

FACULTAD DE INGENIERÍA



CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“IMPACTOS NEGATIVOS DE LA EROSIÓN
HÍDRICA MEDIANTE EL APORTE DE
SEDIMENTOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO
MOCHE, LA LIBERTAD, 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autora:

Treyssi Stephany Mantilla Jara

Asesor:

Ing. MSc. Carlos Alberto Alva Huapaya

Trujillo - Perú

2021

DEDICATORIA

Dedico de manera especial esta tesis a mis padres, Eduardo y Consuelo, pues ellos fueron el principal cimiento para el desarrollo de mi vida profesional, sentaron en mí las bases que me ayudaron a ser cada día más responsable y con deseos de superación.

A mi querida abuelita Margarita Isabel, Chabelita, quien en vida siempre fue buena y amorosa conmigo, además, de brindarme muy buenos consejos, entre ellos ser una buena mujer profesional, independiente y juiciosa.

A mis compañeros y compañeras, con quienes compartí buenos y malos momentos que me ayudaron en mi superación personal, y también en ganar una bonita amistad que espero perdure por muchos años más.

A mi querida amiga del colegio Claudia Mariana, con quien llevo muchos años de amistad honesta, y que, a pesar de haber estado en diferentes universidades y carreras, siempre nos hemos mantenido en contacto, además de compartir mismos gustos y pasatiempos; incluso en este momento importante me ha estado acompañando.

Agradezco a Dios por haberme dado una bonita familia y amistades, que me han apoyado siempre, en las buenas y las malas.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, quienes con su apoyo ilimitado y sacrificio me sacaron adelante en todos mis años como estudiante de colegio y de universidad.

A mi querida abuelita Margarita Isabel, quien en vida siempre me aconsejó ser, ante todo, una buena mujer profesional, independiente y juiciosa.

A mi asesor, el ingeniero Carlos Alva, quien me oriento sabiamente en todo mi recorrido como tesista.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	46
CAPÍTULO III. RESULTADOS	64
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	82
REFERENCIAS	89
ANEXOS	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	25
Tabla 2	27
Tabla 3	28
Tabla 4	34
Tabla 5	36
Tabla 6	41
Tabla 7	42
Tabla 8	44
Tabla 9	50
Tabla 10	52
Tabla 11	59
Tabla 12	60
Tabla 13	62
Tabla 14	64
Tabla 15	65
Tabla 16	66
Tabla 17	67
Tabla 18	68
Tabla 19	68
Tabla 20	69
Tabla 21	71
Tabla 22	71
Tabla 23	72
Tabla 24	73
Tabla 25	74
Tabla 26	74
Tabla 27	75
Tabla 28	75
Tabla 29	76
Tabla 30	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.....	21
Figura 2.....	23
Figura 3.....	24
Figura 4.....	26
Figura 5.....	29
Figura 6.....	30
Figura 7.....	31
Figura 8.....	32
Figura 9.....	41
Figura 10.....	43
Figura 11.....	45
Figura 12.....	49
Figura 13.....	50
Figura 14.....	51
Figura 15.....	52
Figura 16.....	53
Figura 17.....	54
Figura 18.....	54
Figura 19.....	55
Figura 20.....	55
Figura 21.....	56
Figura 22.....	57
Figura 23.....	61
Figura 24.....	62
Figura 25.....	70
Figura 26.....	77
Figura 27.....	77
Figura 28.....	79

ANEXOS

ANEXO n.º 1. Matriz de consistencia	98
ANEXO n.º 2. Matriz de operacionalización	99
ANEXO n.º 3. Distritos y provincias dentro de la cuenca del Río Moche y sus alrededores	102
ANEXO n.º 4. Limitaciones de la cuenca del Río Moche	103
ANEXO n.º 5. Modelo de Elevación de la Cuenca del Río Moche	104
ANEXO n.º 6. 2003 – Delimitación de la Zona Verde (Dimensión 1:200)	105
ANEXO n.º 7. 2003 - Delimitación de la Zona Verde (Dimensión 1:600)	106
ANEXO n.º 8. 2003 - Delimitación de la Zona Desnuda (Dimensión 1:200)	107
ANEXO n.º 9. 2003 - Delimitación de la Zona Desnuda (Dimensión 1:500)	108
ANEXO n.º 10. 2013 - Delimitación de la Zona Verde (Dimensión 1:200)	109
ANEXO n.º 11. 2013 - Delimitación de la Zona Verde (Dimensión 1:600)	110
ANEXO n.º 12. 2013 - Delimitación de la Zona Desnuda (Dimensión 1:200)	111
ANEXO n.º 13. 2013 - Delimitación de la Zona Desnuda (Dimensión 1:600)	112
ANEXO n.º 14. 2020 - Delimitación de la Zona Verde (Dimensión 1:200)	113
ANEXO n.º 15. 2020 - Delimitación de la Zona Verde (Dimensión 1:600)	114
ANEXO n.º 16. 2020 - Delimitación de la Zona Desnuda (Dimensión 1:300)	115
ANEXO n.º 17. 2020 - Delimitación de la Zona Desnuda (Dimensión 1:600)	116
ANEXO n.º 18. Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Moche	117
ANEXO n.º 19. Pendientes de la Cuenca Alta del Río Moche	118
ANEXO n.º 20. Orientación de la pendiente: dirección de la erosión de la Cuenca Alta del Río Moche ...	119
ANEXO n.º 21. Cálculos de Gabinete con el Método de Namba	120
ANEXO n.º 22. Mapa de la red de puntos de monitoreo en la cuenca del río Moche	126

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general determinar los impactos negativos de la erosión hídrica mediante el aporte de sedimentos en la cuenca alta del río Moche, La Libertad. El proceso metodológico consistió en ubicar dos zonas: verde y desnuda, dentro de un área de influencia de 15 Km a la redonda desde la estación meteorológica del distrito de Salpo; posteriormente, se usaron los parámetros necesarios de las zonas de estudio de los años 2003, 2013 y 2020, para calcular el aporte de sedimentos mediante el Método de Namba (m^3/km^2 -año) y haciendo una posterior conversión de unidades a t/ha/año. Como resultado, la pérdida de suelo en la cuenca alta del Río Moche en los años 2003, 2013 y 2020, encontrada en la Zona Verde en la Época de Altas Precipitaciones fue de 7.21, 6.71 y 6.91 t/ha/año respectivamente, en la Época de Bajas Precipitaciones fue de 5.51, 5.11 y 5.20 t/ha/año respectivamente. Para la Zona Desnuda en la Época de Altas Precipitaciones fue de 9.03, 8.85 y 8.96 t/ha/año respectivamente, y finalmente, para la Época de Bajas Precipitaciones fue de 7.33, 7.25 y 7.25 t/ha/año para cada año respectivamente, teniendo un riesgo de erosión *moderado de grado 3*, en ambas zonas y épocas de precipitaciones, según la clasificación propuesta por la FAO (1980) y superando los los valores permitidos por la misma (0.4 – 1.8 t/ha/año). Finalmente, se llegó a la conclusión la erosión hídrica trae consecuencias graves al suelo que no tiene cobertura vegetal ni forestal, debido a que, por la fuerza de impacto de las gotas de lluvia, estas compactan el suelo, impidiendo que el agua se infiltre, afectando en su capacidad de infiltración de agua, por consiguiente, provocando así que se produzca mayor volumen de escorrentía superficial, aumentando el arrastre de sedimentos.

Palabras clave: erosión hídrica, aporte de sedimentos, cuenca hidrográfica, escorrentía, precipitación

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

I.1. Realidad problemática

Uno de las mayores preocupaciones medio-ambientales en el mundo es la degradación y erosión de los suelos, así como, la escasez de los recursos hídricos. Es común encontrar zonas con evidencia de erosión de suelo, esto es relacionado a la falta de agua, como se da en casos de sequías. Además de este tipo de erosión que se da por falta del recurso de agua, también existe la Erosión Hídrica, que tiene efectos negativos sobre la calidad del agua superficial que pasa sobre el suelo, debido a que aumenta la turbidez del agua, y cuando llega a una planta de tratamiento de agua potable, que generalmente se encuentra en la cuenca baja, causa dificultad en el mismo; de la misma forma afecta al suelo mismo, ya que arrastra cantidades grandes de nutrientes que son necesarios para la fertilidad de éste en campos de cultivos, y según la FAO (2015, pág. 29) los países más afectados por este problema son: Estados Unidos, Canadá, China, y países del norte de Europa. Asimismo, reforestar con las especies forestales adecuadas puede ser una alternativa de solución, ya que la vegetación constituye un factor regulador en los procesos hidrológicos debido a que actúa de barrera capaz de interceptar las precipitaciones, variando su flujo y distribución bajo el área de su cobertura (Luna, Moreno, Roldán, & Cienfuegos, 2011).

En Latinoamérica, la erosión hídrica es considerada una de las más importantes, ya que tienen un impacto en grandes sectores de la población regional, en particular aquellas concentradas en las regiones montañosas de los Andes, América Central, México y el Caribe. La erosión hídrica y deslizamientos de tierra ocurren principalmente en laderas empinadas que han sido deforestadas o en zonas montañosas secas que se utilizan como pastos y que han sido objeto de sobrepastoreo. La erosión

y los deslizamientos de tierra eliminan suelo fértil, afectando la productividad de los cultivos, lo que hace más difícil la labranza. Además, la producción de sedimentos perjudica a los campos y a la infraestructura aguas abajo, causando inundaciones en las zonas planas, las que podría aumentar a futuro por el efecto del cambio climático. (FAO, 2015, párr. 17).

Nuestro país es muy heterogéneo en las propiedades de sus suelos en su relación con la erosión (erodabilidad) y con la incidencia de la precipitación, la misma que fluctúa alrededor de 10 a 3000 mm por año, con una distribución anual irregular, siendo menor (estiaje) en el periodo de abril a noviembre y mayor de diciembre a marzo (avenida) (Huerta & Loli, 2014, pág. 15). La pérdida de suelos por erosión hídrica en el Perú es un grave problema ambiental que afecta y pone en riesgo la seguridad hídrica y seguridad alimentaria; toda vez que este fenómeno es más crítico y agresivo en zonas altoandinas que son proveedoras de los principales servicios ecosistémicos hídricos y el espacio donde se desarrolla importante actividad agrícola para la provisión de alimentos a las grandes ciudades costeñas (Sabino, Felipe, & Lavado, 2017, pág. 4). Además, el Perú en los últimos años está pasando por un grave desastre de deslizamientos de tierra, producto de las fuertes precipitaciones provenientes de las cuencas altas ubicadas en la sierra. Esto se debe al mal manejo de suelos, debido a que no existe cobertura vegetal ni forestal que funcionen como amortiguador de las escorrentías de agua. La influencia de la cobertura vegetal adquiere mayor importancia en masas forestales, donde provoca cantidades importantes de interceptación de las precipitaciones (Huber & Oyarzún, 1983 citados en Luna, *et al.* 2011), así como también disminución de los caudales (Calder 1992, Iroumé, & Huber 2000 citados en Luna, *et al.* 2011). Una parte del agua de lluvia es interceptada por el dosel (interceptación) y otra parte llega el suelo conducido por el tronco (escorrentía cortical)

o cayendo directamente desde las ramas o las hojas (trascolación), formando ambas lo que se denomina precipitación neta (Luna, *et al.* 2011).

El escurrimiento superficial del río Moche se debe al volumen de agua que proviene de las precipitaciones que se dan en la Cuenca Alta de Moche que se encuentra dentro de Otuzco. Se debe tener en cuenta que, la mayoría de los suelos estudiados y dedicados a cultivos transitorios en la provincia de Otuzco se encuentran dañados por relevantes procesos de degradación por erosión hídrica, influenciado por la pendiente e inadecuado manejo de los suelos (Huerta, & Loli, 2014, pág. 15) y falta de una adecuada cobertura vegetal y forestal la cual cubre gran parte de la serranía liberteña.

Para el soporte de esta investigación, se rescataron las siguientes investigaciones:

Bribiesca, Sánchez, y Gonzáles (2018) en su artículo de investigación tuvo como objetivo determinar el aporte de sedimentos usando diferentes metodologías empíricas, entre ellas estuvo el Método de Namba. Método de Gracia y la Fórmula Universal de Pérdida de Suelo (USLE o FUPS que son las siglas en inglés). Los resultados arrojaron diferentes aportes de sedimentos según las metodologías, y se concluyó que, dada la poca o nula información con la que se cuenta, se concluye que los métodos que si toman en cuenta las características propias de la cuenca arrojan resultados de un orden aproximado entre ellos, asimismo, el método de Gracia arroja resultados con las condiciones más desfavorables con $1,329,875.45 \text{ m}^3/\text{km}^2\text{-año}$.

De acuerdo con Febles y Vega (2016) en su artículo de investigación estimaron las pérdidas de suelo producto de la erosión hídrica de su cuenca tributante, aplicando la metodología CORINE para obtener el mapa del Índice de Erosión Actual e

identificar los sectores con categorías elevadas donde se trazaron perfiles para cuantificar, con el modelo MMF, el volumen de sedimentos que llega al embalse. Los resultados mostraron que las laderas Norte y Sur como las más susceptibles a la erosión hídrica con pérdidas de suelo anual de $388,7 \text{ kg/m}^2$ (3887 t/ha), contribuyendo al azolvamiento del embalse en un 0,9% anual.

