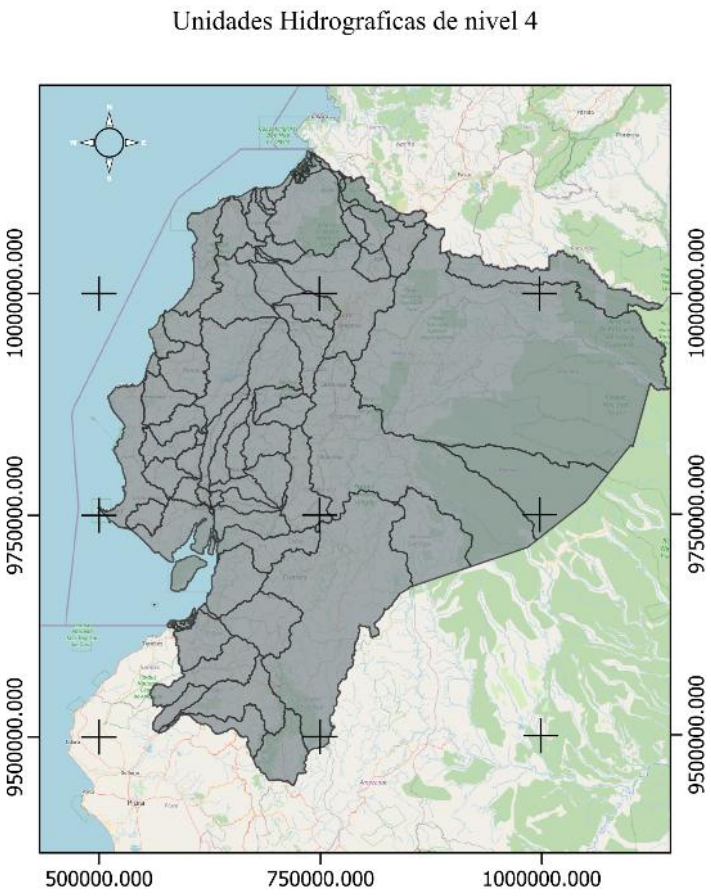


Figura 4.5. Esquema metodológico de la evaluación espaciotemporal

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1.Adquisición de datos

En esta sección se priorizo la adquisición de la información satelital de la investigación, para la zona del Río Pastaza, entre estos datos se obtuvo de la página del Ministerio del Ambiente en su mapa interactivo las unidades hidrográficas del país, en el cual se seleccionó el nivel cuatro para extraer la cuenca de estudio, presentándose en la figura 17.



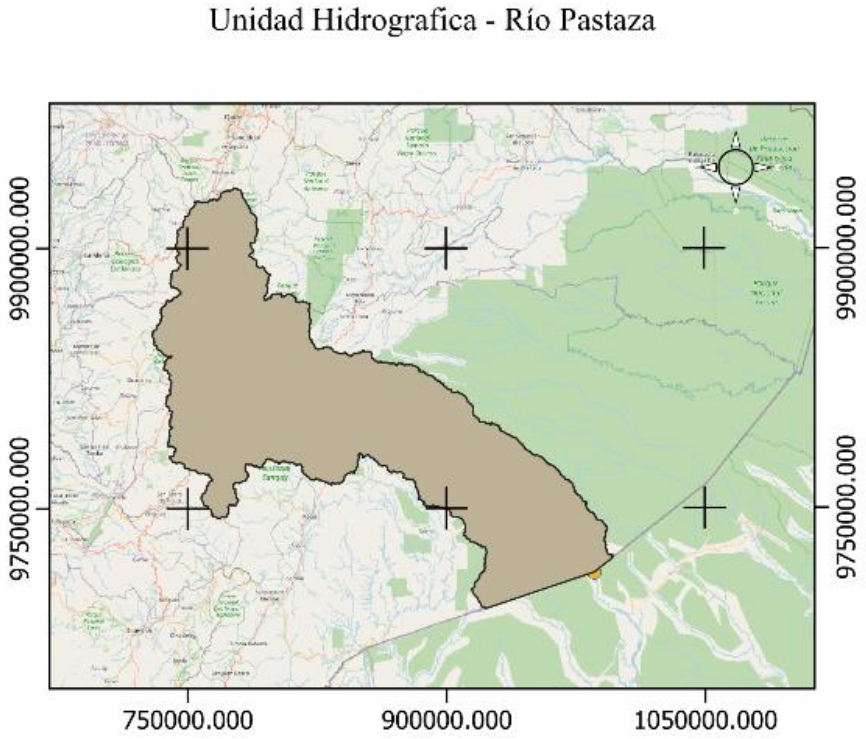


Figura 5.1. Delimitación de la cuenca con información del Ministerio del Ambiente

Este dato es fundamental para evaluar la concordancia de la delimitación obtenida mediante algoritmo, siendo el archivo de referencia para el índice de Jaccard, adicional a este dato también se tiene el modelo de elevación digital, este modelo se descargó de la página de EarthData de la NASA, con un número total de 20 modelos de Alos Palsar para cubrir la cuenca del Río Pastaza, por ello en la siguiente tabla se detalla cada modelo y su cuadrilla correspondiente:

Tabla 5.1. Detalle de los modelos de elevación digital – Alos Palsar

Escena	Fecha	Ruta	Marco	Ángulo
ALPSRP263307170	03/01/2011	110	7170	34.3
ALPSRP263307160	03/01/2011	110	7160	34.3
ALPSRP263307150	03/01/2011	110	7150	34.3
ALPSRP263307140	03/01/2011	110	7140	34.3
ALPSRP267537170	01/02/2011	109	7170	34.3
ALPSRP267537160	01/02/2011	109	7160	34.3
ALPSRP267537150	01/02/2011	109	7150	34.3

ALPSRP267537140	01/02/2011	109	7140	34.3
ALPSRP265057150	15/01/2011	108	7150	34.3
ALPSRP265057140	15/01/2011	108	7140	34.3
ALPSRP269287150	13/02/2011	107	7150	34.3
ALPSRP269287140	13/02/2011	107	7140	34.3
ALPSRP269287130	13/02/2011	107	7130	34.3
ALPSRP266807150	27/01/2011	106	7150	34.3
ALPSRP266807140	27/01/2011	106	7140	34.3
ALPSRP266807130	27/01/2011	106	7130	34.3
ALPSRP264327150	10/01/2011	105	7150	34.3
ALPSRP264327140	10/01/2011	105	7140	34.3
ALPSRP265787140	20/01/2011	111	7140	34.3

Con estas escenas se generó un mosaico del modelo de elevación digital para poder construir el modelo de elevación digital de referencia para poder realizar la delimitación de la cuenca del Río Pastaza.

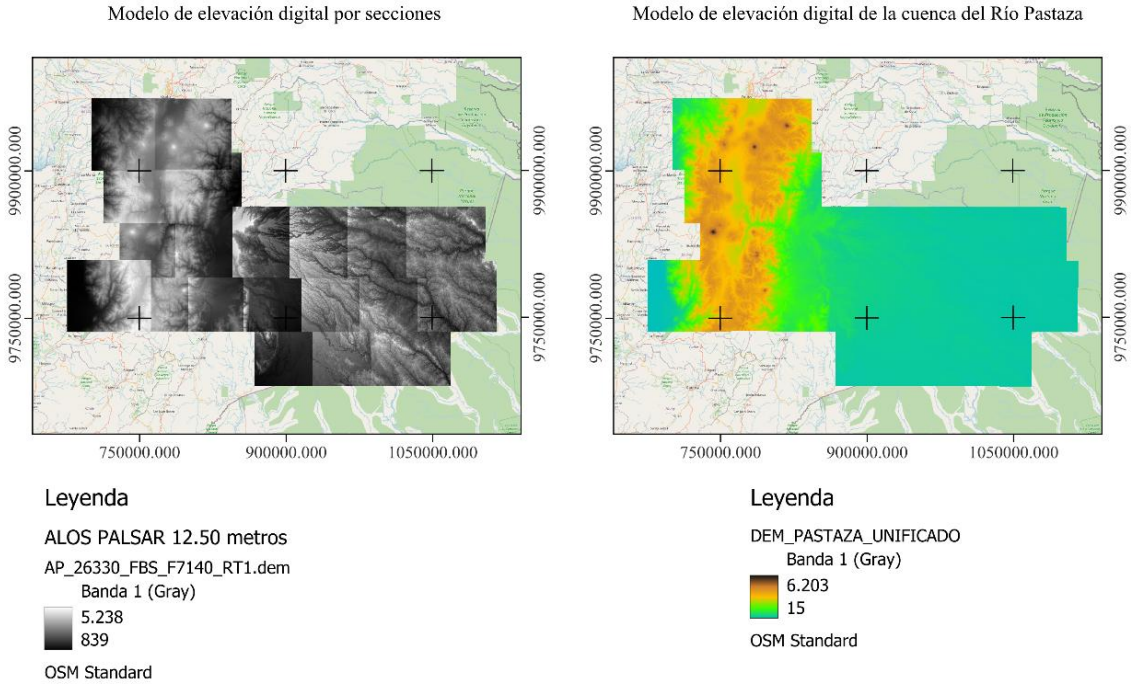


Figura 5.2. Mosaico del modelo de elevación de la cuenca del Río Pastaza

Reporte del modelo de elevación digital una vez realizado el proceso del mosaico.