Según Ares, Varni & Chagas (2014, diciembre) en su artículo de investigación analizaron la dinámica de la concentración de sedimentos generados por erosión hídrica estableciendo relaciones con las precipitaciones, los escurrimientos y las condiciones de lluvia antecedente, en una microcuenca bajo agricultura en siembra directa. Los resultados del análisis de la interacción lluvia-escurrimiento-concentración de sedimentos identificó diferentes respuestas erosivas, las que se podrían asociar, alternativamente a erosión laminar o a erosión en surcos como procesos dominantes en la microcuenca, según la magnitud del evento considerado.

Por su parte Nosetto y Jobbágy (2014) en su investigación revisaron los mecanismos, impactos y desafíos asociados al establecimiento de forestaciones sobre el balance hídrico y los servicios asociados al mismo. Para eso, sintetizaron los datos existentes en relación a los efectos finales producido por las forestaciones sobre dos aspectos: rendimiento hídrico total y partición entre flujo superficial vs. flujo subterráneo. Un trabajo de síntesis realizado a partir de 26 sitios estima una reducción promedio del 39% del rendimiento hídrico (167 mm/año), el cual a su vez fue significativamente mayor en eucaliptos en comparación con pinos (Farley et al., 2005). Cuando forestaciones son establecidas en estos paisajes los árboles pueden hacer uso del agua subterránea, complementando los ingresos por precipitaciones

hasta en 300 mm/año según las propiedades hidráulicas del acuífero (Jobbágy and Jackson, 2004). Además del contexto, el impacto hidrológico de las forestaciones también dependerá del diseño de las mismas, lo cual incluye la especie implantada, la densidad de plantación, el método de cosecha, y la ubicación de la plantación en el paisaje.

También Magliano, Fernández, Giménez, Marchesini, Páez & Jobbágy (2016) en su artículo científico exploraron cómo el reemplazo de los bosques secos nativos por pasturas, orientado a aumentar la productividad ganadera, afecta la partición de flujos de agua en las llanuras del Chaco Árido. Para eso, caracterizaron la distribución del tamaño y la intensidad de eventos de precipitación, y se midieron los flujos de intercepción directa, escurrimiento superficial, drenaje profundo y evaporación potencial en parcelas pareadas de bosques y pasturas. Estos resultados sugieren que el establecimiento de pasturas en sitios originalmente cubiertos por bosques reduciría la fracción de la precipitación potencialmente transpirable y aumentaría el riesgo potencial de erosión hídrica. La importancia de los flujos de redistribución sobre el balance hídrico y el funcionamiento ecohidrológico del sistema resalta la necesidad de caracterizar la dinámica del agua a escala de parche en paisajes llanos.

García (2021), en su tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas, con el objetivo de caracterizar el fenómeno de la erosión hídrica en suelos de ladera del centro de México, para explicar procesos erosivos sometidos a diferentes prácticas de manejo y contribuir en la parametrización de modelos de erosión, además de comparar las

tasas de erosión obtenidas mediante la técnica del perfilómetro de varillas (PV) con medición de sedimentos (MS) y las estimadas mediante la modelación USLE. Estableció parcelas de escurrimiento en dos condiciones de uso, agrícola (AA) y pecuario (AP) en terrenos de ladera en el área de estudio; en ambas unidades experimentales se establecieron cuatro tratamientos con tres repeticiones, siendo estas: Suelo desnudo (T1), Suelo barbechado (T2), Suelo barbechado con esquilmos (T3), y Pastizal inducido (T4). Los resultados indican que el modelo USLE sobreestima 10.9 y 25.9 veces más la magnitud de pérdida de suelo comparado con MS y PV con tasas de 2.32 y 0.98 t ha año⁻¹, respectivamente; además, se encontró que PV mostró indicios de recuperación de suelo como consecuencia de la reconfiguración de la rugosidad superficial después de cada ciclo de lluvia, lo cual explica la baja correlación entre las tormentas y la producción de sedimentos.

Escobar (2019), realizó una investigación con el objetivo de estimar la erosión actual y potencial de la comuna de Punitaqui mediante el modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). Como resultados obtuvieron que las pérdidas de suelo arrojadas por erosión hídrica actual y potencial correspondieron respectivamente a 22,40 y 26,11 ton/hect/año, que comparándolo con la clasificación empleada por la FAO (1980), el grado de erosión es moderado. El autor llegó a la conclusión que los resultados obtenidos del modelo USLE aplicado a este estudio fueron limitados, debido a que fue necesario sustituir algunas variables clave para poder hacer el cálculo de los factores de la ecuación.

Vallejos, Zamora & Jorge (2018) en su artículo científico tuvieron como objetivo evaluar la producción de sedimentos ante la modificación de los forzantes meteorológicos a través de la modelación distribuida con el método Djourovic &

Gavrilovic. Los resultados obtenidos mostraron que la tasa de transporte de sedimentos en la cuenca del lago Poopó alcanzo los 2.266.504,24 m³/año, y se consideró que los sedimentos que llegan al lago Poopó no son solo los producidos por la cuenca del Lago, sino también de las cuencas aguas arriba, también, que la tasa de transporte de sedimentos estimada de toda esta área llegaría a alcanzar aproximadamente unos 5.368.141 m³/año. Se considera que teniendo en cuenta que el volumen del lago Poopó, el cual es de aproximadamente 2,21 km³, se estima que en aproximadamente en unos 410 años el lago Poopó se llegaría a colmatar completamente, produciendo un desastre ambiental más grave que el que actualmente se presenta.

Según Silva y Quisca (2016) en su artículo de investigación ilustraron el transporte de sedimentos súbito y los desbordes e inundaciones en ríos de pendiente pronunciada con fines de dimensionamiento de obras de encauzamiento y defensas ribereñas, utilizando el modelamiento numérico de este proceso físico además de analizar los registros históricos de inundaciones en el río Ilabaya. Los resultados sugirieron que el aporte que el aporte y transporte súbito de sedimentos de fondo en el río Ilabaya, es uno de los principales mecanismos de ocurrencia de los desbordes e inundaciones.

Según Yali (2018) en su tesis de grado estimó el volumen muerto o de fuentes de abastecimiento de agua por producción de sedimentos a partir del modelo de erosión RUSLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo) y el coeficiente de aporte de sedimentos (SDR) utilizando un modelo empírico con herramientas satelitales de acceso libre. Obtuvo resultados que indicaron que para el reservorio Gallito Ciego el

tiempo de vida estimado es de 127 años, siendo acelerado 10 años menos por cada evento extraordinario como lo sucedido en el año 1998.

Quispe (2018) en su tesis de maestría tuvo como objetivo evaluar los niveles de pérdida de masa de suelo por la erosión hídrica. El trabajo se realizó en una ladera de la comunidad de San Mateo, Lima con cuatro tratamientos, en cuatro bloques, con 16 varillas por parcela, que sirvieron de indicador de pérdida de masa de suelo, midiéndose la erosión laminar sobre las varillas, en un área total de 129,96 m². Los resultados indican que las parcelas con cobertura vegetal nativa (*Festuca amethystina* L.) produjeron una menor pérdida de suelo, 10,901 t/ha-año, en comparación a las pérdidas de suelo de las parcelas con mulch, 17,18 t/ha-año; las parcelas con cobertura natural, 28,651 t/ha-año; y, las parcelas con suelo desnudo, 44,85 t/ha-año, esta última cifra es once veces mayor a la tasa considerada máxima permisible por la FAO (4 t/ha-año, para suelos de escasa profundidad). La cobertura vegetal, actuó como un eficiente protector del suelo, disminuyendo considerablemente la erosión hídrica.

Colque (2015) en su tesis de grado tuvo como objetivo categorizar la erosión hídrica en la microcuenca de Ranrahirca, con el fin de determinar el área de erosión existente por categorías. Se concluye la categorización de la erosión hídrica se clasificó en cuatro rangos obteniéndose los siguientes resultados: un porcentaje de 73.82% en un nivel de categoría ninguno a ligera con un área de 10 676 ha (< 10 Ton/ha*año), un porcentaje de 8.25% en un nivel de categoría moderada con un área de 1 193 ha (10 – 50 Ton/ha*año), un porcentaje de 9.69% en un nivel de categoría

alta con un área de 1402 ha (50- 200 Ton/ha*año) y un porcentaje de 8.24% en un nivel de categoría muy alta con un área de 1 191 ha (> 200 Ton/ha* año).

Huerta & Loli (2014) en su artículo de investigación estudiaron la pérdida de suelo y la incidencia de las precipitaciones pluviales como factor en la erosión hídrica. Para esto se cuantificaron la escorrentía superficial y la pérdida de suelo bajo condiciones de uso del suelo en las microcuencas de Huangamarca y Pollo de la cuenca alta del río Moche. Para este efecto, se determinaron los caudales de los ríos y se utilizó el registro de lluvias de un período de 24 años (1988-2011) de la Estación Meteorológica del SENAMHI. Se registró pérdidas de suelo por erosión hídrica, en Huangamarca y Pollo, en el orden de 7.29 y 33.40 t/ha/año, respectivamente. Estas pérdidas por erosión son consideradas valores altos, comparados con el rango permisible por la FAO (0.4-1.8 t/ha/año), que afectan los agroecosistemas.

Finalmente, Orbegozo & Rodríguez (2018) en su artículo de investigación determinaron la erosión hídrica promedio anual para la sub cuenca del Río Urpay. La metodología ha consistido en tomar como perfil patrón, el perfil modal identificado por la Oficina Nacional de Recursos Naturales (ONERN) del Perú, el año 1973, cuando realizó el Estudio Semidetallado de suelos a nivel del Callejón de Huaylas; también se ha utilizado como herramienta de apoyo el Programa ArcGis10.5, para delimitar la fisiográfica de la sub cuenca por pendientes. El número de calicatas utilizadas han sido 21, describiéndose en cada una, el perfil del suelo, cuyo Epipedón (horizonte Ap.), se ha comparado con el Epipedón modal de la ONERN (1973) que ha sido de 15 cm de espesor. Los resultados obtenidos indican que la erosión hídrica en la sub cuenca Urpay va de leve a moderada, según la FAO. Las pérdidas de suelo

varían en el rango de: 10.69, 14.97 y 12.83, en Tn/ha/año, para las pendientes de 4-15%, 15-25% y 25-50%, respectivamente.

Para justificar la investigación, la investigación contribuirá a generar relevante información que servirá para determinar la importancia de conocer el nivel de la erosión hídrica de la cuenca alta del Río Moche y sus consecuencias que trae en ella a través del aporte de sedimentos. Además, la investigación es relevante socialmente, porque los resultados llegarán a todas las personas interesadas en conocer los métodos de solución para los impactos negativos que trae la erosión hídrica; además de poder tomar como modelo la presente investigación, a fin de continuarla con futuras investigaciones en diferentes zonas del Perú y el mundo. Asimismo, la presente investigación es importante por sus implicaciones prácticas, ya que es una opción para resolver los problemas actuales de erosión hídrica que vienen afectando en gran medida a nuestro país, resaltando el hecho de comparar tres diferentes años y ver el progreso o retroceso de la erosión hídrica en la zona estudiada, esto para poder proponer soluciones nuevas y eficientes.

Para entrar más en contexto con la presente investigación, es fundamental conocer los conceptos y terminologías más resaltantes e importantes del tema, los cuales son los siguientes:

Ciclo hidrológico

Se llama así, al desplazamiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente primero por las precipitaciones y luego a modo de escorrentía superficial y subterránea (Sánchez, 2017) .

Ya que hablamos de un ciclo podríamos tener en cuenta cada una de sus etapas, empezando a partir de cualquier punto, sin embargo, lo más intuitivo podría ser empezar en la Precipitación y tener en cuenta qué caminos puede continuar el agua que cae sobre los continentes en las precipitaciones:

- a) **Evaporación:** Una sección se evapora a partir de la superficie del suelo (“charcos”) o si ha quedado retenida sobre las hojas de los árboles. A este último fenómeno se le nombra “interceptación”, y en lluvias de corta duración sobre regiones de bosque puede devolver a la atmósfera una parte importante del agua precipitada sin haber tocado el suelo.
- b) **Precipitación:** Agua que cae al suelo derivadas de las nubes luego de su condensación. Esta agua se convierte en la principal fuente para las corrientes superficiales y subterráneas (Yali, 2018).
- c) **Infiltración:** Paralelamente, el agua infiltrada puede seguir estos caminos:
 - *Evaporación:* Se evapora a partir del suelo húmedo, sin relación con la viable vegetación.

- *Transpiración*: las raíces de las plantas absorben el agua infiltrada en el suelo, una pequeña parte es retenida para su incremento y la mayoría es transpirada.

La suma de los dos puntos mencionados anteriormente se denomina ***Evapotranspiración***.

- *Escorrentía Subsuperficial o Hipodérmica ("interflow")*, que tras un corto recorrido lateral previo a llegar a la napa freática finaliza saliendo a la superficie.
- Si no es evaporada ni atrapada por las raíces, la gravedad continuara llevándola hacia abajo, hasta la napa freática; ahí aún podría ser atrapada por las raíces de las plantas "freatofitas", de raíces bastante profundas, y que a diferencia de otras plantas, buscan el agua del medio saturado.
- Al final, el agua restante da sitio a la ***Escorrentía Subterránea***.

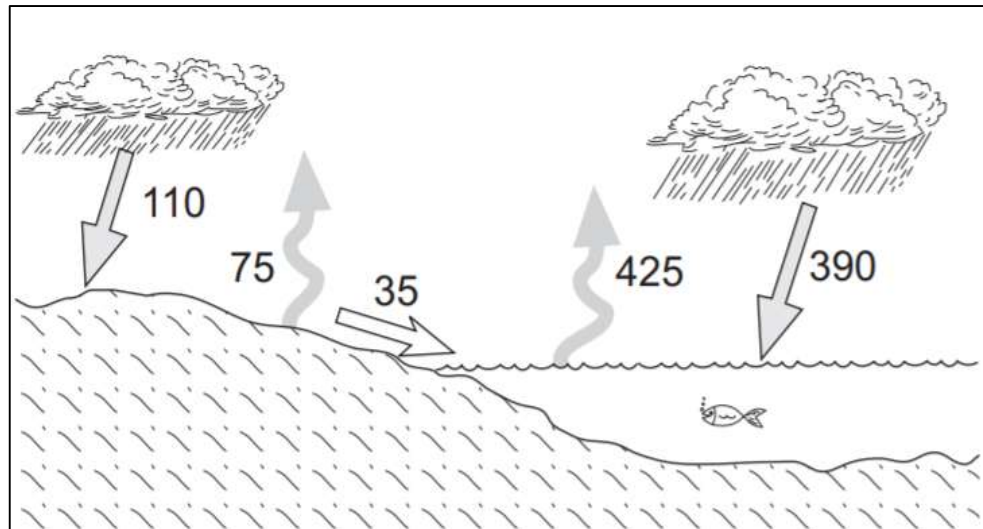
d) Escorrentía Superficial: Agua de lluvia que no se evapora ni se infiltra, escurre superficialmente, esto pasa cuando el suelo recibe más lluvia o riego de lo que normalmente puede sostener y esta no se infiltra por el suelo. Sin embargo, a este flujo de agua puede pasar por diversas fases:

- Parte es evaporada: a partir de los ríos, lagos y embalses que también se evapora una pequeña parte.
- Otra parte puede permanecer retenida como nieve, hielo, lagos o embalses ("Escorrentía superficial diferida")
- Al final, una gran parte es la "Escorrentía superficial rápida" que sigue su camino hacia el océano.

La escorrentía se pueden distinguir dos tipos de flujos: está el flujo laminar, que se mueve a baja velocidad, y el flujo turbulento/concentrado o de surcos, que se mueve a mayor velocidad y es responsable de la parte de transporte de sedimentos.

Figura 1

Cuantificación del Ciclo Hidrológico a escala mundial.



Cuantificación del ciclo hidrológico a escala mundial (volúmenes en km³/año, cifras de Price, 2003). Tomado de *Sánchez (2017)*

Erosión Hídrica

El fenómeno de la erosión hídrica está estrechamente vinculado con las rutas que sigue el agua en su paso por medio de la cobertura vegetal y su desplazamiento sobre el área del suelo, o sea el escurrimiento superficial (Morgan, 1997 citado por Diego Escobar, 2019). La erosión hídrica es un proceso complejo natural en la cual consiste en preparar y separar material en partículas individuales y pequeñas (arcilla, limo y arena) debido al impacto de las gotas de lluvia en el suelo. Las partículas sueltas son transportadas hacia abajo por la escorrentía superficial, que a su vez produce nuevo material. (Gaitan, Navarro, Tenti Vuegen, Pizarro, & Carfagno, 2017).

Tipos de erosión hídrica

Acorde a lo manifestado por Yali (2018) se tiene determinado los tipos de erosión hídricas más comunes, los cuales son:

Entre los tipos de erosión hídrica más comunes están: la erosión laminar, la erosión por surcos, la erosión por salpicadura, la erosión en cárcavas y la erosión en bancos aluviales, las cuales se explicarán a continuación:

- *Erosión Laminar:*

Es producida de una manera uniforme sobre la capa superficial del suelo, removiendo el suelo en delgadas capas. Se genera principalmente en las regiones desprovistas de vegetación, suelos con escasa cohesión e insuficiente materia orgánica. Cada año, este lento proceso va degradando unas láminas superficiales del suelo, al final acaban perdiendo el horizonte A y por consiguiente el suelo pierde fertilidad.

- *Erosión por surcos:*

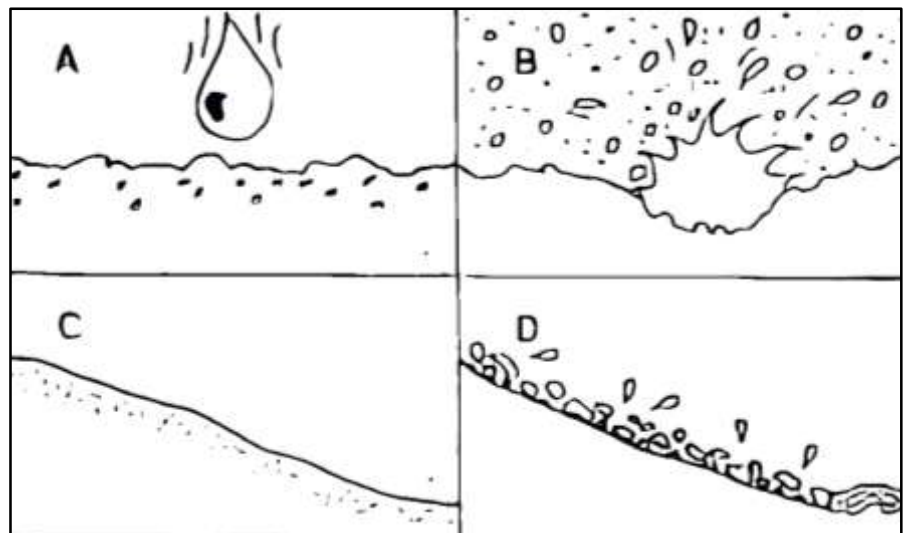
Este tipo de erosión ocurre cuando el agua de la escorrentía se acumula en la superficie y termina abriendo pequeños cortes en el suelo, que varían en centímetros o milímetros, los cuales llegan a sobrepasar la capa arable en terrenos agrícolas.

- *Erosión por salpicadura:*

La acción del impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo sin ropa, actúa compactando y destruyendo su composición, haciendo saltar partículas a una determinada elevación, y después serán arrastradas por el río. Este impacto es limitado por la existencia de una cubierta vegetal que salvaguarda el suelo en dos etapas: una de intercepción de las gotas de lluvia y otra, como parte del enraizamiento.

Figura 2

Procesos desencadenados a partir de la salpicadura.



A y B, por salpicadura, C y D con escorrentía. Tomado de *Derpsch et al (1991) en Bienes (2006) citado en Escobar, 2019.*

- *Erosión en cárcavas:*

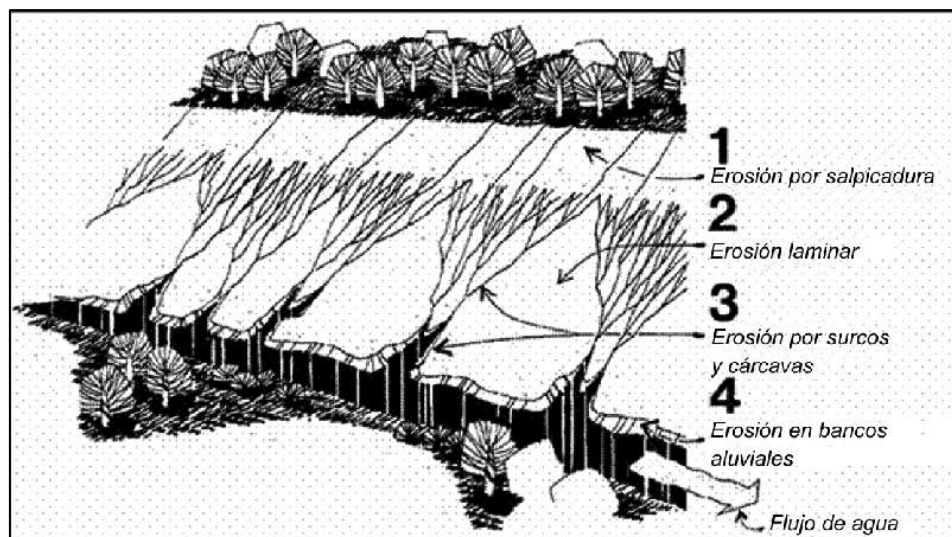
Este tipo de erosión se forma cuando el flujo de la escorrentía abre surcos de gran tamaño (métricos) que progresan tanto en profundidad como en anchura en el suelo. Este problema trae como consecuencia, aparte de la pérdida de suelo, pérdida en la capacidad de reserva de agua.

- *Erosión en bancos aluviales:*

También llamada “Erosión de cursos permanentes”. Se origina a partir de los procesos erosivos que se crean en el lecho de los barrancos o cárcavas (Pizarro *et al*, 2009 citado en Escobar, 2019). Un dato importante es que este tipo de erosión comprende la degradación que acontece en los márgenes y fondos de ríos (Cisneros *et al*, 2012 citado en Escobar 2019).

Figura 3

Tipos de erosión hídrica



Tomado de USDA (2002) adoptado de Pizarro, Morales, Vega, Olivares, Valdés & Balocchi (2009)

Tolerancia a la Pérdida de Suelo

Como expresa Cisneros *et al.*, 2012 citado en Gaitan *et al.*, 2017, la tolerancia de pérdida de suelo es la tasa máxima de erosión que posibilita conservar un elevado grado de productividad. Con respecto a la génesis de suelo, una tasa de erosión tolerable podría ser aquella pérdida de suelo anual equivalente a la tasa de formación del mismo suelo.

Es de suma importancia conocer la estimación de las pérdidas de suelo por

erosión hídrica ya que es una información de suma importancia para la planificación

y toma decisiones para la recuperación de suelo.

Tabla 1

Tolerancia de pérdida de suelo (t/ha/año) de acuerdo al régimen climático y la profundidad del suelo.

Profundidad del suelo (cm)	Húmedo (t/ha/año)	Subhúmedo – Húmedo (t/ha/año)	Subhúmedo-seco (t/ha/año)	Semiárido (t/ha/año)	Árido (t/ha/año)
< 25	2.5	2	1.5	1	0.5
25 – 50	5	4	3	2	1
50 – 100	7	5.5	4	3	2
100 – 150	8.5	7	5	4	3
> 150	10	8	6	5	4

Fuente: Gaitan et al., 2017

Aporte de Sedimentos en una Cuenca Hidrográfica

De acuerdo con Yali (2018), se necesita detectar/identificar las piezas de una cuenca según el comportamiento de la erosión y sedimentación en relación con:

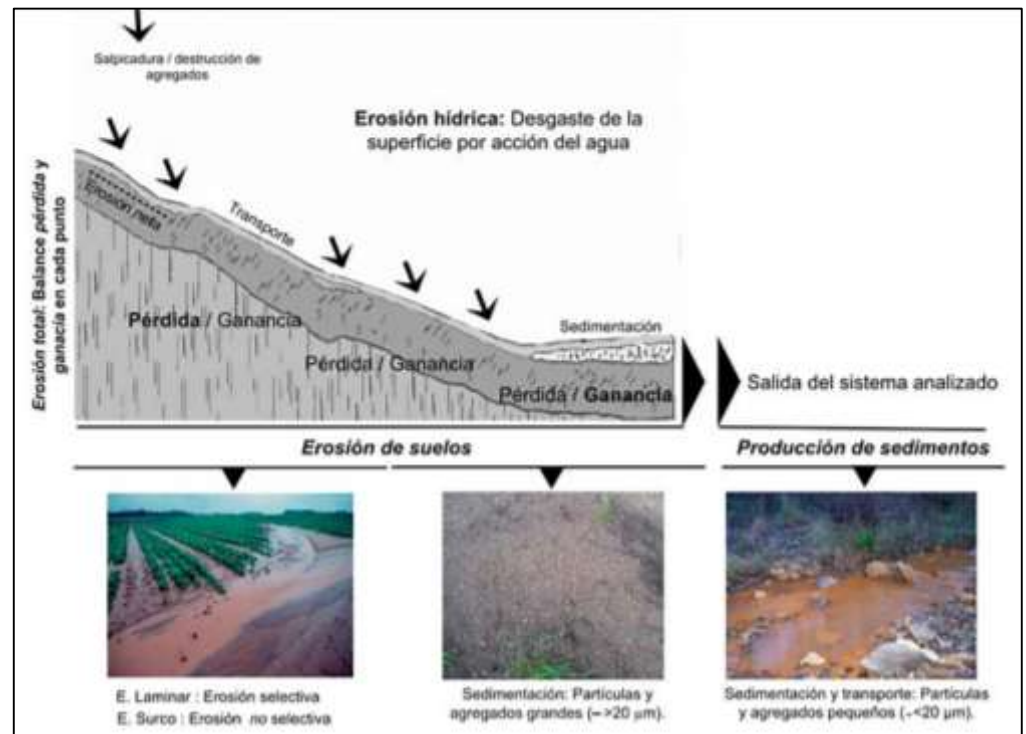
- *Cuenca Alta:* Corresponde a el área donde nace el flujo de agua o río, el cual se desplaza por una enorme pendiente, una de sus primordiales propiedades es que en esta zona se destaca el fenómeno de la socavación, o sea que hay aportación de material terreo hacia las zonas bajas de la cuenca, evidentemente se ven trazas de erosión.