- Archivo: DEM_RIO_PASTAZA.tif
- Tamaño en disco: 1348.7 MB
- Dimensiones: 35240 cols x 23525 filas
- Resolución: 12.5 m/píxel (X) 12.5 m/píxel (Y)
- CRS: EPSG:32717
- Elevación mín.: 3.0 m
- Elevación máx.: 6288.0 m
- Elevación media: 1324.8 m
- Desv. estándar: 1378.9 m
- Celdas válidas: 509473.577 (61.45%)
- Celdas No Data: 319547.423 (38.55%)

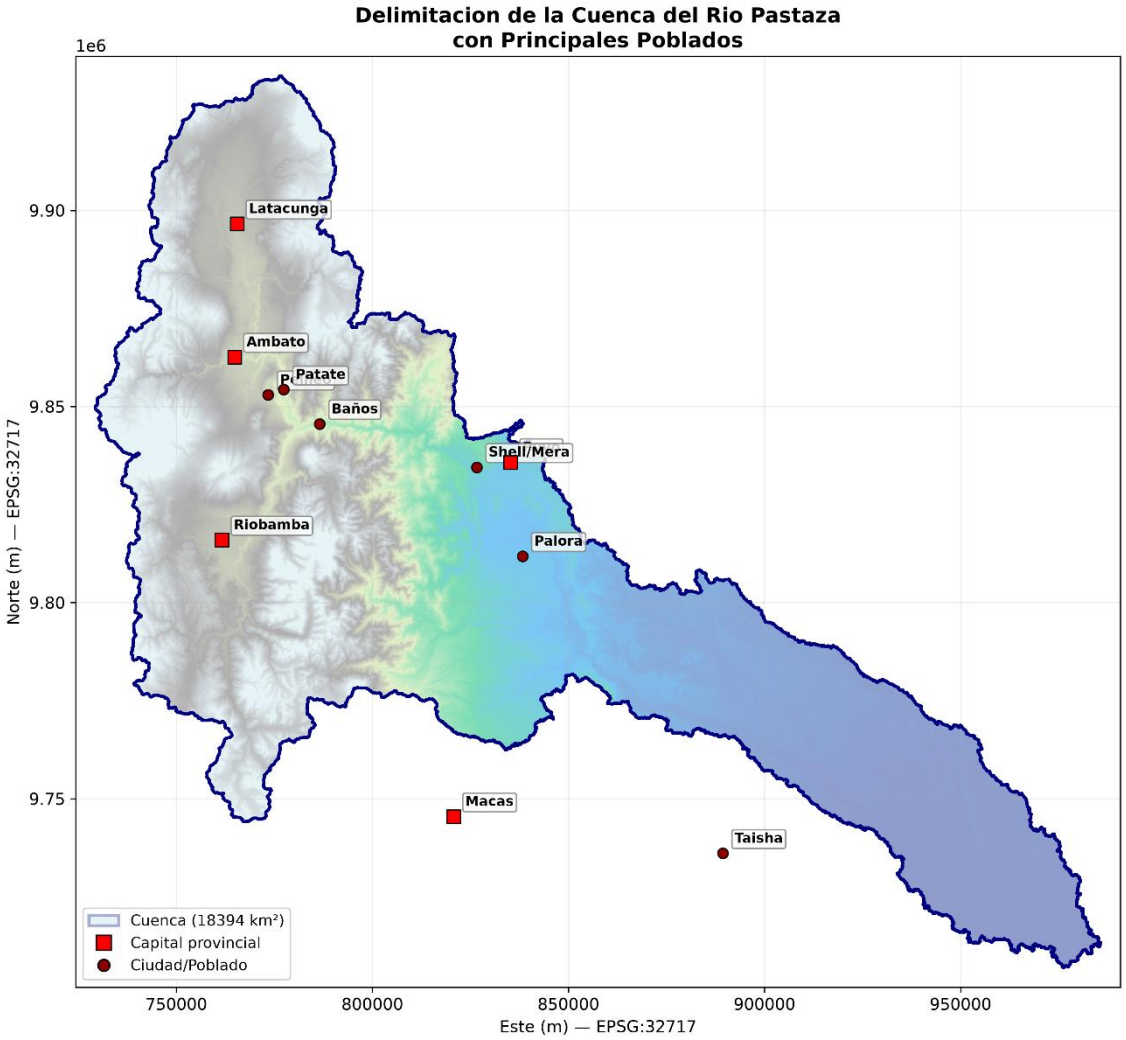


Figura 5.3 Delimitación de la cuenca

Una vez con toda esta información de elevación se descargaron las imágenes sentinel-1 y Sentinel-2, usando 177 imágenes con un total de 198.30 GB descargados durante el periodo comprendido ente enero del 2025 y enero del 2026. El detalle se presenta en la Tabla correspondiente.

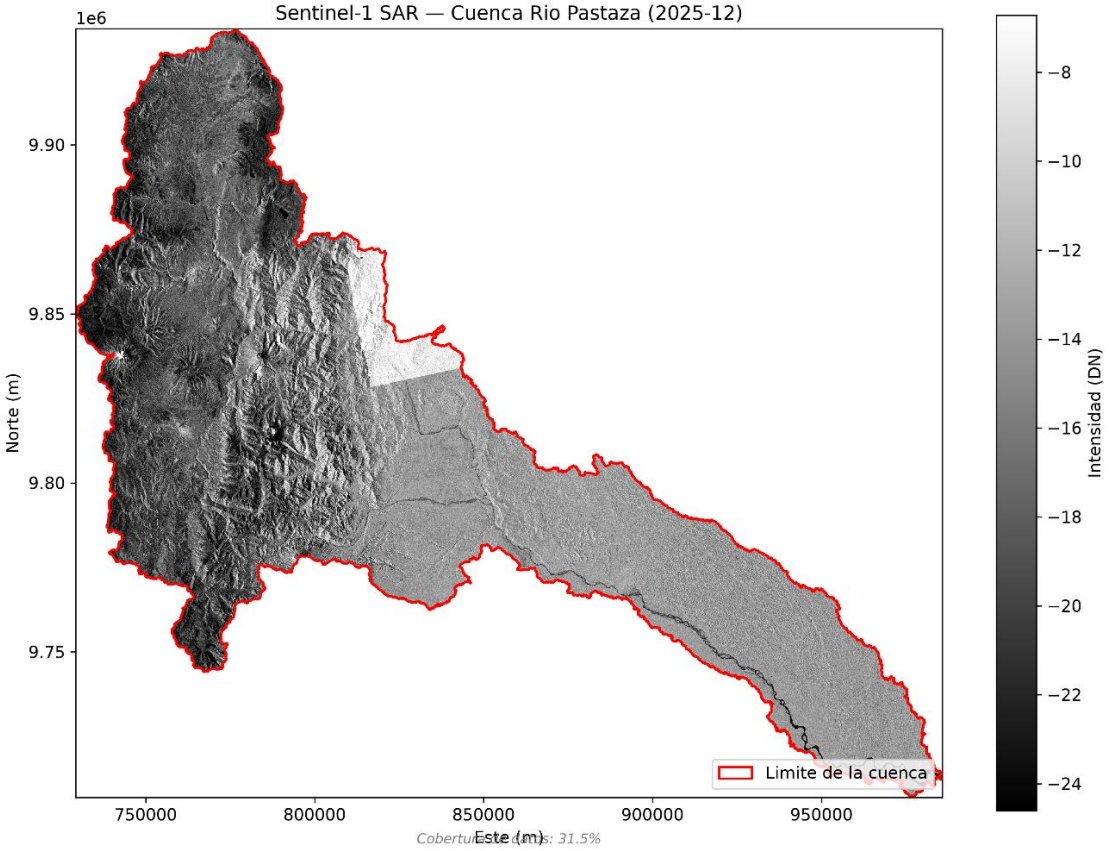


Figura 5.4 Imagen satelital Sentinel-1 del mes de diciembre

5.2.Procesamiento de los datos

En el procesamiento de los datos, se tiene primero la delimitación de la cuenca del río Pastaza mediante el algoritmo D8, el cual vincula los procesos de acumulación de los flujos para determinarla, por ello se adquirió datos del Ministerio del Ambiente para realizar un proceso de validación de la cuenca. El índice de Jaccard alcanzo el valor de 0.782. El área de la delimitación oficial fue de 23327.00 km^2, mientras que el área calculada fue de 18294.30 km^2 , en la siguiente figura se presenta la superposición de las cuencas, demostrando que en la planicie amazónica o el punto de referencia influyen en el valor obtenido del índice, aunque el índice demuestra un nivel moderado-alto de certeza.

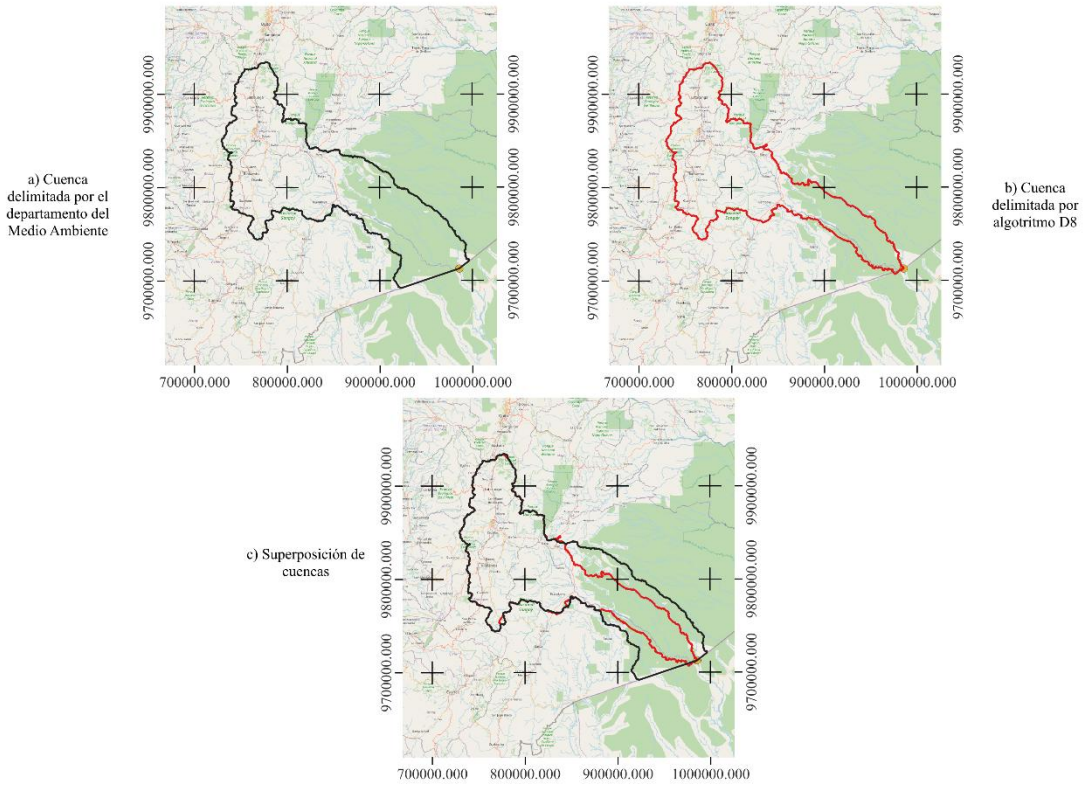


Figura 5.5. Superposición de las cuencas

Evaluada la delimitación de la cuenca se realiza el geoprocesamiento de las imágenes satelitales SAR y ópticas, para obtener los productos de TWI – pendiente y NDVI de cada escena satelital, en este caso se procesaron 13 escenas en el tiempo de estudio, con los siguientes cálculos:

Tabla 5.2 Resultados del TWI

Resultados	**TWI (Adimensional)**
Resolución	12.50 m x 12.50 m
Mínimo	0.5940
Máximo	33.1027
Media	6.1748
Desviación estándar	2.0535

Estos son los resultados del índice del terreno de la cuenca del Río Pastaza, los cuales también se pueden visualizar en la siguiente figura.

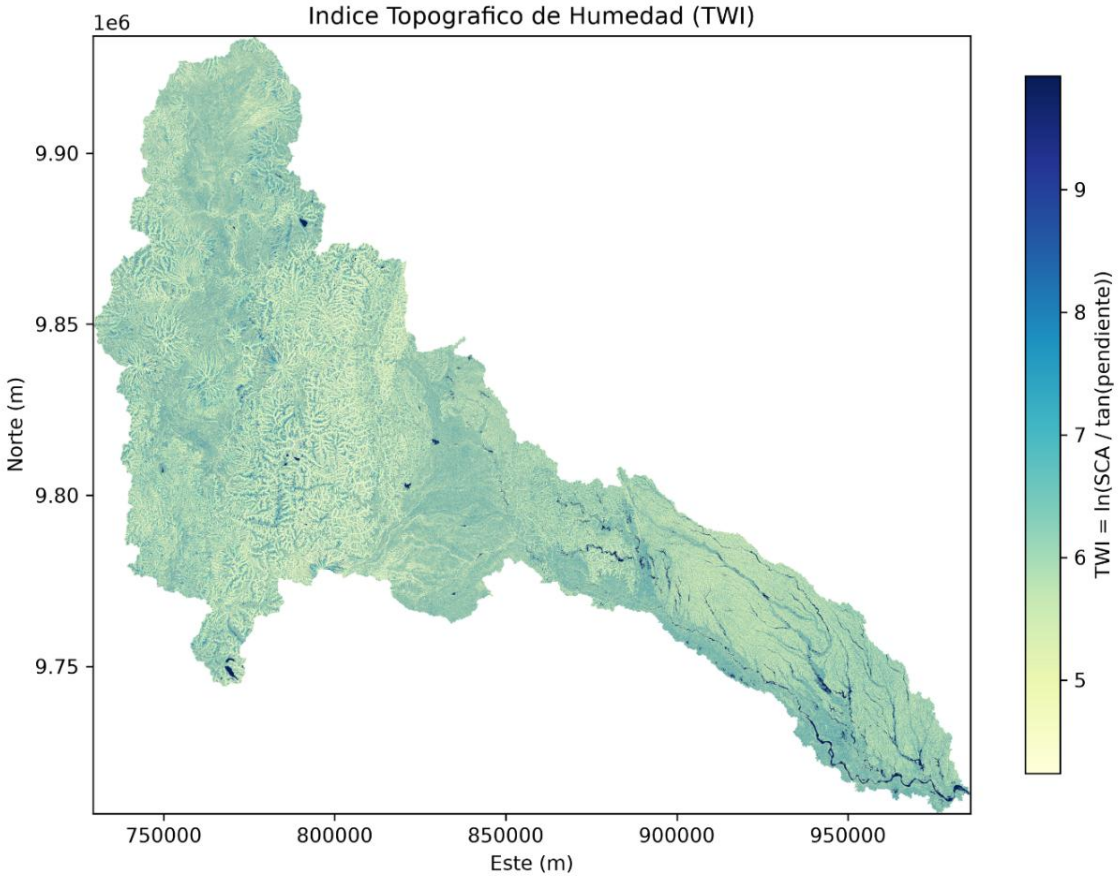


Figura 5.6. Índice topográfico de humedad

De la misma forma también trabajamos la pendiente del terreno, en la cual sus resultados se detallan en la siguiente tabla y la presentación en la figura.

Tabla 5.3. Resultados de la pendiente

Resultados	**Pendiente (grados)**
Resolución	12.50 m x12.50m
Mínimo	0.0000º
Máximo	85.1155º
Media	15.0773º
Desviación estándar	11.5741º

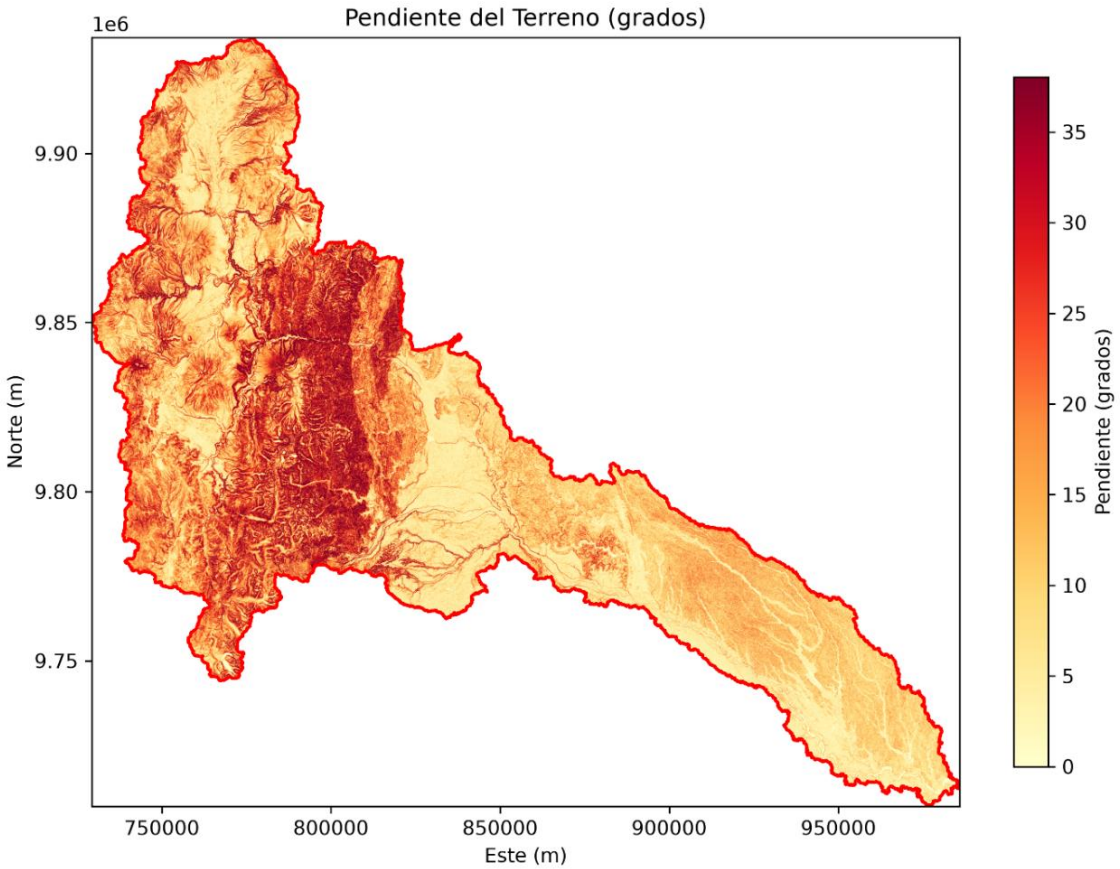


Figura 5.7. Pendiente del terreno

Continuando con este apartado tenemos la determinación del índice de vegetación normalizada para las 13 escenas donde se aplicó el criterio NDVI > 0.30 para trabajar solamente con las imágenes donde su porcentaje de vegetación es mayor al 0.30, debido a que este valor identifica áreas con vegetación activa para las clases de cultivos, bosques, pastos, entre otras coberturas. En la siguiente tabla se detalla los resultados y además se presenta en la siguiente figura una visión de estos mismos.

Tabla 5.4. Resultado del NDVI

Fecha	Min.	Max.	Media.	Std.	%Veg.>0.30
2025-01	-0.5859	0.7372	0.3010	0.1879	52.80
2025-02	-0.2319	0.9996	0.2146	0.1736	34.60
2025-03	-0.1816	0.7581	0.4372	0.1478	82.00
2025-04	-0.5717	0.7569	0.1861	0.1765	26.70
2025-05	-0.3165	0.7525	0.2313	0.2199	36.10
2025-06	-0.2137	0.6990	0.1998	0.1790	27.60
2025-07	-0.3252	0.7456	0.2393	0.1989	37.80
2025-08	-0.2624	1.0000	0.2937	0.1865	51.80
2025-09	-0.1760	0.7031	0.2566	0.2420	44.80
2025-10	-0.2296	0.8274	0.4963	0.1608	86.80
2025-11	-0.1977	0.6766	0.2233	0.2187	34.30
2025-12	-0.4206	1.0000	0.2714	0.1996	46.80
2026-01	-0.1373	0.8202	0.3891	0.1533	69.20