- *Cuenca media*: Es el área de la cuenca en la cual hay una proporción entre el material sólido que llega por la corriente y el material que sale. Claramente no hay erosión.

- *Cuenca baja*: Corresponde al área de la cuenca en la que el agua del río se ralentiza y la energía para el transporte de sedimentos se disminuye de manera considerable. Gran parte del sedimento se acumula en la desembocadura del flujo de agua conformando un delta que se mueve lejos de la costa por las corrientes oceánicas.

Figura 4

Esquema de procesos de erosión/sedimentación en una ladera teórica



Tomado de *Chagas & Behrends (2018)*

Pérdida de suelo

Método de Namba

Una de las formas para calcular la pérdida de suelos, es el *Método de Namba*, el cual calcula el Aporte de Sedimentos en la cuenca (AS) en m^3/km^2 -año con la siguiente fórmula:

$$AS (m^3/km^2\text{-año}) = 0.292 \cdot P + 0.474 \cdot H - 0.118 \cdot F + 2.452$$

En donde intervienen los siguientes parámetros:

P= Precipitación promedio anual (mm)

H= Desnivel máximo de cotas en la cuenca (m)

F= Relación entre áreas de suelo desnudo y las cubiertas con vegetación (%)

Tabla 2

Aporte medio de sedimentos según el tamaño de la cuenca.

Tamaños de cuenca (km^2)	(AS) aporte medio de sedimentos (m^3/km^2 -año)
< 25.9	1810
25.9 a 259.0	762
259.0 a 2590.0	481
> 2590.0	238

Fuente: Bribiesca, Sánchez & González (2018) tomado de Gottshalk (1984).

La tolerancia a la pérdida de suelo es la cantidad de tierra que, expresada en toneladas por unidad de superficie y año, puede perder un perfil edáfico manteniendo su nivel de productividad actual durante un largo periodo de años (FAO, 1967). La siguiente tabla servirá para hacer la comparación de los futuros resultados aplicando el método de Namba.

Tabla 3

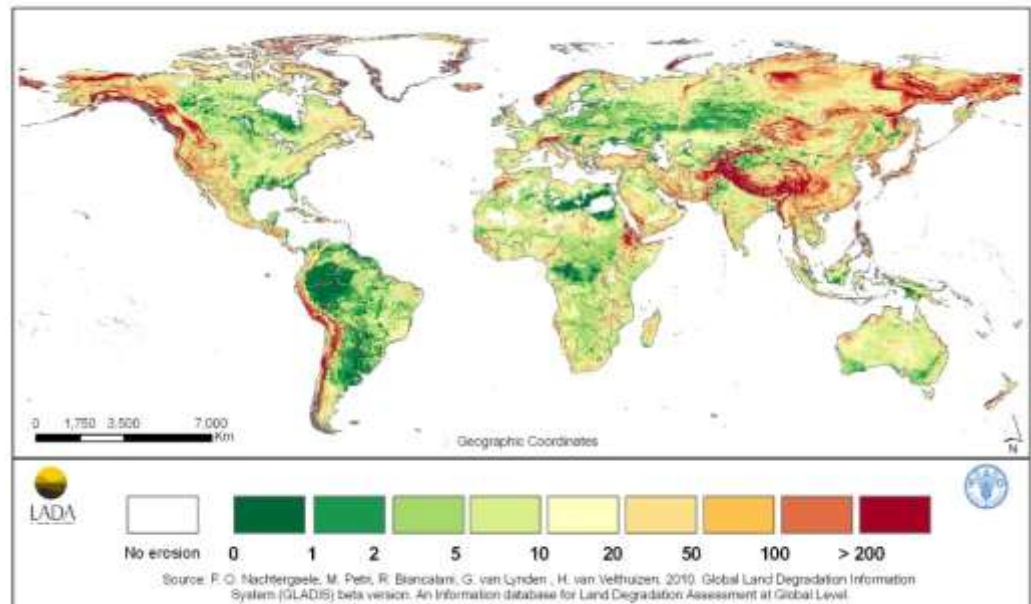
Riesgos de erosión de acuerdo a las pérdidas de suelo establecido por la FAO

Grado	Riesgo de erosión	Pérdidas de suelo t/ha/año
1	Normal	< 0.5
2	Ligera	0.5 – 5
3	Moderada	5 – 15
4	Severa	15 – 50
5	Muy Severa	50 – 200
6	Catastrófica	> 200

Tomado de FAO (1980)

Figura 5

Predicción de pérdidas de suelo en t/ha/año



Tomado de *FAO*

Como podemos ver en la Figura 5, gran parte de nuestro país se encuentra en un nivel *Catastrófica* de pérdidas de suelos, siendo los departamentos ubicados en la parte costera del Perú los que están dentro de esta clasificación.

Cuenca Hidrográfica

Como lo hace notar la Autoridad Nacional del Agua (ANA, s.f.), una cuenca hidrográfica es un área delimitada por un límite topográfico bien preciso (parte aguas). Es una región geográfica donde las condiciones hidrológicas son tales que el agua se junta en un punto en específico desde el cual la cuenca se drena. En este límite topográfico, la cuenca muestra un complejo de suelos, geoformas, vegetación y uso de la tierra.

Este es un entorno tridimensional que integra las colaboraciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el ámbito de la línea divisoria de las aguas.

En la cuenca hidrográfica se hallan los recursos naturales y la infraestructura construida por los individuos, en las cuales desarrollan sus ocupaciones económicas y sociales generando diferentes efectos favorables y no favorables para el beneficio humano. No existe ningún lugar de la tierra que no pertenezca a una cuenca hidrográfica.

Figura 6

Morfología de una cuenca hidrográfica



Tomado de *Aquabook* y adaptado por *Velasquez Ocaña Rafael (2013)*

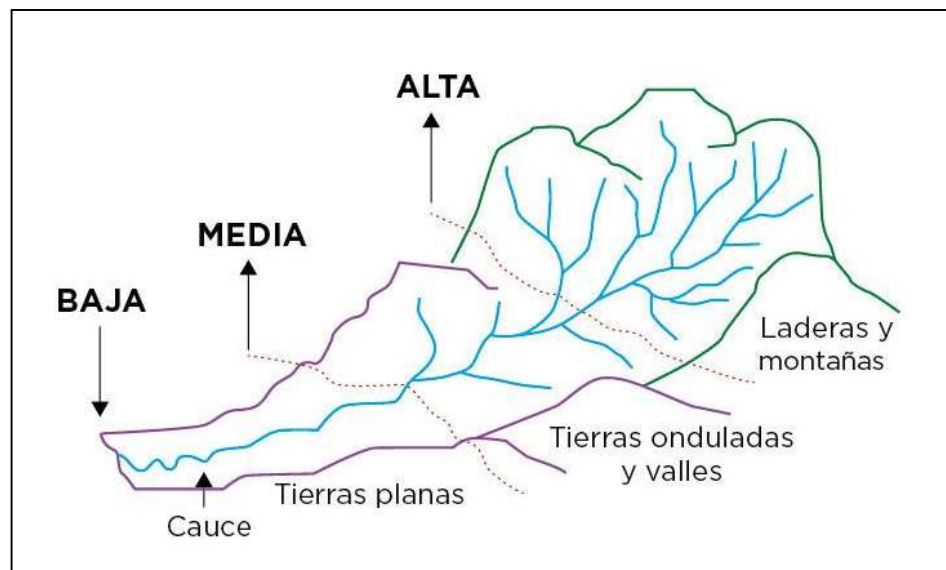
Partes de una cuenca

De acuerdo con Aquabook (s.f) considera lo siguiente:

- **Cuenca Alta:** Generalmente corresponde a zonas montañosas o a las cabeceras de los cerros que están limitadas en su parte superior por líneas divisorias de aguas. En estas áreas, las pendientes son altas, los valles estrechos y los procesos fluviales que prevalecen son erosivos.
- **Cuenca Media:** Acá el río principal mantiene un curso más definido. Debido a que la pendiente es menos alta que en la cuenca alta, los procesos erosivos son más moderados. En esta zona el cauce principal recibe aportes de cauces menores.
- **Cuenca Baja:** En esta zona se produce un cambio notorio de pendiente en comparación con la cuenca alta y media. El recorrido del río principal es disperso u ondulado hasta lograr desembocar en zonas bajas, como el océano u otro cuerpo de agua.

Figura 7

Partes de una cuenca hidrográfica

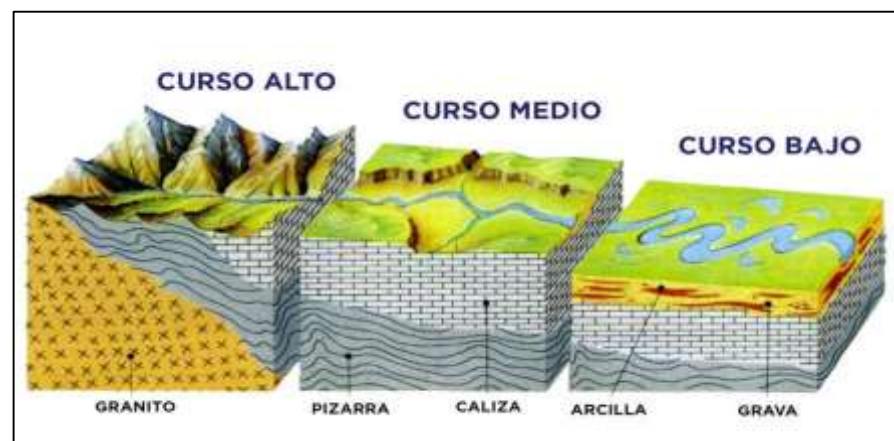


Tomado de Aquabook y adaptado por World Vision-Manual de Manejo de Cuencas

Una cuenca alta se considera a partir de una altura aproximada de 2800 m.s.n.m., cuenca media desde los 1100 m.s.n.m. y la cuenca baja parte desde los 1 100 m.s.n.m. y termina hasta su desembocadura en un cuerpo de agua el cual es de 0 m.s.n.m., lo cual, si es una cuenca exorreica, sus aguas desembocaran en el océano, siendo así su altura mínima 0 metros. (Dr. Fernando Ugaz, Comunicación personal, marzo de 2019) y según la Figura 22 del Modelo de Elevación DEM de la Cuenca Alta del Río Moche, que lo puede encontrar más adelante de la presente investigación, podemos ver que la altura máxima de la cuenca del río moche es de 4280 m.s.n.m.; este dato junto con la altura mínima de 2800 m.s.n.m., nos dará el desnivel máximo de cotas en la cuenca alta del río moche, dato importante para hallar la erosión hídrica de las áreas de estudio.

Figura 8

Perfil longitudinal de un río.



Tomado de Aquabook y adaptado por <http://la-materia-rocas-y-minerales.webnode.es/las-aguas/>,

Cuenca del Río Moche

a. Ubicación Política

La cuenca del río Moche, políticamente, se encuentra ubicada en el departamento de La Libertad, esta abarca 4 provincias y 22 distritos. Dentro de las provincias están: Trujillo, Otuzco, Santiago de Chuco y Julcán, sobre una superficie aproximada de 2134 km² (ver ANEXO n.º 3).

b. Ubicación Geográfica

La cuenca del río Moche tiene una extensión total de 2134 km², con un perímetro de 264.283 km y un ancho de aproximadamente de 25 km. Su río principal es el Río Moche que posee una forma desigual, con una longitud de 102 km y una pendiente promedio de 4%, siendo su nacimiento la laguna Grande (25.34 ha) que se halla ubicada próxima al distrito de Quiruvilca a una altura aproximada de 3898 m.s.n.m. (SEDALIB, 2018). La cuenca del Río Moche viene a ser una cuenca exorreica ya que sus aguas desembocan en el Océano, en este caso en el Océano Pacífico, así como el 90% de las cuencas del Perú.

Según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (s.f.), la altura máxima de esta cuenca es de 4280 m.s.n.m. que corresponde a la línea de cumbres de la Cordillera Occidental de los Andes. Sus coordenadas están ubicadas entre los 7°46' y 8°15' de Latitud Sur y los 78°16' y 79°08' de Longitud Oeste. Siendo en coordenadas Universal Transversal del Mercator

“IMPACTOS NEGATIVOS DE LA EROSIÓN HÍDRICA MEDIANTE EL APOORTE DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO MOCHE, LA LIBERTAD, 2020”
(UTM WGS-84) entre los 801490.8 y 705613 m Este, y entre los 9140525 y 9087583.4 m Oeste.