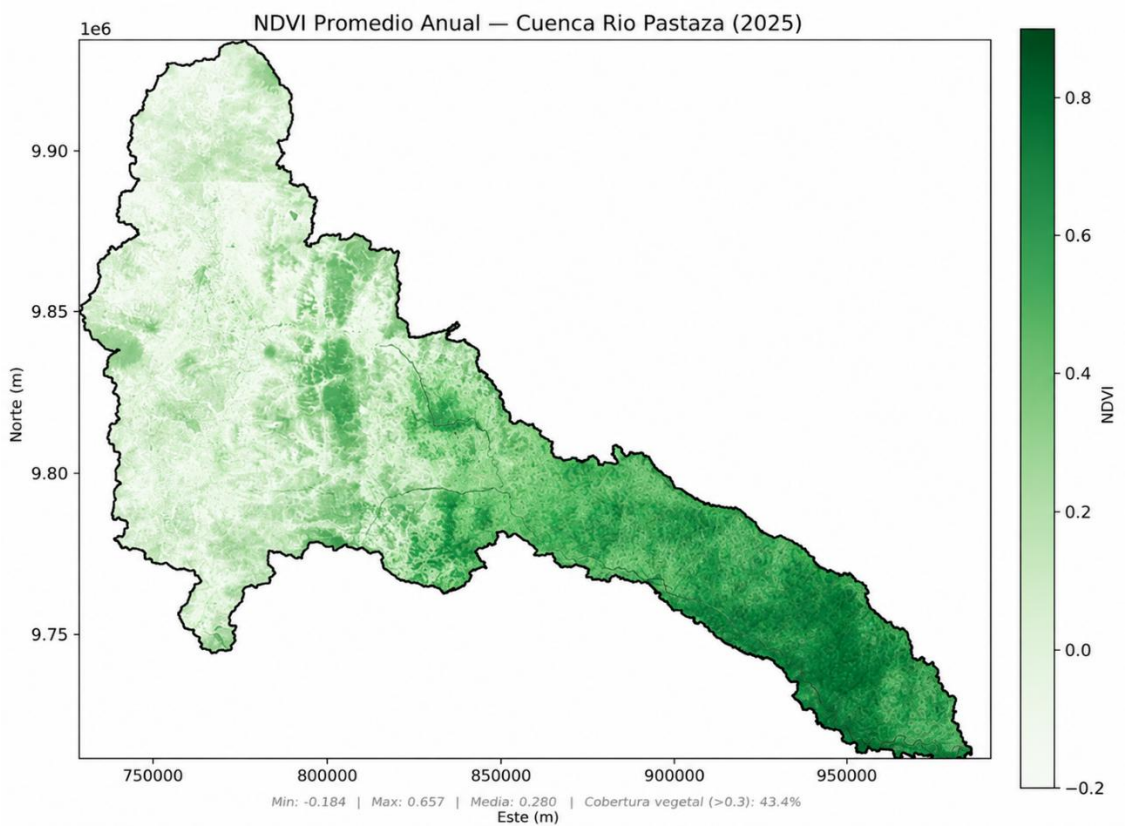


Figura 5.8. Índice de vegetación normalizada anual

Se observa el índice de vegetación promediado de todo el periodo estudiado, en el cual notamos que la imagen tiene un índice mínimo de -0.223 y un máximo de 0.745. Y finalizamos con el procesamiento de las imágenes Sentinel -1 con la retrodispersión de las imágenes, donde se realizó las correcciones del terreno, filtrado de Speckle y la calibración de escala lineal. El proceso de cada imagen demoro entre 45 y 90 minutos. Con ello se presenta en la siguiente figura el resultado de este proceso.

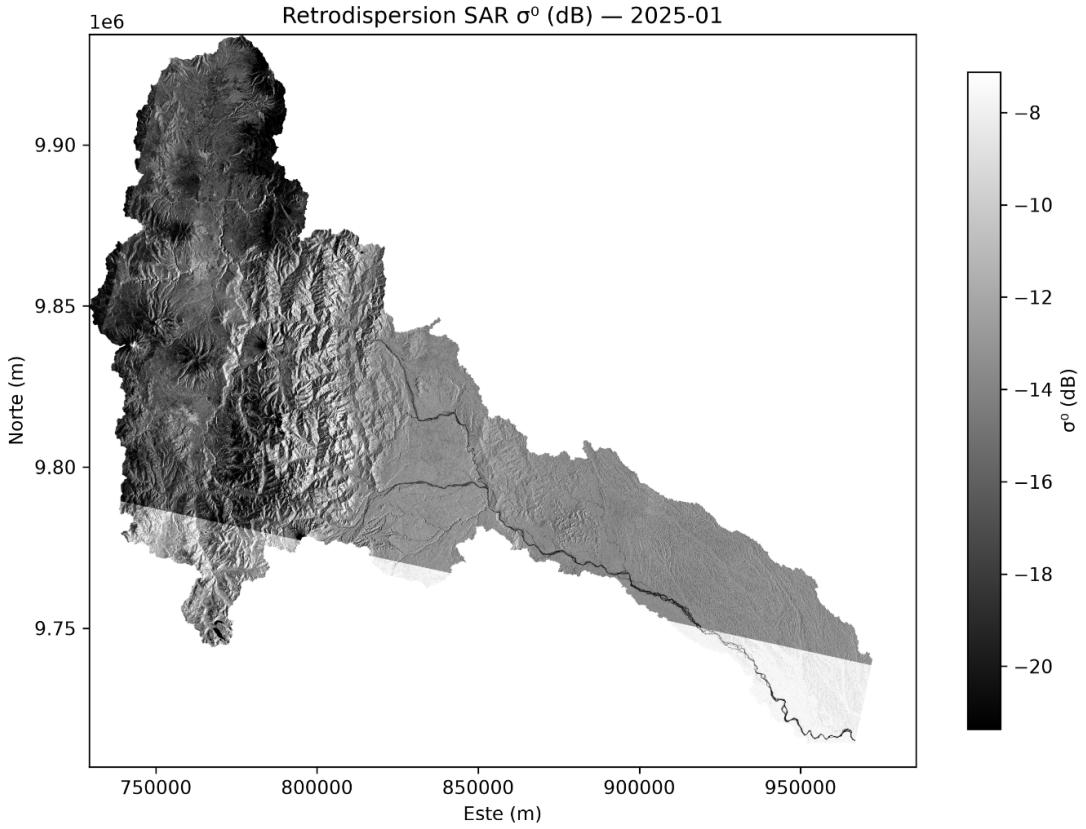


Figura 5.9. Procesamiento de las imágenes Sentinel -1

El mosaico presenta discontinuidades visuales entre escenas adquiridas en fechas diferentes. En la figura se presenta el resultado correspondiente de enero de 2025.

5.3.Modelación de la humedad del suelo

Con todo el procesamiento de los datos obtenidos, pendientes, índice topográfico, ópticos y radares, se procede a determinar la humedad del suelo mediante la siguiente fórmula:

$$Humedad = 0.50 * Retrodispersion + 0.30 * TWI + 0.20\ (1 - NDVI)$$

Ecuación 5.1. Ecuación de la humedad

Mediante esta expresión se estimó la humedad para cada periodo mensual y obtenemos los siguientes resultados presentados en la siguiente tabla:

Tabla 5.5. Resultados de la humedad del suelo

Fecha	Min.	Max.	Media.	Std.	%Hum.>0.60
2025-01	0.0000	0.9816	0.4131	0.1306	8.00
2025-02	0.0756	0.9991	0.4907	0.1381	20.40
2025-03	0.1849	0.9697	0.5505	0.0960	27.90
2025-04	0.0246	1.0000	0.4889	0.1376	20.80
2025-05	0.0000	0.9861	0.4869	0.1403	22.40
2025-06	0.0355	0.9950	0.5430	0.1111	29.80
2025-07	0.0000	0.9937	0.4617	0.1301	14.40
2025-08	0.0000	0.9817	0.4156	0.1420	10.90
2025-09	0.0536	0.9354	0.4916	0.1150	18.10
2025-10	0.1383	0.9515	0.4991	0.0981	15.40
2025-11	0.0338	1.0000	0.5526	0.1170	34.60
2025-12	0.0000	1.0000	0.4335	0.1513	14.60
2026-01	0.0787	0.9019	0.4509	0.1055	8.30

Los valores anuales oscilan entre 0.029 hasta 0.989. Estos valores sugieren condiciones superficiales que podrían favorecer la generación de escorrentía, por ello, se presenta la siguiente figura para visualizar la humedad.

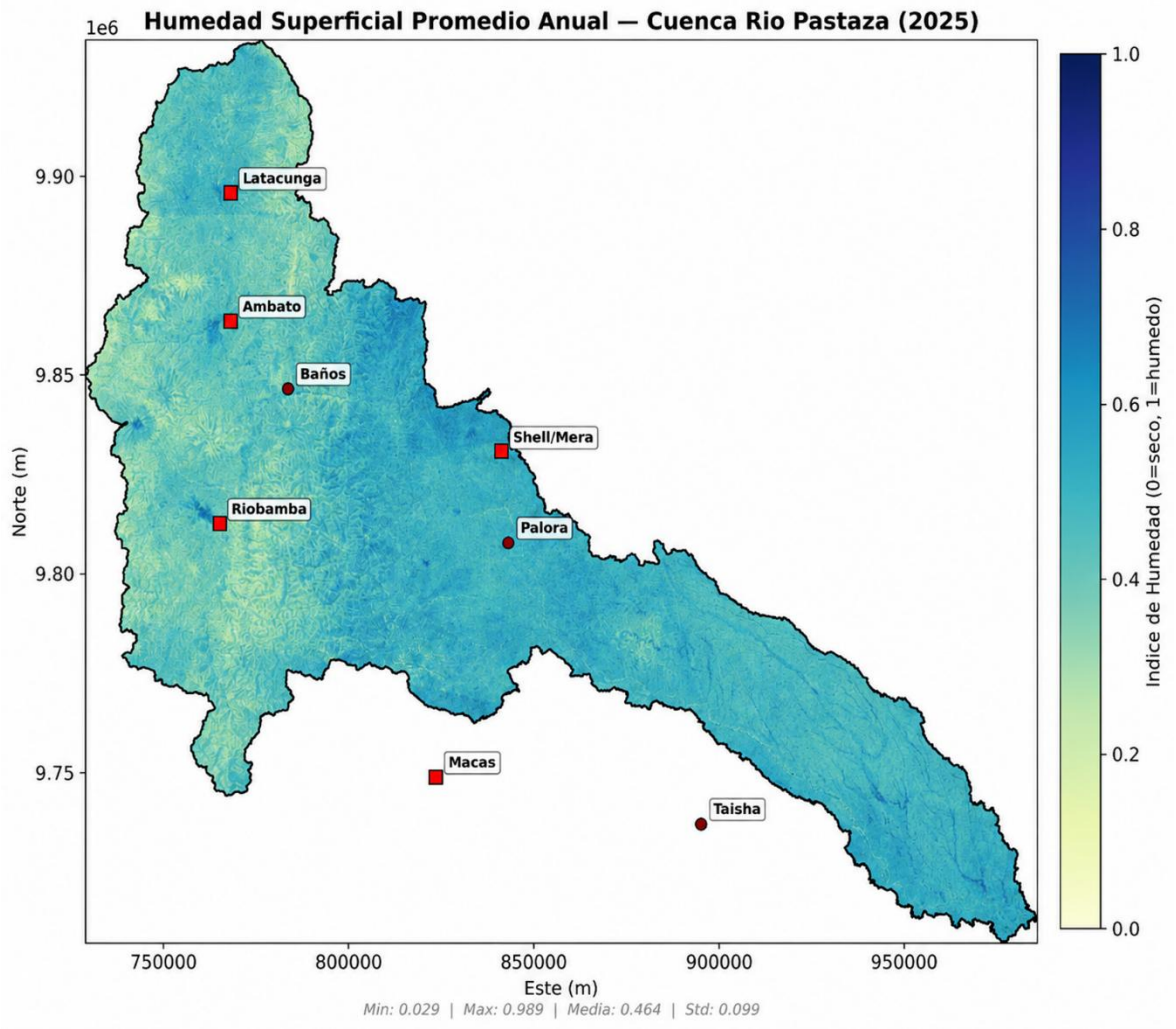


Figura 5.10. Resultados de la humedad del suelo anual

5.4.Evaluación de la humedad del suelo

Y finalizando la investigación se tiene la evaluación de la humedad del suelo con una regresión lineal en función del NDVI, para obtener una relación entre ambas capas y evaluar mediante métricas estadísticas el desempeño de la metodología aplicada, en consecuencia, presentamos los resultados de la regresión lineal.