Tabla 4

Características generales de la Cuenca del Río Moche

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
NOMBRE DE LA CUENCA	Moche
VERTIENTE HIDROGRÁFICA	Pacífico
SUPERFICIE (Km ²)	2134
PERÍMETRO	264.282
RIO PRINCIPAL	Moche
LONGITUD DEL RIO PRINCIPAL (Km)	102
ALTITUD MÁXIMA	4280 m.s.n.m.
	MARGEN DERECHA:
	Lagunas Grandes; Y San Lorenzo. Ríos: Motil, Chota, Huangamarca, Pollo, Otuzco, La Cuesta, Sinsicap y Quebarada Cashmun.
AFLUENTES PRINCIPALES	
	MARGEN IZQUIERDO:
	Quebrada San Felipe, Quebrada Agua Dulce.
PRINCIPALES ACTIVIDADES	Agrícola, minera, industrial y otras

Fuente: Administración Local Del Agua Moche Virú Chao, 2016

c. Ubicación Hidrográfica

El río Moche pertenece al sistema hidrográfico del Pacífico, asimismo nace en la Laguna Grande, sobre los 3898 m.s.n.m. con el nombre del Río Grande, adoptando posteriormente los nombres de Río San Lorenzo y Río Constancia; a la altura de la localidad de San Juan toma el nombre de Río Moche, el mismo que conserva hasta su desembocadura en el mar. La cuenca comprende un área de drenaje de 2708 km² y una longitud de recorrido de 102 km. Con una pendiente promedio de 4% (SEDALIB, 2018).

La cuenca río Moche, limita por:

- Norte: cuenca del río Chicama
- Sur: cuenca del río Virú
- Este: cuenca del río Santa
- Oeste: Océano Pacífico
- Noroeste: Intercuenca 137719
- Suroeste: Intercuenca 137715

(Ver ANEXO n.º 4)

d. Principales fuentes superficiales

Según SEDALIB 2018

A lo largo de la cuenca del Río Moche se encuentran 5 fuentes superficiales representativas, los cuales sus pendientes varían según su ubicación.

Tabla 5

Principales fuentes superficiales de la cuenca del Río Moche

N°	Nombre	Longitud (Km)	Pendiente (%)
1	Río Moche	102	3.73
2	Río Sinsicap	39.13	9.59
3	Río Otuzco	24.74	4.48
4	Quebrada Catuay	19.47	8.97
5	Río Motil	24.11	4.32

Fuente: Gestión Integrada de Agua de Riego en la cuenca baja del Río Moche (2015) tomada de SEDALIB (2018).
Elaboración propia.

e. Caudales

De acuerdo con el Diagnóstico hídrico rápido de la cuenca del río moche como fuente de agua y servicios ecosistémicos hídricos para la EPS SEDALIB S.A (2018), las descargas del río Moche muestran claras diferencias en sus valores extremos, siendo el caudal *máximo* instantáneo de 53.02 m³/s, la *mínima* cero y con un *promedio* de 4.97 m³/s que equivale a un volumen promedio anual de 154.587 millones de metro cúbicos (MMC).

Según el Informe Técnico del ANA elaborado en el año 2016, citado en Rodríguez (2019), en los puntos de monitoreo de la cuenca alta ubicados en el Río Pollo (RPoll1) la turbidez del cuerpo de agua fue de 84.36 NTU y 81.63 mg/L de sólidos totales, en el punto del Río Motil (RMoti) la turbidez fue de 92.71NTU y 87.26 mg/L de sólidos totales, finalmente, en el punto del afluente Río Moche (RMoch3) obtuvo como resultado 105.27 NTU y 102.61 mg/L de sólidos totales. En la cuenca media, el punto de monitoreo del Río Moche (RMoch13) la turbidez fue de 94.62 NTU y los sólidos totales, de 82.63 mg/L. Finalmente, en la cuenca baja, los puntos de monitoreo del mismo río (RMoch7) la turbidez fue de 119.26 NTU y 104.27 mg/L de sólidos totales, y los puntos RMoch8 y RMoch9 tuvieron 117.53 NTU y 118.26 NTU respectivamente, con valores de 102.72 mg/L y 106.26 mg/L de sólidos totales respectivamente, siendo el punto de monitoreo RMoch9, el desemboque al océano pacífico. (Ver ANEXO n° 22: Mapa de la red de puntos de monitoreo en la cuenca del río Moche)

f. Actividades Económicas

En base a la información obtenida por SEDALIB (2018), se ha determinado lo siguiente:

- ✓ *Producción agroindustrial:* En la cuenca baja del río Moche se ubican las plantas agroindustriales procesadoras y envasadoras de diversos productos agrícolas para la

exportación (espárragos, pprika, ajíes, cebollas, alcachofas, etc.), estando entre las principales empresas agroindustriales Danper Trujillo y Napal Perú, entre otras. También, aquí se encuentra la planta agroindustrial más importante llamada El Ingenio Azucarero “Manuelita” (Ex complejo agroindustrial Laredo), la misma que se dedica a la siembra de caña de azúcar y a la producción de azúcar para el consumo humano directo y para el consumo industrial, además de producir alcohol, melaza, ron, etc., como sub productos.

- ✓ *Producción Agrícola:* La agricultura, caza y silvicultura participa con el 26,8 % en la estructura del Producto Bruto Interno del departamento de La Libertad y con el 5,5 % del PBI a nivel nacional. La cuenca del río Moche está constituido generalmente por cultivos industriales (como la caña de azúcar, espárragos, frutales, etc.), hortalizas y legumbres. Según el Compendio estadístico de La Libertad, en la parte alta de la cuenca del río Moche, en Otuzco y Julcán, se cultiva cebada, maíz amarillo duro y amiláceo, papa y trigo. Durante el año 2000, en el valle de Moche se sembraron un total de 8.272 Ha, de los cuales 6.121 Ha, pertenecieron a la caña de azúcar y 1.202 al maíz amarillo duro.
- ✓ *Producción pecuaria:* En la cuenca alta del río Moche existe la ganadería extensiva, tanto de ovinos como de vacunos. En la parte baja de la cuenca se conducen establos de ganado vacuno para la producción de leche y de carne, localizados en

el distrito de Huanchaco, Trujillo, Laredo y Moche. También existen grandes granjas avícolas como El Rocío, Razzeto, La Perla, Agropecuaria Chimú, etc.

- ✓ *Minería:* La principal actividad minera en la cuenca alta del río Moche fue desarrollada por la minera Quiruvilca, perteneciente a la empresa Nor-Perú, cuyo accionista mayoritario fue Pan American Silver de Canadá. Esta unidad procesaba 1 725 TPD, siendo los minerales más procesados el cobre, plomo y zinc. Las soluciones residuales de esta planta eran neutralizadas con cal antes de ser vertidas al río Moche. El 0.92 % de la población ocupada (1 783 personas), se encontraban trabajando en minas y canteras. El distrito de Quiruvilca abarcaba el 64.44 % del total de la fuerza laboral de esta actividad otorgando trabajo a un total de 1 149 personas. Actualmente la mina ha cerrado sus operaciones porque se declaró en quiebra, dejó de operar el pasado 17 de diciembre del 2017 dejando sin pago a 420 trabajadores. Debido a esto, se está extendiendo la minería informal, según estimaciones de las autoridades de la zona, un promedio de mil personas labora en socavones situados en los cerros. Shorey viene atravesando una terrible contaminación debido a la caída de relaves mineros y existencia de aguas ácidas. No hay apoyo a la población y existe un gran problema con la contaminación del Río Moche a causa de los relaves mineros de las mineras formales e informales.

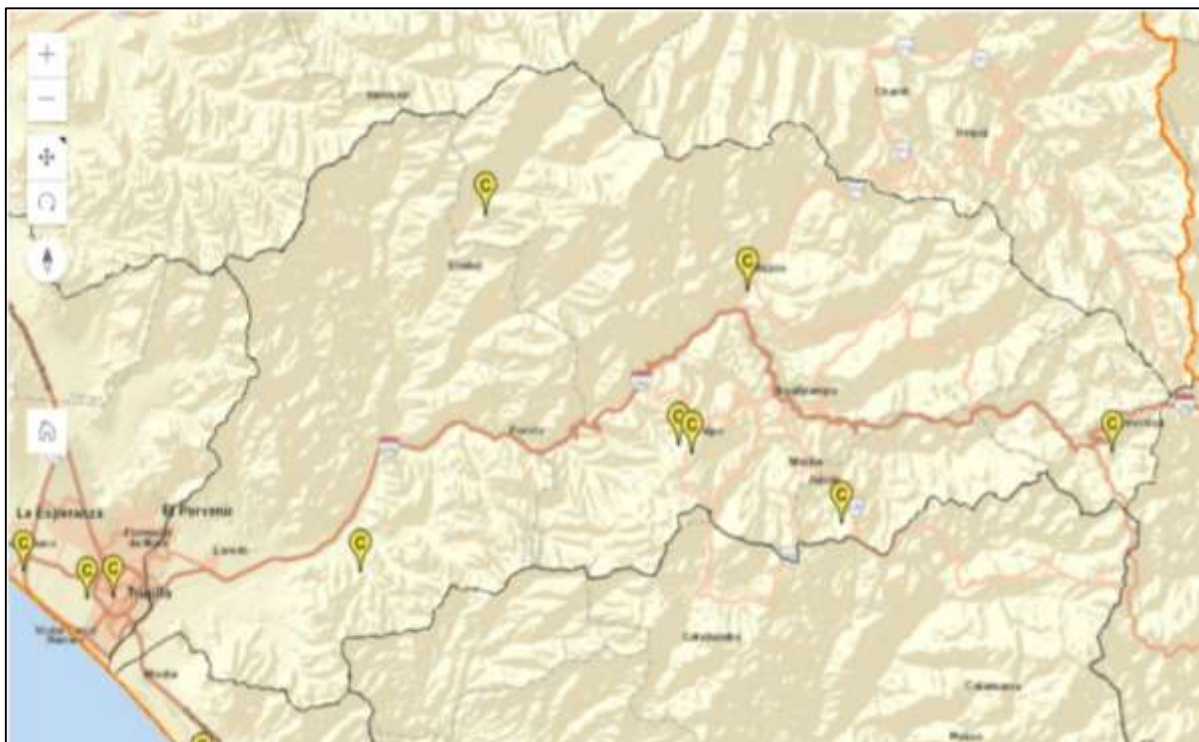
- ✓ *Otras Actividades:* La manufactura es una actividad principal en la parte baja de la cuenca, principalmente la de confecciones de calzado, siendo el distrito de El Porvenir su principal sede de esta actividad. También se da la pesca artesanal en muchas playas de la costa Liberteña.

g. Estaciones meteorológicas de la cuenca alta del Río Moche

Con la ayuda de la página de la ANA – Visor de Estaciones y la página del SENAMHI, se reconocieron siete estaciones climáticas convencionales dentro de la cuenca del Río Moche, dentro del cual solo cinco se encuentran ubicadas en la cuenca alta.

Figura 9

Estaciones meteorológicas de la cuenca del Río Moche



Tomado de ANA

Tabla 6

Estaciones meteorológicas de la cuenca alta del Río Moche

ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE CUENCA DEL RIO MOCHE							
ESTACIÓN	CÓDIGO	LATITUD	LONGITUD	TIPO 1	TIPO 2	ESTADO	ALTURA (m.s.n.m)
Sinsicap	153206	-7.850917	-78.755944	CONVENCIONAL	CLIMÁTICA	Operativo	2307
Otuzco	000361	-7.9	-78.566667	CONVENCIONAL	CLIMÁTICA	No operativo	2635
Salpo	154100	-8	-78.616667	CONVENCIONAL	CLIMÁTICA	No operativo	3400
	000398	-8.005333	-78.607111	CONVENCIONAL	CLIMÁTICA	Operativo	3458
Julcán	154101	-8.05	-78.5	CONVENCIONAL	CLIMÁTICA	Operativo	3500
Quiruvilca	154102	-8.004222	-78.307722	CONVENCIONAL	CLIMÁTICA	Operativo	3950

Elaboración propia en base a la información de la ANA.