Tabla 5.6. Resultados de la Regresión Lineal

Mes	R2	RMSE	Pendiente	Intercepto
2025-01	0.138254	0.117762	-0.261393	0.491123
2025-02	0.205843	0.118713	-0.351289	0.564937
2025-03	0.278650	0.076110	-0.331618	0.695236
2025-04	0.046738	0.131513	-0.169974	0.520377

2025-05	0.085039	0.133797	-0.187113	0.529049
2025-06	0.186939	0.096408	-0.262900	0.594153
2025-07	0.073344	0.123299	-0.177850	0.504391
2025-08	0.121715	0.130231	-0.280683	0.495295
2025-09	0.042657	0.110964	-0.097331	0.516769
2025-10	0.139129	0.084160	-0.217624	0.607845
2025-11	0.207916	0.102643	-0.241751	0.605434
2025-12	0.176566	0.136287	-0.324490	0.519353
2026-01	0.300579	0.082881	-0.358870	0.590855

Los meses correspondientes a los periodos de transición de la época lluviosa tendrán un coeficiente determinístico más altos como lo son los meses de enero, febrero y marzo, entre otros. Aunque el coeficiente de determinación perfila una varianza tímida en términos anuales, los p-valores confirman contundentemente la participación real de los tres factores ("p < 0.001). Ciertas rachas estacionales como la de enero de 2026 alcanzaron valores R^2 en torno a 0.30, marcando respuestas claras a las tormentas locales. La pendiente negativa sostenida frente al follaje silvestre documenta sin ambages cómo las selvas de transición interceptan la onda de radar, robando la lectura real del sustrato.

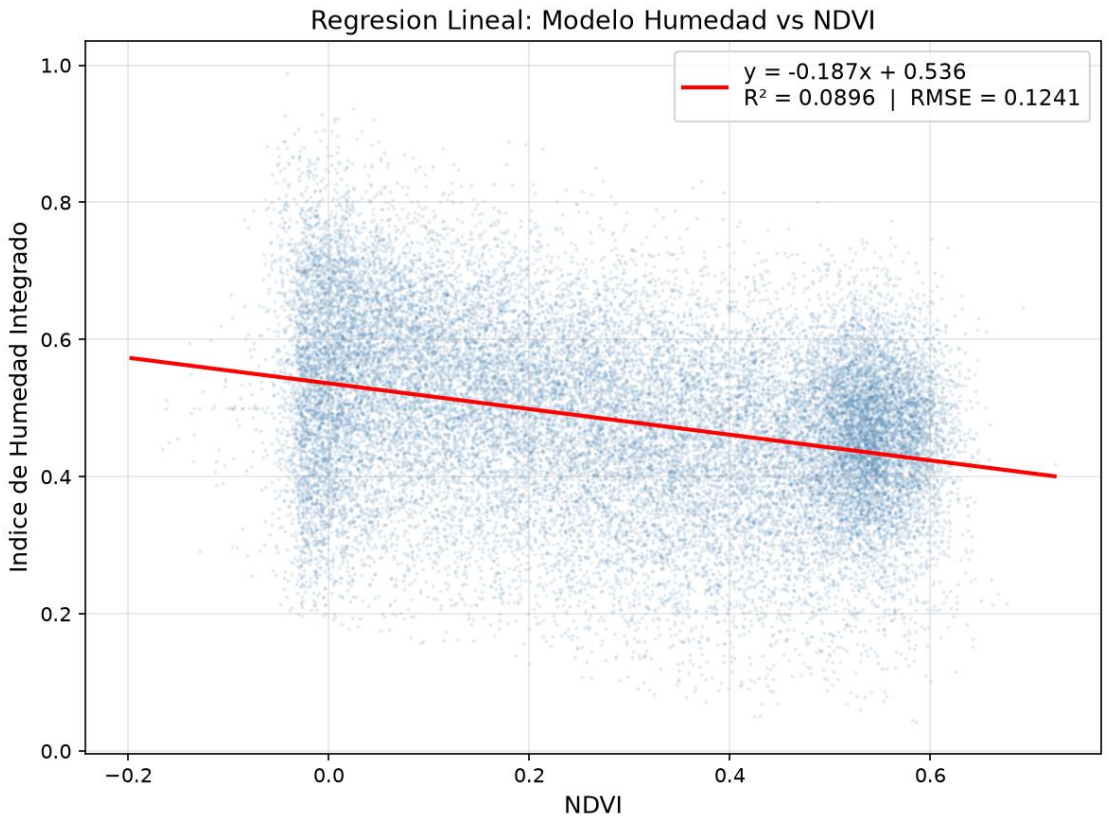


Figura 5.11. Regresión lineal (Humedad – NDVI)

5.5.Discusión

La humedad del suelo estudiada en la cuenca del Río Pastaza demuestra de manera empírica y cuantitativa la viabilidad de utilizar la teledetección activa por microondas para la evaluación hídrica de ecosistemas de transición andino-amazónica, superando limitaciones operativas de las estaciones físicas tradicionales, estos resultados obtenidos a través de software que no solo permiten mapear humedad sino también conocer de manera hidrodinámica el territorio. Los resultados de la delimitación computacional representan un hito en el flujo de trabajo.

El algoritmo D8 tiene un índice moderado de similitud con 0.78, se podría mejorar, pero la topología del terreno en la parte Amazónica es una dificultad por la cual el modelo no delimita bien la parte baja de la cuenca, pero concuerda con los estándares presentados por [27] en la automatización espacial, más allá de la precisión planimétrica, el aporte de este resultado radica en la eficiencia operativa y redujo tiempo de procesamiento.

En cuanto a la asimilación de los valores de retrodispersión evidencia la severa influencia de la topografía de la cuenca, en las laderas de las estribaciones orientales presenta anomalías en la señal. La aplicación rigurosa del método de corrección del terreno permitió ubicar los píxeles en su posición corregida orto métrica, evitar esta corrección con desniveles que van desde los 5000 m.s.n.m. hasta una planicie que se aproxima a los 15 m.s.n.m. que pueden provocar estimaciones falsas de la humedad, ante esto el uso de la Banda C de Sentinel -1 mostro ventajas operativas frente a los Sensores ópticos bajo condiciones de nubosidad persistente.

La aplicación índice heurístico realiza la integración de Sensores activos y pasivos, al introducir los valores del índice de vegetación como factor de penalización, logra que la ecuación atenué matemáticamente el efecto de la vegetación sobre la señal del suelo, para que permita reflejar la fidelidad de los rangos de humedad del suelo. Uno de los principales aportes del estudio de esta investigación es la regresión lineal de los resultados, confirmando que la humedad no sigue una distribución aleatoria, sino que persigue un control morfométrico, viéndose en los resultados. La pendiente negativa obtenida refleja una relación inversa entre las variables analizadas, demostrando cuantitativamente que el relieve actúa como un agente de desecación por gravedad, donde estas pendientes tienen inclinaciones superiores a los 30 grados, lo que podría limitar la infiltración en la capa superficial el suelo del terreno, favoreciendo más a la escorrentía.

Si bien la metodología resulta ser robusta, es imperativo reconocer ciertas limitaciones inherentes a la teledetección, en las laderas con ángulos de inclinación fuertes, la estimación de humedad presenta un mayor rango de error. La resolución temporal del análisis dependió de la disponibilidad de imágenes Sentinel-2 libres de nubes en la calibración del índice de vegetación, esto introduce saltos temporales en épocas de invierno severo, a pesar de las limitaciones se proporciona una investigación eficiente de la humedad para que la comunidad científica y las autoridades competentes disponga de una herramienta inicial de análisis una primera herramienta validada que pueda predecir el déficit hídrico y apoyar a la toma de decisiones para el manejo de este recurso.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.Conclusiones

- La integración de lenguajes de programación para el acondicionamiento hidrográfico del modelo de elevación digital permitió automatizar la delimitación de la cuenca, esto se confirma mediante el índice de Jaccard con un valor de 0.78 lo que evidencian una concordancia espacial moderada que proporciona una base geométrica para el análisis.
- En la plataforma SNAP y el uso de imágenes ópticas y de radar superaron la barrera física de la nubosidad, la implementación del modelo en entornos SIG, permitió procesar la respuesta electromagnética y reducir la interferencia asociada con la vegetación resultados mensuales de humedad superficial dentro del intervalo calculado con un calor mínimo de 0.04 y un valor máximo de 0.30.
- El modelo estadístico mediante regresión lineal permitió comprobar que la humedad en la cuenca del Río Pastaza no se distribuye de forma aleatoria, responde al control morfológico, donde sus altas pendientes actúan como variable de desecación por gravedad, mientras que las zonas con valores NDVI presentaron características asociadas con una mayor retención superficial.
- Con datos in situ, el modelo habría alcanzado una validación cuantitativa que permitiría calcular el error real de las estimaciones, calibrar los parámetros locales y detectar sesgos asociados a la topografía y cobertura vegetal de la cuenca del río Pastaza.

6.2.Recomendaciones

- Se recomienda adoptar esta metodología y mapas continuos como insumos primarios para los planes de desarrollo y ordenamiento territorial, esta cartografía temporal de la humedad sirve como un sistema de alerta temprana que permite anticipar escenarios de estrés hídrico para los cultivos o prever saturación de los suelos.
- Utilizar los resultados de relación pendiente-humedad para un rediseño de las estrategias agronómicas, mediante la implementación de sistemas de riego tecnificado, especialmente en parcelas ubicadas en laderas escarpadas se ha determinado por el modelo que serían las primeras en perder su contenido de volumen de agua.

- Ampliar el estudio mediante la implementación de algoritmos e inteligencia artificial y aprendizaje automático y reemplazar los métodos tradicionales para obtener un aprendizaje automático.
- Futuras investigaciones contemplen la implementación de una campaña de medición de humedad del suelo in situ en la cuenca del río Pastaza, con el fin de validar cuantitativamente el modelo propuesto y calibrar sus parámetros según las condiciones locales.