A continuación, se muestran las siguientes tablas con los datos de algunos parámetros

meteorológicos del distrito de los últimos 22 años en el distrito de Salpo:

Temperatura máxima periodo 1998 – 2020: Estación Salpo

Tabla 7

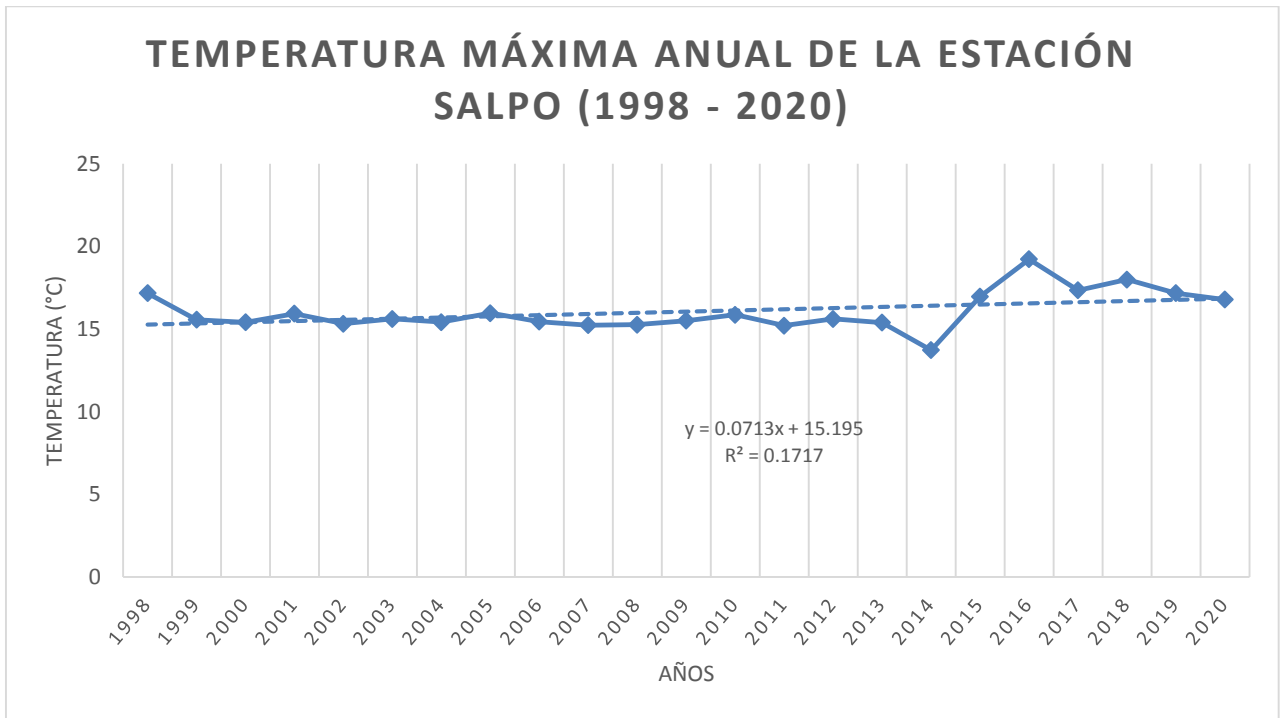
*Temperatura máxima, periodo
1998 - 2020: Estación Salpo*

Año	T° Máxima (C°)
1998	17.17
1999	15.56
2000	15.41
2001	15.93
2002	15.32
2003	15.61
2004	15.42
2005	15.96
2006	15.45
2007	15.23
2008	15.26
2009	15.51
2010	15.87
2011	15.20
2012	15.61
2013	15.40
2014	13.72
2015	16.97
2016	19.22
2017	17.35
2018	17.99
2019	17.17
2020	16.78
Promedio	16.05

Elaboración propia tomado de la
ANA.

Figura 10

Temperatura máxima anual, periodo 1998 – 2020: Estación Salpo



Elaboración propia.

Temperatura mínima periodo 1998 – 2020: Estación Salpo

Tabla 8

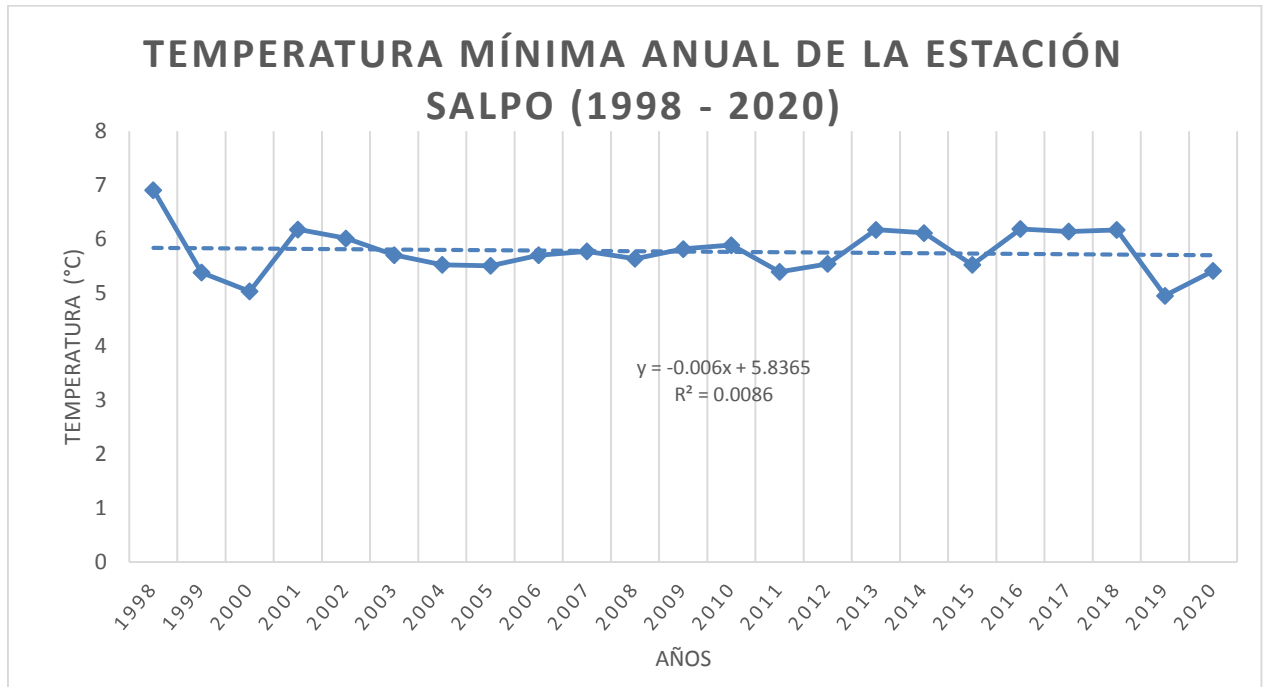
*Temperatura mínima,
periodo 1998 – 2020:
Estación Salpo*

Año	T° Mínima (C°)
1998	6.91
1999	5.38
2000	5.03
2001	6.18
2002	6.01
2003	5.70
2004	5.52
2005	5.50
2006	5.70
2007	5.77
2008	5.63
2009	5.81
2010	5.89
2011	5.39
2012	5.54
2013	6.17
2014	6.11
2015	5.52
2016	6.19
2017	6.14
2018	6.17
2019	4.95
2020	5.41
Promedio	5.75

Elaboración propia tomado de la ANA.

Figura 11

Temperatura mínima anual, periodo 1998 – 2020: Estación Salpo



Elaboración propia.

I.2. Formulación del problema

¿Cuáles son los impactos negativos de la erosión hídrica a consecuencia del aporte de sedimentos en la Cuenca Alta del Río Moche, La Libertad, 2020?

I.3. Objetivos

Como *objetivo general* se determinará los impactos negativos de la erosión hídrica mediante el aporte de sedimentos en la cuenca alta del río Moche, La Libertad, 2020. Adicional a ello, como *objetivos específicos* se planteó determinar la cantidad de suelo perdido, analizar la pérdida de suelo generado en los años 2003, 2013 y 2020, y por último, proponer medidas de mitigación para evitar o disminuir la pérdida de suelo en la Cuenca Alta del Río Moche.

Ver ANEXO n° 1: Matriz de Consistencia

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Enfoque: Cuantitativo

Alcance: Descriptivo

Diseño: No experimental - Longitudinal

Tomando como guía a Hernández Sampieri (2014), la presente investigación tiene un enfoque *cuantitativo*, debido a que se realizó una recolección de datos para probar las hipótesis propuestas respecto a la erosión hídrica en la cuenca alta del Río. También tiene un alcance *descriptivo*, ya que se especificó las propiedades y características del fenómeno de la erosión hídrica y su aporte de sedimentos en la cuenca alta del Río Moche. Y, por último, tiene un diseño *no experimental - Longitudinal*, porque se recopilaron datos de la precipitación diaria, mensual y anual de 22 años atrás, para realizar inferencias acerca de la variación de las precipitaciones (oferta de agua), con el propósito de determinar cómo influye en los impactos negativos de la erosión hídrica mediante el aporte de sedimentos en los últimos 22 años en la cuenca alta del Río Moche.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

Para la presente investigación, se tomó como población perteneciente a la Cuenca alta del Río Moche que abarca un área aproximada de 904 Km² con el distrito de Otuzco, Agallpampa y Mache pertenecientes a la provincia de Otuzco del departamento de La Libertad.

2.2.2. Muestra

Se consideraron como muestra dos áreas de estudio: área 1 y área 2, los cuales tienen como principal característica su ubicación cercana a los ríos, en este caso a río Pollo y río Moche. Estos puntos son:

- Área 1: **Zona Desnuda** con un área de 1 km², localizado en el distrito de Otuzco. Río Pollo, afluente al Río Moche.
- Área 2: **Zona Verde** con un área de 1 km², en los distritos de Agallpampa con Mache. Río Moche y Río Motil, afluente al Río Moche.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

a. Ubicación del área de estudio

La ubicación del área de estudio se realizó previa identificación de zonas verdes y desnudas ubicadas en la cuenca alta de Moche, eligiéndose las que estuvieran más cercanas a los ríos de las quebradas. Para ello se cuenta con:

- ✓ Un mapa de ubicación de la zona realizada mediante Google Earth.
- ✓ Ubicación de coordenadas UTM.

b. Elaboración de mapas temáticos

Mediante geo portales nacionales del Instituto Geográfico Nacional, obtuvimos datos en formatos shape y raster, esenciales para poder elaborar mapas temáticos de la cuenca alta de Río Moche. La información obtenida a base de los mapas hechos se usó para darle base a la investigación y también para ser usada en la discusión del presente tema.

- ✓ Geo portales
- ✓ Shapes y ráster
- ✓ Arcgis

c. Recolección de información climática del área de estudio

Mediante el Visor de Estaciones del portal del Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH) de la ANA en se obtuvo información climática variada de las estaciones cercanas al área de estudio ubicadas en la cuenca alta. Además, también se usaron los datos meteorológicos del Portal del SENAMHI para complementar la información climática de los tiempos faltantes del Portal de Estaciones de la ANA. Toda la información relacionada se detalló en una hoja de Excel mediante tablas dinámicas para una mejor lectura y resultado.

- ✓ Hojas de Excel

Ver ANEXO n° 2: Matriz de Operacionalidad

2.4. Procedimiento

a. Ubicación de la zona de estudio

Mediante el programa Arcgis se ubicó la Cuenca del Río Moche, sus distritos, así como los ríos y quebradas que la conforman. Asimismo, se determinó el área de la cuenca, siendo esta 2134 km², con una altura máximo de 4280 m.s.n.m.

Figura 12

Cuenca del Río Moche



Elaboración propia.

La presente investigación se enfocó dentro de la cuenca del Río Moche, específicamente en la *Cuenca Alta*, que cuenta con un área aproximada de 904 km², ya que el problema se centra en la erosión hídrica, la cual es más evidente en la parte alta de la cuenca. Por ello, se identificó los distritos que conforman la parte alta de la misma, para luego ubicar el establecimiento de las áreas de estudio pertinentes. Según la información obtenida de los formatos geográficos del Instituto Geográfico Nacional, del cual se elaboraron mapas temáticos en Arcgis, la altura máxima de la cuenca del Río Moche es de 4280 m.s.n.s.m. con una altura mínima es de 0 m.s.n.s.m. la cual desemboca en el Océano Pacífico

en la ciudad de Trujillo. Esta información también fue corroborada usando el programa de Google Earth.

Figura 13

Distritos de la Cuenca Alta del Río Moche



Elaboración propia.

b. Ubicación de las áreas de estudio

Se ubicaron las áreas más adecuadas para hacer el estudio correspondiente, teniendo en cuenta que estén ubicados en la parte alta de la cuenca, además de estar dentro del radio de 15 km de la estación meteorológica escogida.

Tabla 9

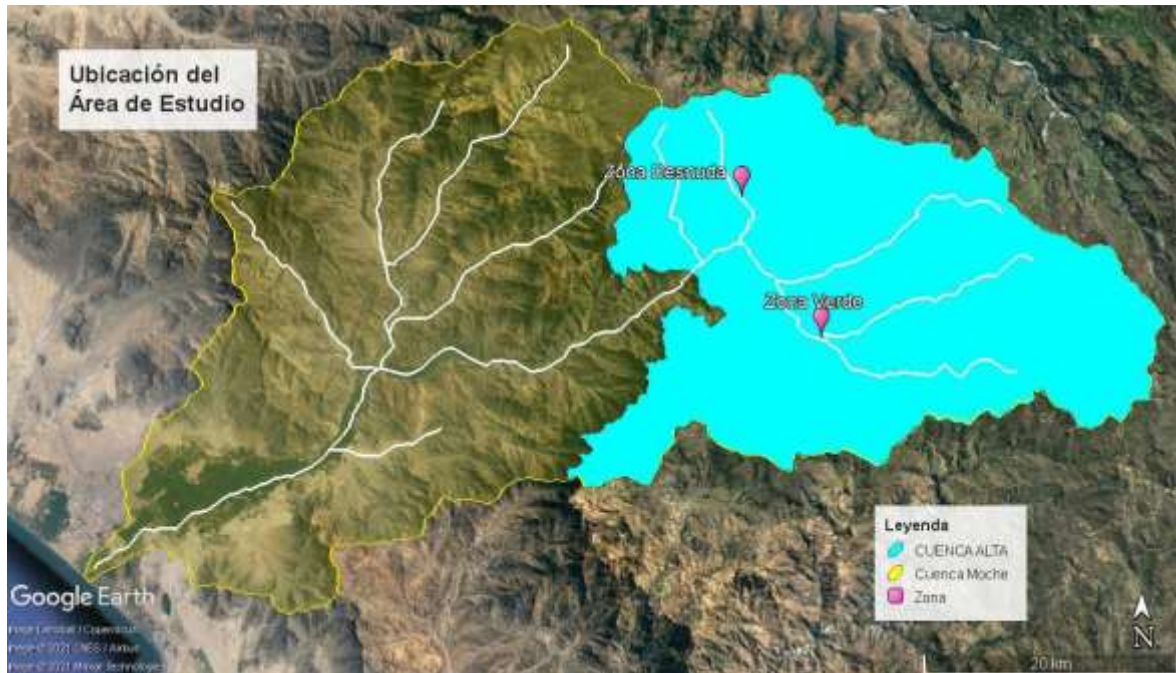
Coordenadas del área de estudio

Área	Coordenadas UTM	
Zona Verde	774190.00 m E	9115663.00 m S
Zona Desnuda	768005.00 m E	9126678.00 m S

Elaboración propia.

Figura 14

Ubicación del área de estudio: zona desnuda y zona verde



Elaboración propia.

c. Estudio de las estaciones meteorológicas

En base a la información obtenida del portal de la ANA y el SENAMHI, se escogió la estación meteorológica de Salpo debido a que es la única estación operativa que contiene los datos meteorológicos actualizados de los últimos 22 años, los cuales fueron de precipitación, además de los datos de temperatura máxima y mínima, velocidad de viento y humedad relativa. Cabe aclarar que no se consideraron la información de las otras estaciones de la cuenca alta debido a que no tenían datos completos por lo que no eran confiables para el procedimiento de la investigación.

Tabla 10

Estación meteorológica de Salpo

ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE CUENCA DEL RIO MOCHE							
Estación	Código	Coordenadas UTM		Tipo 1	Tipo 2	Estado	Altura (m.s.n.m)
SALPO	000398	763765.2 m E	9114345.2 m S	Convencional	Climática	Operativo	3458

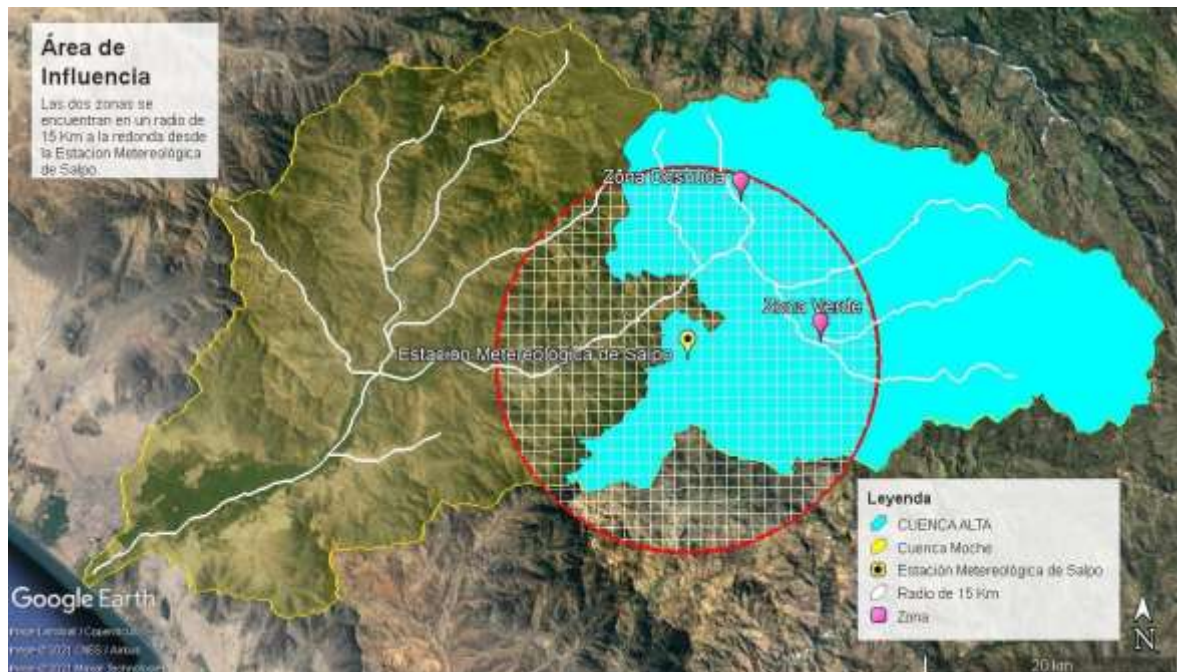
Elaboración propia en base a la información de la ANA y SENAMHI

d. Área de Influencia

Se determinó el área de influencia en base a un radio de 15 km que abarcó las áreas de estudio de la zona desnuda y la zona verde a partir de la Estación Meteorológica de Salpo de la Estación Meteorológica de Salpo, del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI); además de crear el radio de 15 km, también se creó una malla de 1 km² que cubrió toda el área de influencia, esta malla nos ayudó más adelante en la delimitación de las áreas de las dos zonas de estudio.

Figura 15

Área de influencia



Elaboración propia.

e. Delimitación de áreas de las zonas de estudio

A continuación, se usó el programa de Google Earth para poder obtener las imágenes satelitales de las dos zonas de estudio, escogidas como muestras para el presente estudio, y así delimitar las áreas las áreas verdes y desnudas de los años 2003, 2013 y 2020, datos relevantes para poder usar el Método de Namba y obtener el aporte de sedimentos de las zonas de estudio.

Cabe resaltar que, para delimitar las áreas de las zonas de estudio se creó una malla de 1 km² que cubrió toda el área de influencia. Para visualizar las imágenes delimitadas realizadas en Google Earth, lo pueden encontrar en los ANEXOS N° 6 al 17.

- **Zona Verde**

Figura 16

Delimitación del Área Desnuda en la Zona Verde del año 2003



Elaboración propia.

Figura 17

Delimitación del Área Desnuda en la Zona Verde del año 2013



Elaboración propia.

Figura 18

Delimitación del Área Desnuda en la Zona Verde del año 2020



Elaboración propia.

- **Zona Desnuda**

Figura 19

Delimitación del Área Verde en la Zona Desnuda del año 2003



Elaboración propia.

Figura 20

Delimitación del Área Verde en la Zona Desnuda del año 2013



Elaboración propia.

Figura 21

Delimitación del Área Verde en la Zona Desnuda del año 2020



Elaboración propia.

f. Cálculo de la Pérdida de Suelo

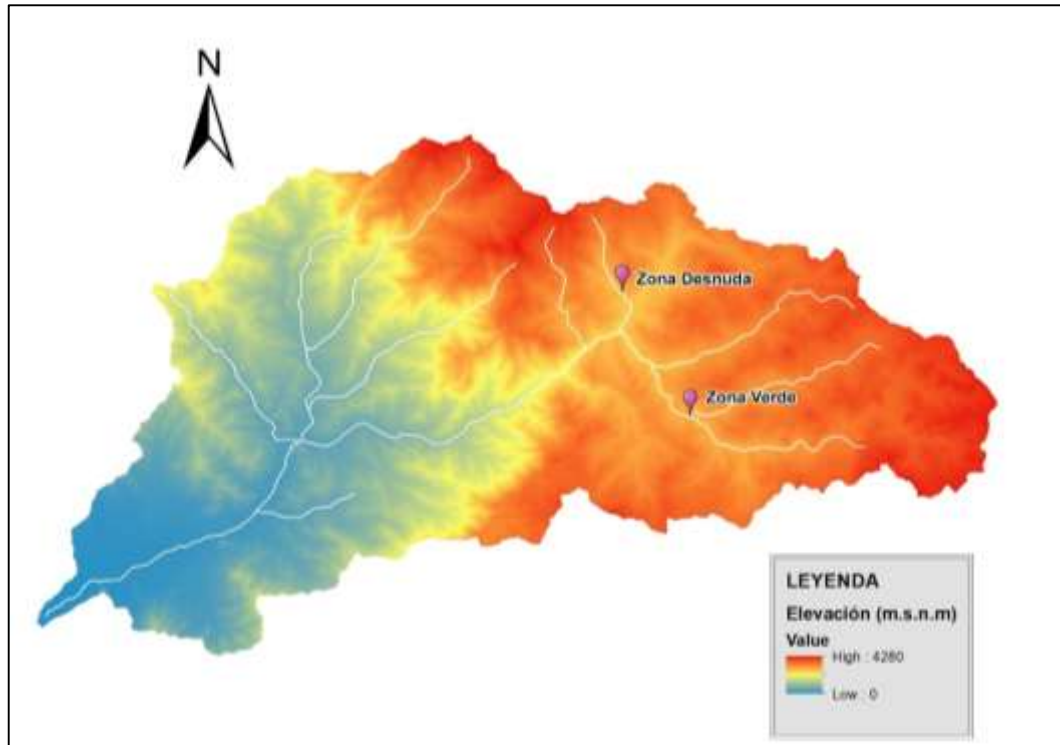
Para calcular la pérdida de suelo, se tomaron datos de las dos áreas de estudio: Zona verde y zona desnuda, para luego realizar los cálculos con la fórmula correspondiente al *Método Namba*. Para ello se consideró los datos de información de la precipitación promedio anual de los últimos 22 años, el desnivel máximo de cotas en la cuenca alta además de la relación entre áreas del suelo desnudo y las áreas cubiertas con vegetación.

También, para realizar los cálculos por el Método de Namba, se necesitaron los datos de Elevación de las zonas de estudio para calcular la diferencia de altura entre el punto más alto y el más bajo de la cuenca alta. Es por ello que, usando la información de los geo portales, se elaboró un modelo de elevación DEM de la cuenca alta del Río Moche (**Figura 22**) y, de acuerdo a ello, se tomó la altura de 2800 m.s.n.m como la elevación mínima de la parte alta de la cuenca para ambas zonas de estudio, para luego restarla con el punto más alto de la cuenca, el cual

viene a ser la cabecera de esta, teniendo una altura de 4280 m.s.n.m. Para visualizar más a detalle el modelo DEM, invito a ver el ANEXO n.º 5.

Figura 22

Modelo de Elevación DEM de la Cuenca Alta del Río Moche



Elaboración propia.

En primer lugar, los volúmenes de las áreas de estudio obtenidos mediante el método de Namba, se compararon en base a la Tabla 2 el cual pertenece al “Aporte medio de sedimentos según el tamaño de la cuenca”. Luego de ello, se procedió a hacer la conversión de unidades a t/ha/año, ya que se comparó con la Tabla 3 que pertenece a la “Riesgos de erosión de acuerdo a las pérdidas de suelo establecido por la FAO”.

g. Precipitación de la estación meteorológica de Salpo

Precipitación periodo 1998 – 2019: Estación Salpo

De acuerdo a los datos de la precipitación obtenidos de la información de la estación meteorológica de Salpo del SENAMHI, se detallaron las precipitaciones acontecidas mensuales por cada año dentro del periodo aproximado de 22 años (1998 - 2020), tal como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 11*Precipitación (mm) mensual por año, periodo 1998 – 2020: Estación Salpo*