7. REFERENCIAS

[1] UNESCO, "Nomenclatura internacional de UNESCO para los campos de Ciencia y Tecnología".

[2] S. I. Seneviratne *et al.*, "Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review", mayo de 2010. doi: 10.1016/j.earscirev.2010.02.004.

[3] D. R. Legates *et al.*, "Soil moisture: A central and unifying theme in physical geography", *Prog. Phys. Geogr.*, vol. 35, núm. 1, pp. 65–86, 2011, doi: 10.1177/0309133310386514.

[4] J. Peng *et al.*, "A roadmap for high-resolution satellite soil moisture applications – confronting product characteristics with user requirements", el 1 de enero de 2021, *Elsevier Inc.* doi: 10.1016/j.rse.2020.112162.

[5] Y. H. Kerr *et al.*, "Overview of SMOS performance in terms of global soil moisture monitoring after six years in operation", *Remote Sens. Environ.*, vol. 180, pp. 40–63, jul. 2016, doi: 10.1016/j.rse.2016.02.042.

[6] W. A. Dorigo *et al.*, "The International Soil Moisture Network: A data hosting facility for global in situ soil moisture measurements", *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 15, núm. 5, pp. 1675–1698, 2011, doi: 10.5194/hess-15-1675-2011.

[7] B. P. Mohanty, M. H. Cosh, V. Lakshmi, y C. Montzka, "Soil Moisture Remote Sensing: State-of-the-Science", *Vadose Zone Journal*, vol. 16, núm. 1, pp. 1–9, ene. 2017, doi: 10.2136/vzj2016.10.0105.

[8] M. Zribi *et al.*, "Soil moisture mapping in a semiarid region, based on ASAR/Wide Swath satellite data", *Water Resour. Res.*, vol. 50, núm. 2, pp. 823–835, 2014, doi: 10.1002/2012WR013405.

[9] W. Wagner, G. Lemoine, y H. Rott, "A Method for Estimating Soil Moisture from ERS Scatterometer and Soil Data".

[10] B. Bauer-Marschallinger *et al.*, "Toward Global Soil Moisture Monitoring with Sentinel-1: Harnessing Assets and Overcoming Obstacles", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 57, núm. 1, pp. 520–539, ene. 2019, doi: 10.1109/TGRS.2018.2858004.

[11] P. Filippucci *et al.*, "Soil moisture as a potential variable for tracking and quantifying irrigation: A case study with proximal gamma-ray spectroscopy data", *Adv. Water Resour.*, vol. 136, feb. 2020, doi: 10.1016/j.advwatres.2019.103502.

[12] Q. Gao, M. Zribi, M. J. Escorihuela, y N. Baghdadi, “Synergetic use of sentinel-1 and sentinel-2 data for soil moisture mapping at 100 m resolution”, *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, núm. 9, sep. 2017, doi: 10.3390/s17091966.

[13] T. G. Farr *et al.*, “The Shuttle Radar Topography Mission”.

[14] C. Massari, L. Brocca, S. Barbetta, C. Papathanasiou, M. Mimikou, y T. Moramarco, “Using globally available soil moisture indicators for flood modelling in Mediterranean catchments”, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 18, núm. 2, pp. 839–853, feb. 2014, doi: 10.5194/hess-18-839-2014.

[15] W. Buytaert *et al.*, “Human impact on the hydrology of the Andean páramos”, *Earth. Sci. Rev.*, vol. 79, núm. 1–2, pp. 53–72, nov. 2006, doi: 10.1016/j.earscirev.2006.06.002.

[16] L. Brocca, L. Ciabatta, C. Massari, S. Camici, y A. Tarpanelli, “Soil moisture for hydrological applications: Open questions and new opportunities”, *Water (Switzerland)*, vol. 9, núm. 2, 2017, doi: 10.3390/w9020140.

[17] A. Gruber, T. Scanlon, R. Van Der Schalie, W. Wagner, y W. Dorigo, “Evolution of the ESA CCI Soil Moisture climate data records and their underlying merging methodology”, *Earth Syst. Sci. Data*, vol. 11, núm. 2, pp. 717–739, may 2019, doi: 10.5194/essd-11-717-2019.

[18] Q. Wang *et al.*, “Pronounced Increases in Future Soil Erosion and Sediment Deposition as Influenced by Freeze-Thaw Cycles in the Upper Mississippi River Basin”, *Environ. Sci. Technol.*, vol. 55, núm. 14, pp. 9905–9915, jul. 2021, doi: 10.1021/acs.est.1c02692.

[19] O. S. Orianna Sofía y R. Méndez Rivas, “Aplicación de modelos hidrológicos”, *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, vol. 12, núm. 2, pp. 59–80, dic. 2022, doi: 10.5377/elhigo.v12i2.15228.

[20] M. S. Moran *et al.*, “Estimating soil moisture at the watershed scale with satellite-based radar and land surface models”, 2004.

[21] C. Carrascal y H. Salgado, “Estimación de la humedad superficial del suelo a partir de datos de microondas satelitales”.

[22] H. Salgado, S. M. Zabala, C. Romay, M. Bernier, A. Jacome, y K. Chokmani, “ESTIMACIÓN DE LA HUMEDAD SUPERFICIAL DEL SUELO MEDIANTE DATOS SAR EN BANDA X”, *Meteorologica*, vol. 46, núm. 1, pp. e001–e001, jun. 2021, doi: 10.24215/1850468Xe001.

[23] R. Torres *et al.*, “GMES Sentinel-1 mission”, *Remote Sens. Environ.*, vol. 120, pp. 9–24, may 2012, doi: 10.1016/j.rse.2011.05.028.

[24] G. C. Topp, J. L. Davis, y A. P. Annan, “Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurements in Coaxial Transmission Lines”, 1980.

[25] M. C. Dobson, F. T. Ulaby, M. T. Hallikainen, y M. A. El-Rayes, “Microwave Dielectric Behavior of Wet Soil-Part II: Dielectric Mixing Models”, 1985.

[26] A. Navarro *et al.*, “Crop monitoring based on SPOT-5 Take-5 and sentinel-1A data for the estimation of crop water requirements”, *Remote Sens. (Basel).*, vol. 8, núm. 6, jun. 2016, doi: 10.3390/rs8060525.

[27] Victor Miguel Peña Barragan y Stephany Carolina Cabezas Tufiño, “Automatización de flujos de procesamiento de imágenes satelitales para monitoreo de desplazamiento de tierra”, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2025.

[28] G. P. Petropoulos, G. Ireland, y B. Barrett, “Surface soil moisture retrievals from remote sensing: Current status, products & future trends”, 2015, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.pce.2015.02.009.

[29] N. Baghdadi, H. Bazzi, M. El Hajj, y M. Zribi, “Analysis of Sentinel-1 Derived Soil Moisture Maps over Occitanie, South France”, en *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., jul. 2019, pp. 6275–6278. doi: 10.1109/IGARSS.2019.8899078.

[30] Navy Lieutenant Onogateoghene Idoge, “Utilizing hydrographic backscatter data”, 2026. [En línea]. Disponible en: www.hydro-international.com

[31] M. El Hajj, N. Baghdadi, M. Zribi, y H. Bazzi, “Synergic use of Sentinel-1 and Sentinel-2 images for operational soil moisture mapping at high spatial resolution over agricultural areas”, *Remote Sens. (Basel).*, vol. 9, núm. 12, dic. 2017, doi: 10.3390/rs9121292.

[32] A. Balenzano, F. Mattia, G. Satalino, y M. W. J. Davidson, “Dense Temporal Series of C- and L-band SAR Data for Soil Moisture Retrieval Over Agricultural Crops”, *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 4, núm. 2, pp. 439–450, 2011, doi: 10.1109/JSTARS.2010.2052916.

[33] Padilla-Frausto J.J., Ceja-Farias T.K., Cobo-Jauregui J. J., y Navarro-Villarruel C.L., “Evaluación de los coeficientes Jaccard, Dice, Jeffrey´s X y Ochiai en la genotipificación de Leuconostoc spp.”, *Avances de Investigación en Inocuidad de alimentos*, vol. 3, núm. 1665–5745, pp. 0–4, 2020.

[34] Jorge. Domínguez Domínguez y Jorge Domínguez Lopéz, *Estadística : para administración y economía*, Primera. México: Alfaomega Grupo Editor, 2015.

[35] Maria Alexandra Lema Changoluisa y Veronica Cecilia Plaza Quezada, "MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA (ALTA Y MEDIA) DEL RÍO PASTAZA APLICANDO EL MODELO DE SIMULACIÓN WEAP (Water Evaluation and Planning System)", Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2009.

[36] J. B. Lindsay, "Whitebox GAT: A case study in geomorphometric analysis", *Comput. Geosci.*, vol. 95, pp. 75–84, oct. 2016, doi: 10.1016/j.cageo.2016.07.003.

[37] Luca Congedo, "Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS", ago. 2021. doi: https://doi.org/10.21105/joss.03172.

[38] F. Alonso-Sarria, C. Valdivieso-Ros, y G. Molina-Pérez, "Detecting Flooded Areas Using Sentinel-1 SAR Imagery", *Remote Sens. (Basel).*, vol. 17, núm. 8, abr. 2025, doi: 10.3390/rs17081368.

[39] M. Drusch *et al.*, "Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services", *Remote Sens. Environ.*, vol. 120, pp. 25–36, may 2012, doi: 10.1016/j.rse.2011.11.026.

[40] R. W. H. Rouse, J. A. W. Haas, y D. W. Deering, "MONITORING VEGETATION SYSTEMS IN THE GREAT PLAINS WITH ERTS".

[41] H. Bazzi *et al.*, "Mapping paddy rice using Sentinel-1 SAR time series in Camargue, France", el 1 de abril de 2019, *MDPI AG*. doi: 10.3390/RS11070887.

[42] S. Cai *et al.*, "High-resolution surface and rootzone soil moisture over US cropland: A novel framework assimilating multi-source remote sensing data, machine learning, and the Layered Green and Ampt Infiltration with Redistribution model", *Remote Sens. Environ.*, vol. 334, p. 115167, mar. 2026, doi: 10.1016/j.rse.2025.115167.

[43] d. N. Moriasi, j. G. Arnold, m. W. Van liew, r. L. Bingner, r. D. Harmel, y t. L. Veith, "model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations", 1983.

[44] I. A. D. A. H. Runze Zhang, «Uav-Based Rwmotw Sensing of Soil Moisture Across Diverse Land Covers: Validation and Bayesian Uncertainty Characterización,» *IEEE Transiction on Geoscience and Remote Sensing* , p. 18, Enero 2025.

8. ANEXOS

Fragmento del código de delimitación

```
# Delimitacion de la cuenca del Rio Pastaza
# Librerias
from pathlib import Path
import geopandas as gpd
import whitebox
# Rutas de las carpetas
Base_dir = Path(__file__).resolve().parent
Datos_dir = Base_dir / "Datos_V1HDS"
Resultados_dir = Base_dir / "Resultados_V1HDS"
Datos_dir.mkdir(parents=True, exist_ok=True)
Resultados_dir.mkdir(parents=True, exist_ok=True)
# Geoprocesamiento
wbt = whitebox.WhiteboxTools()
wbt.set_working_dir(str(Datos_dir))
# Mantenemos encendida la consola para diagnósticos profundos
wbt.verbose = True

def procesar_hidrologia_base(dem_crudo, pour_point):
    ruta_dem = str(Datos_dir / dem_crudo)
    ruta_pour = str(Datos_dir / pour_point)
    # Archivos de salida
    dem_acondicionado = str(Resultados_dir / "1_dem_breached.tif")
    d8_point = str(Resultados_dir / "2_d8_direccion_flujo.tif")
    d8_accum = str(Resultados_dir / "3_d8_acumulacion.tif")
    red_drenaje = str(Resultados_dir / "4_red_drenaje_limpia.tif") # Red sin ruido
    pour_snapped = str(Resultados_dir / "5_pour_point_ajustado.shp") # Punto imantado
    cuenca_ras = str(Resultados_dir / "6_cuenca_ras.tif")
```

Detalles de las imágenes Sentinel-1 y Sentinel-2

N°	Sensor	Nombre	Satélite	Fecha	Tipo Producto	Resolución (m)	Num. Bandas	Bandas	Tamaño (GB)
1	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250102T105248_20250102T105313_057264_070B67_24D9	S1A	2/1/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.72
2	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250102T105313_20250102T105338_057264_070B67_481F_COG	S1A	2/1/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.28
3	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250102T105338_20250102T105403_057264_070B67_7AA8_COG	S1A	2/1/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.28
4	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250105T233658_20250105T233723_057315_070D70_4DB8_COG	S1A	5/1/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.27
5	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250105T233723_20250105T233748_057315_070D70_AC09	S1A	5/1/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.75
6	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250202T104437_20250202T104502_057716_071D58_616C_COG	S1A	2/2/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.27
7	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250202T104502_20250202T104527_057716_071D58_8BB5	S1A	2/2/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.73
8	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250202T104527_20250202T104552_057716_071D58_9D14_COG	S1A	2/2/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.27
9	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250205T232849_20250205T232914_057767_071F60_8096	S1A	5/2/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.75
10	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250205T232914_20250205T232939_057767_071F60_D17C	S1A	5/2/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.75

11	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250301T232848_20250301T232913_058117_072D8B_E78B_COG	S1A	1/3/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.28
12	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250301T232913_20250301T232938_058117_072D8B_B0A9	S1A	1/3/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.75
13	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250303T105246_20250303T105311_058139_072E6D_6235	S1A	3/3/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.72
14	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250303T105311_20250303T105336_058139_072E6D_5E23	S1A	3/3/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.72
15	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250303T105336_20250303T105401_058139_072E6D_8B68	S1A	3/3/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.72
16	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250401T110115_20250401T110140_058562_073F57_6C0E_COG	S1A	1/4/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.23
17	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250401T110140_20250401T110205_058562_073F57_AB6E	S1A	1/4/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.72
18	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20250402T105202_20250402T105231_001713_002EDC_36C3	S1C	2/4/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	2.01
19	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20250402T105231_20250402T105256_001713_002EDC_4E40	S1C	2/4/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.72
20	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250403T104438_20250403T104503_058591_074090_997C_COG	S1A	3/4/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.26
21	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20250501T105959_20250501T110024_002136_004899_B7D8_COG	S1C	1/5/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.21
22	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20250501T110024_20250501T110049_002136_004899_7ABB_COG	S1C	1/5/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.18

23	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250502T105246_20250502T105311_059014_0751C3_A1BC_COG	S1A	2/5/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.28
24	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250502T105311_20250502T105336_059014_0751C3_6102	S1A	2/5/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.72
25	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250502T105336_20250502T105401_059014_0751C3_9150_COG	S1A	2/5/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.28
26	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20250601T105135_20250601T105200_002588_0055EA_DBE5_COG	S1C	1/6/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.27
27	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20250601T105200_20250601T105225_002588_0055EA_9B5F_COG	S1C	1/6/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.26
28	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20250601T105225_20250601T105250_002588_0055EA_6EB1	S1C	1/6/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.73
29	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250602T104436_20250602T104501_059466_0761CF_6B72	S1A	2/6/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.73
30	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250602T104501_20250602T104526_059466_0761CF_3576	S1A	2/6/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.73
31	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250701T105244_20250701T105309_059889_077061_1F95_COG	S1A	1/7/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.29
32	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250701T105309_20250701T105334_059889_077061_C8AB_COG	S1A	1/7/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.29
33	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250701T105334_20250701T105359_059889_077061_FD98_COG	S1A	1/7/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.29
34	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20250702T104331_20250702T104356_003040_0062F2_8880	S1C	2/7/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.71

35	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20250702T104356_20250702T104421_003040_0062F2_7AB8_COG	S1C	2/7/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.26
36	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250801T104434_20250801T104459_060341_077FEE_CE86_COG	S1A	1/8/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.27
37	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250801T104459_20250801T104524_060341_077FEE_CF8A	S1A	1/8/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.72
38	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250801T104524_20250801T104549_060341_077FEE_37F6	S1A	1/8/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.72
39	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20250803T233543_20250803T233608_003514_0070C0_D0ED	S1C	3/8/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.74
40	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20250803T233608_20250803T233633_003514_0070C0_CD78_COG	S1C	3/8/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.24
41	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250902T233653_20250902T233718_060815_079246_7419	S1A	2/9/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.75
42	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250902T233718_20250902T233743_060815_079246_559D	S1A	2/9/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.75
43	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20250903T232734_20250903T232759_003966_007E51_4488_COG	S1C	3/9/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.26
44	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20250903T232759_20250903T232824_003966_007E51_2F49	S1C	3/9/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.74
45	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20250904T110053_20250904T110122_060837_07931A_75CA_COG	S1A	4/9/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.35
46	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20251002T233545_20251002T233610_004389_008B29_3345_COG	S1C	2/10/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	0.15

47	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20251002T233610_20251002T233635_004389_008B29_C72A_COG	S1C	2/10/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.23
48	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20251003T232846_20251003T232911_061267_07A472_1723	S1A	3/10/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.75
49	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20251003T232911_20251003T232936_061267_07A472_4367	S1A	3/10/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.75
50	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20251004T110007_20251004T110032_004411_008BD5_5FFF_COG	S1C	4/10/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.20
51	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20251101T233653_20251101T233718_061690_07B569_B398	S1A	1/11/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.75
52	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20251101T23371853_20251101T233743_061690_07B569_C771_COG	S1A	1/11/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.26
53	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20251102T232735_20251102T232800_004841_009911_B93A	S1C	2/11/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.74
54	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20251102T232800_20251102T232818_004841_009911_16B5	S1C	2/11/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.27
55	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20251103T110054_20251103T110123_061712_07B62E_BC40	S1A	3/11/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.99
56	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20251201T233544_20251201T233609_005264_00A73D_E6B7	S1C	1/12/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.74
57	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20251201T233609_20251201T233634_005264_00A73D_785B	S1C	1/12/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.74
58	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20251202T232844_20251202T232909_062142_07C6FC_8F73	S1A	2/12/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.75

59	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20251202T232909_20251202T232934_062142_07C6FC_EB94_COG	S1A	2/12/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1,.27
60	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20251203T110006_20251203T110031_005286_00A800_C380	S1C	3/12/2025	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.72
61	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20260101T232732_20260101T232757_005716_00B6C6_A13E	S1C	1/1/2026	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.74
62	Sentinel-1 SAR	S1C_IW_GRDH_1SDV_20260101T232757_20260101T232822_005716_00B6C6_0632_COG	S1C	1/1/2026	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.26
63	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20260102T110048_20260102T110117_062587_07D836_0F0B	S1A	2/1/2026	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.99
64	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20260102T110117_20260102T110142_062587_07D836_80FB	S1A	2/1/2026	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.71
65	Sentinel-1 SAR	S1A_IW_GRDH_1SDV_20260102T110142_20260102T110207_062587_07D836_3EDE	S1A	2/1/2026	GRD IW (Ground Range Detected)	10	2	VV, VH	1.71
66	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250105T153621_N0511_R068_T17MRT_20250105T205352	S2A	5/1/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.09
67	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250105T153621_N0511_R068_T17MRU_20250105T205352	S2A	5/1/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.15
68	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250105T153621_N0511_R068_T18MTC_20250105T205352	S2A	5/1/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.36
69	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250105T153621_N0511_R068_T18MTD_20250105T205352	S2A	5/1/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.60
70	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250107T152649_N0511_R025_T18MTE_20250107T201846	S2B	7/1/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.64

71	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250107T152649_N0511 _R025_T18MUE_20250107T201846	S2B	7/1/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.14
72	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250115T153621_N0511 _R068_T17MQT_20250115T204653	S2A	15/1/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.08
73	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250115T153621_N0511 _R068_T17MQU_20250115T204653	S2A	15/1/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.17
74	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250115T153621_N0511 _R068_T17MQV_20250115T204653	S2A	15/1/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.13
75	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250115T153621_N0511 _R068_T17MRV_20250115T204653	S2A	15/1/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.18
76	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20250204T153651_N0511 _R068_T18MTC_20250204T190411	S2C	4/2/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.31
77	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20250211T152721_N0511 _R025_T18MTD_20250211T185212	S2C	11/2/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.80
78	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250216T152659_N0511 _R025_T18MUC_20250216T202101	S2B	16/2/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.13
79	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250216T152659_N0511 _R025_T18MUD_20250216T202101	S2B	16/2/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.11
80	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250308T152659_N0511 _R025_T17MRT_20250308T190912	S2B	8/3/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.36
81	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250308T152659_N0511 _R025_T17MRU_20250308T190912	S2B	8/3/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.15
82	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250308T152659_N0511 _R025_T18MTC_20250308T190912	S2B	8/3/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.03

83	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250308T152659_N0511 _R025_T18MTD_20250308T190912	S2B	8/3/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.90
84	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250308T152659_N0511 _R025_T18MUC_20250308T190912	S2B	8/3/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.09
85	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250308T152659_N0511 _R025_T18MUD_20250308T190912	S2B	8/3/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.13
86	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250407T154001_N0511 _R068_T17MQT_20250408T011415	S2A	7/4/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.13
87	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250407T154001_N0511 _R068_T17MQU_20250408T011415	S2A	7/4/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.14
88	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250407T154001_N0511 _R068_T17MQV_20250408T011415	S2A	7/4/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.14
89	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250407T152659_N0511 _R025_T18MUE_20250407T204008	S2B	7/4/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.09
90	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20250412T152711_N0511 _R025_T17MRT_20250412T201821	S2C	12/4/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.39
91	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20250412T152711_N0511 _R025_T17MRU_20250412T201821	S2C	12/4/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.15
92	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20250412T152711_N0511 _R025_T18MTC_20250412T201821	S2C	12/4/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.09
93	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20250412T152711_N0511 _R025_T18MTD_20250412T201821	S2C	12/4/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.88
94	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20250412T152711_N0511 _R025_T18MTE_20250412T201821	S2C	12/4/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.61

95	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20250415T153651_N0511 _R068_T17MRV_20250415T220211	S2C	15/4/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.06
96	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250507T153641_N0511 _R068_T17MQT_20250507T202513	S2A	7/5/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.14
97	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250507T153641_N0511 _R068_T17MQV_20250507T202513	S2A	7/5/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.11
98	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250507T152659_N0511 _R025_T17MRT_20250507T203442	S2B	7/5/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.41
99	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250507T152659_N0511 _R025_T17MRU_20250507T203442	S2B	7/5/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.15
100	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250507T152659_N0511 _R025_T18MTC_20250507T203442	S2B	7/5/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.09
101	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250507T152659_N0511 _R025_T18MTD_20250507T203442	S2B	7/5/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.92
102	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250507T152659_N0511 _R025_T18MTE_20250507T203442	S2B	7/5/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.62
103	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250507T152659_N0511 _R025_T18MUC_20250507T203442	S2B	7/5/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.12
104	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250507T152659_N0511 _R025_T18MUD_20250507T203442	S2B	7/5/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.13
105	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250507T152659_N0511 _R025_T18MUE_20250507T203442	S2B	7/5/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.14
106	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250609T153629_N0511 _R068_T17MRU_20250609T202256	S2B	9/6/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.11

107	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250609T153629_N0511 _R068_T18MTD_20250609T202256	S2B	9/6/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.58
108	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250609T153629_N0511 _R068_T18MTE_20250609T202256	S2B	9/6/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.84
109	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20250611T152711_N0511 _R025_T18MUD_20250611T225016	S2C	11/6/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.14
110	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20250611T152711_N0511 _R025_T18MUE_20250611T225016	S2C	11/6/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.13
111	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250613T152941_N0511 _R025_T17MRT_20250613T201016	S2A	13/6/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.40
112	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250613T152941_N0511 _R025_T18MTC_20250613T201016	S2A	13/6/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.07
113	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20250621T152711_N0511 _R025_T18MUC_20250621T201215	S2C	21/6/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.55
114	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20250704T153651_N0511 _R068_T17MRU_20250704T203320	S2C	4/7/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.06
115	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250706T153641_N0511 _R068_T17MQT_20250706T201916	S2A	6/7/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.18
116	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250706T153641_N0511 _R068_T17MQU_20250706T201916	S2A	6/7/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.16
117	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250706T153641_N0511 _R068_T17MQV_20250706T201916	S2A	6/7/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.13
118	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250706T153641_N0511 _R068_T17MRV_20250706T201916	S2A	6/7/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.08

119	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250706T152659_N0511 _R025_T17MRT_20250706T203645	S2B	6/7/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.41
120	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250706T152659_N0511 _R025_T18MTC_20250706T203645	S2B	6/7/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.11
121	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250706T152659_N0511 _R025_T18MTD_20250706T203645	S2B	6/7/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.92
122	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250706T152659_N0511 _R025_T18MTE_20250706T203645	S2B	6/7/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.68
123	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250706T152659_N0511 _R025_T18MUC_20250706T203645	S2B	6/7/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.15
124	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250706T152659_N0511 _R025_T18MUD_20250706T203645	S2B	6/7/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.14
125	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250706T152659_N0511 _R025_T18MUE_20250706T203645	S2B	6/7/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.15
126	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250805T154001_N0511 _R068_T17MQV_20250805T214908	S2A	5/8/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.17
127	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250805T154001_N0511 _R068_T17MRV_20250805T214908	S2A	5/8/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.13
128	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250805T152659_N0511 _R025_T18MTE_20250805T204646	S2B	5/8/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.66
129	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250805T152659_N0511 _R025_T18MUE_20250805T204646	S2B	5/8/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.14
130	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250808T153629_N0511 _R068_T17MQT_20250808T204411	S2B	8/8/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.18

131	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250808T153629_N0511 _R068_T17MQU_20250808T204411	S2B	8/8/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.19
132	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250808T153629_N0511 _R068_T17MRT_20250808T204411	S2B	8/8/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.06
133	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250808T153629_N0511 _R068_T17MRU_20250808T204411	S2B	8/8/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.12
134	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250808T153629_N0511 _R068_T18MTC_20250808T204411	S2B	8/8/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.34
135	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20250808T153629_N0511 _R068_T18MTD_20250808T204411	S2B	8/8/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.57
136	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250901T152941_N0511 _R025_T17MRT_20250901T213714	S2A	1/9/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.37
137	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250901T152941_N0511 _R025_T17MRU_20250901T213714	S2A	1/9/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.12
138	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250901T152941_N0511 _R025_T18MTC_20250901T213714	S2A	1/9/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.07
139	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250901T152941_N0511 _R025_T18MTD_20250901T213714	S2A	1/9/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.79
140	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250901T152941_N0511 _R025_T18MUC_20250901T213714	S2A	1/9/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.13
141	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250901T152941_N0511 _R025_T18MUD_20250901T213714	S2A	1/9/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.11
142	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20250904T153641_N0511 _R068_T17MQV_20250904T201514	S2A	4/9/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.09

143	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20250909T152711_N0511 _R025_T18MTE_20250909T182720	S2C	9/9/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.61
144	Sentinel-2 MSI	S2A_MSIL2A_20251001T152711_N0511 _R025_T18MUD_20251001T215615	S2A	1/10/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.12
145	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20251004T152649_N0511 _R025_T17MRT_20251004T204450	S2B	4/10/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.40
146	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20251004T152649_N0511 _R025_T17MRU_20251004T204450	S2B	4/10/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.11
147	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20251004T152649_N0511 _R025_T18MTC_20251004T204450	S2B	4/10/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.10
148	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20251004T152649_N0511 _R025_T18MTD_20251004T203920	S2B	4/10/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.68
149	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20251004T152649_N0511 _R025_T18MTE_20251004T203920	S2B	4/10/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.58
150	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20251004T152649_N0511 _R025_T18MUC_20251004T204450	S2B	4/10/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.11
151	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20251004T152649_N0511 _R025_T18MUE_20251004T203920	S2B	4/10/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.07
152	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20251007T153629_N0511 _R068_T17MRV_20251007T210027	S2B	7/10/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.12
153	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20251101T153641_N0511 _R068_T17MRT_20251101T184316	S2C	1/11/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.99
154	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20251101T153641_N0511 _R068_T17MRU_20251101T184316	S2C	1/11/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.05

155	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20251101T153641_N0511 _R068_T18MTC_20251101T184316	S2C	1/11/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.33
156	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20251101T153641_N0511 _R068_T18MTD_20251101T184316	S2C	1/11/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.57
157	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20251101T153641_N0511 _R068_T18MTE_20251101T184316	S2C	1/11/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.73
158	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20251103T152649_N0511 _R025_T18MUC_20251103T190627	S2B	3/11/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.17
159	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20251103T152649_N0511 _R025_T18MUD_20251103T190627	S2B	3/11/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.05
160	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20251106T153619_N0511 _R068_T17MRV_20251106T202903	S2B	6/11/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.11
161	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20251201T153631_N0511 _R068_T17MQT_20251201T185313	S2C	1/12/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.18
162	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20251201T153631_N0511 _R068_T17MQU_20251201T185313	S2C	1/12/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.20
163	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20251201T153631_N0511 _R068_T17MQV_20251201T185313	S2C	1/12/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.18
164	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20251201T153631_N0511 _R068_T17MRT_20251201T185313	S2C	1/12/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.05
165	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20251201T153631_N0511 _R068_T17MRU_20251201T185313	S2C	1/12/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.17
166	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20251201T153631_N0511 _R068_T17MRV_20251201T185313	S2C	1/12/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.15

167	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20251201T153631_N0511 _R068_T18MTC_20251201T185313	S2C	1/12/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.32
168	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20251201T153631_N0511 _R068_T18MTD_20251201T185313	S2C	1/12/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.58
169	Sentinel-2 MSI	S2C_MSIL2A_20251201T153631_N0511 _R068_T18MTE_20251201T185313	S2C	1/12/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.77
170	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20251203T152649_N0511 _R025_T18MUC_20251203T190034	S2B	3/12/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.15
171	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20251203T152649_N0511 _R025_T18MUE_20251203T190034	S2B	3/12/2025	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.16
172	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20260102T152649_N0511 _R025_T17MRT_20260102T203512	S2B	2/1/2026	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.33
173	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20260102T152649_N0511 _R025_T17MRU_20260102T203512	S2B	2/1/2026	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.13
174	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20260102T152649_N0511 _R025_T18MTC_20260102T203512	S2B	2/1/2026	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.01
175	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20260102T152649_N0511 _R025_T18MTD_20260102T203512	S2B	2/1/2026	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	0.80
176	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20260102T152649_N0511 _R025_T18MUC_20260102T203512	S2B	2/1/2026	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.10
177	Sentinel-2 MSI	S2B_MSIL2A_20260102T152649_N0511 _R025_T18MUD_20260102T203512	S2B	2/1/2026	L2A (Reflectancia superficial)	10/20/60	13	B01-B12 + SCL	1.14