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Set	Oct	Nov	Dicie	Total general	Promedio
1998	182.9	267	325.3	117.2	34	10.9	2.2	17.1	39.1	52.1	13.6	26.4	1087.8	90.65
1999	108.1	240.9	54.4	93.6	57.5	13.5	13.3	0.5	40.1	32.5	11.1	37	702.5	58.54
2000	56.8	152	147.5	122.1	85.1	22.7	3.6	31.1	30.1	69.5	24.7	112.8	858	71.50
2001	134.2	107.6	233.2	151.9	29.4	19.1	9.1	0.3	58.1	23.9	46.7	43.4	856.9	71.41
2002	51.4	135.1	152.3	89.8	14.5	30.3	0.3	0	2.9	79.8	107.7	53.5	717.6	59.80
2003	82.5	88.8	124.2	76.1	12.7	23.4	13.2	0	2.2	6	26.3	46.8	502.2	41.85
2004	10	73.5	123.6	43.4	15.5	0.2	5.9	0	18.5	69.6	27.8	71.3	459.3	38.28
2005	65.3	58.1	95.5	104.6	1.9	0.9	0	9.8	7.7	31.5	17.3	39.5	432.1	36.01
2006	65.6	132.8	267.5	80.9	27.7	19.2	0	26.2	36.3	7.8	63.9	31.5	759.4	63.28
2007	142.6	49.3	141.8	97.4	20.4	0	6.1	16.3	15.8	55.6	73.7	27.3	646.3	53.86
2008	108.5	135.5	145.5	138.1	5.9	14.9	7.4	10.8	11.6	52.1	109.5	2	741.8	61.82
2009	184.9	112.5	149.4	113.2	17.7	5.4	17.4	6	1.9	98.1	47.5	43.6	797.6	66.47
2010	80.5	109.6	84.4	111.6	27.6	23.1	2	5.4	37.9	15.1	34.3	39.7	571.2	47.60
2011	71.4	41.5	55.8	167.8	12.6	5.4	12.9	2	8.4	29.9	51.8	52.7	512.2	42.68
2012	77.4	196.8	159.7	100.7	40.4	7.8	0	2.4	4.4	53.4	32.1	50.4	725.5	60.46
2013	114.5	124.4	209.8	42	28.4	3.7	0	0	6.8	123.3	2.5	68.6	724	60.33
2014	32	47.5	144	95	38.9	17.5	8.8	10.2	42.5	32	57.9	116.5	642.8	53.57
2015	95.7	89.2	168.6	95.2	43.5	7.4	11.1	0	6.2	54	85.6	134.8	791.3	65.94
2016	43.4	155.3	85.3	84.5	11.9	0.8	0	0	41	47.5	4.6	27	501.3	41.78
2017	72.6	130.9	408.9	110.5	53	10.5	0.3	14.5	11.4	46	17.2	21.1	896.9	74.74
2018	0									11.5	27	98.5	137	34.25
2019	62	147	124	32	29.5	3	17.5	0	31	42	19.5	88	595.5	49.63
2020	26.5	45.1	52.7	100.5	33	0	8	1	16.5	50.5	29.5	109.5	472.8	39.40
Total general	1868.8	2640.4	3453.4	2168.1	641.1	239.7	139.1	153.6	470.4	1083.7	931.8	1341.9	657.91	
Promedio	81.25	120.02	156.97	98.55	29.14	10.90	6.32	6.98	21.38	47.12	40.51	58.34		

Elaboración propia tomado de la ANA

A continuación, se resumieron los datos mensuales en la **Tabla 12**, teniendo como resultado la **Tabla 11** que engloba la precipitación total en cada año dentro del periodo 1998 – 2020, adicionalmente la precipitación total de los 22 años mencionados.

Tabla 12

*Precipitación anual, periodo
1998 – 2020: Estación Salpo*

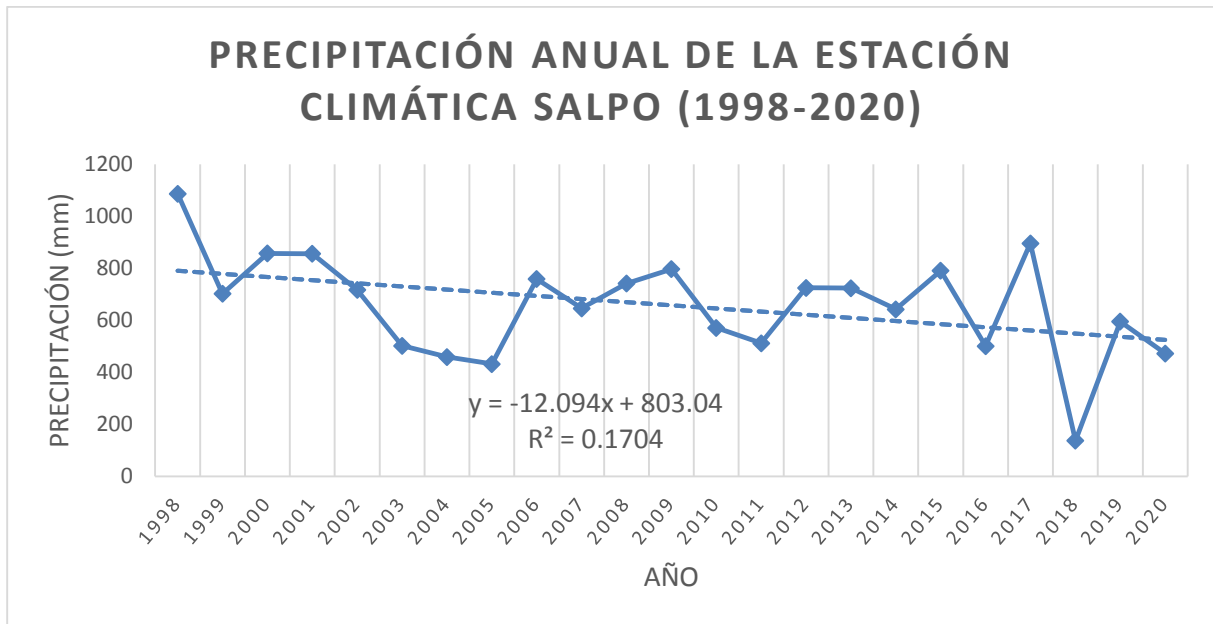
Año	Precipitación (mm)
1998	1087.8
1999	702.5
2000	858
2001	856.9
2002	717.6
2003	502.2
2004	459.3
2005	432.1
2006	759.4
2007	646.3
2008	741.8
2009	797.6
2010	571.2
2011	512.2
2012	725.5
2013	724
2014	642.8
2015	791.3
2016	501.3
2017	896.9
2018	137
2019	595.5
2020	472.8
Total general	15132
Promedio	657.91

Elaboración propia tomado de la ANA.

En base a los previos resultados de la **Tabla 11 y Tabla 12**, se pudo hacer el **Figura 23** para mayor análisis del comportamiento de las precipitaciones anuales de la estación de Salpo.

Figura 23

Precipitación anual, periodo 1998 – 2020: Estación Salpo



Elaboración propia.

Igualmente, se sintetizaron los datos de la **Tabla 11** para poder obtener los datos de la precipitación mensual del mismo periodo de tiempo antes mencionado, teniendo como resultado la **Tabla 13** y posteriormente representado en el **Figura 24**.

Tabla 13

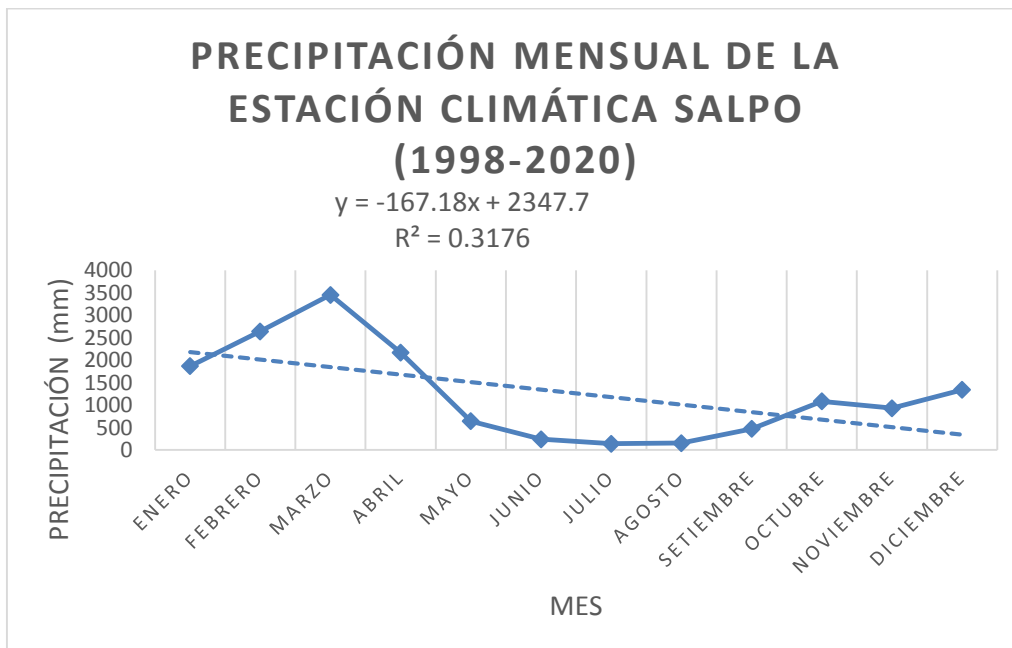
*Precipitación Mensual,
periodo 1998 – 2020:
Estación Salpo*

Mes	Precipitación (mm)
Enero	1868.8
Febrero	2640.4
Marzo	3453.4
Abril	2168.1
Mayo	641.1
Junio	239.7
Julio	139.1
Agosto	153.6
Setiembre	470.4
Octubre	1083.7
Noviembre	931.8
Diciembre	1341.9
Total general	15132
Promedio	1592.94

Elaboración propia tomado de la ANA.

Figura 24

Precipitación Mensual, periodo 1998 – 2020: Estación Salpo



Elaboración propia.

h. Análisis de la investigación

Con los datos obtenidos de los cálculos de la pérdida de suelo (por el Método de Namba) de los tres años y dos épocas diferentes, además de su posterior conversión de unidades y comparación con los parámetros según la FAO, se procedió a realizar el análisis y discusión de los resultados, para así dar respuesta a los objetivos planteados en la presente investigación.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

1. Determinación de la cantidad de suelo perdido

Debido a que, para hacer los cálculos para el Método de Namba, se utilizaron los datos de las precipitaciones del periodo 1998 – 2020; para ello se tomó en cuenta dos épocas que, gracias a al Gráfico 4, logramos deducir dos épocas significativas que nos ayudaran a comparar la erosión hídrica de las zonas de estudio. Estas dos épocas la denominamos: *Época de Altas Precipitaciones*, que abarca los meses desde **octubre hasta abril**, y *Época de Bajas Precipitaciones*, que va desde el mes de **mayo a septiembre**. Teniendo en cuenta ello, se filtraron los datos de la Precipitación Mensual de la **Tabla 13** en los respectivos meses de cada año en ambas épocas, obteniéndose así, las siguientes tablas con sus respectivos gráficos:

✓ **Altas Precipitaciones: 2003, 2013 y 2020**

Tabla 14

Precipitación en Época de Altas Precipitaciones, 1998 – 2003: Estación Salpo

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	Oct	Nov	Dic	Total general	Promedio
1998	182.9	267	325.3	117.2	52.1	13.6	26.4	984.5	246.125
1999	108.1	240.9	54.4	93.6	32.5	11.1	37	577.6	144.40
2000	56.8	152	147.5	122.1	69.5	24.7	112.8	685.4	171.35
2001	134.2	107.6	233.2	151.9	23.9	46.7	43.4	740.9	185.23
2002	51.4	135.1	152.3	89.8	79.8	107.7	53.5	669.6	167.40
2003	82.5	88.8	124.2	76.1	6	26.3	46.8	450.7	112.68
Total general	615.9	991.4	1036.9	650.7	263.8	230.1	319.9	Promedio: 684.78	
Promedio	175.97	283.26	296.26	185.91	75.37	65.74	91.40		

Elaboración propia tomado de la ANA.

Tabla 15
Precipitación en Época de Altas Precipitaciones, 1998 – 2013: Estación Salpo

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	Oct	Nov	Dic	Total general	Promedio
1998	182.9	267	325.3	117.2	52.1	13.6	26.4	984.5	246.125
1999	108.1	240.9	54.4	93.6	32.5	11.1	37	577.6	144.40
2000	56.8	152	147.5	122.1	69.5	24.7	112.8	685.4	171.35
2001	134.2	107.6	233.2	151.9	23.9	46.7	43.4	740.9	185.23
2002	51.4	135.1	152.3	89.8	79.8	107.7	53.5	669.6	167.40
2003	82.5	88.8	124.2	76.1	6	26.3	46.8	450.7	112.68
2004	10	73.5	123.6	43.4	69.6	27.8	71.3	419.2	104.80
2005	65.3	58.1	95.5	104.6	31.5	17.3	39.5	411.8	102.95
2006	65.6	132.8	267.5	80.9	7.8	63.9	31.5	650	162.50
2007	142.6	49.3	141.8	97.4	55.6	73.7	27.3	587.7	146.93
2008	108.5	135.5	145.5	138.1	52.1	109.5	2	691.2	172.80
2009	184.9	112.5	149.4	113.2	98.1	47.5	43.6	749.2	187.30
2010	80.5	109.6	84.4	111.6	15.1	34.3	39.7	475.2	118.80
2011	71.4	41.5	55.8	167.8	29.9	51.8	52.7	470.9	117.73
2012	77.4	196.8	159.7	100.7	53.4	32.1	50.4	670.5	167.63
2013	114.5	124.4	209.8	42	123.3	2.5	68.6	685.1	171.28
Total general	1536.6	2025.4	2469.9	1650.4	800.2	690.5	746.5	Promedio: 619.97	
Promedio	180.78	238.28	290.58	194.16	94.14	81.24	87.82		

Elaboración propia tomado de la ANA.

Tabla 16
Precipitación en Época de Altas Precipitaciones, 1998 – 2020: Estación Salpo

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	Oct	Nov	Dic	Total general	Promedio
1998	182.9	267	325.3	117.2	52.1	13.6	26.4	984.5	246.125
1999	108.1	240.9	54.4	93.6	32.5	11.1	37	577.6	144.40
2000	56.8	152	147.5	122.1	69.5	24.7	112.8	685.4	171.35
2001	134.2	107.6	233.2	151.9	23.9	46.7	43.4	740.9	185.23
2002	51.4	135.1	152.3	89.8	79.8	107.7	53.5	669.6	167.40
2003	82.5	88.8	124.2	76.1	6	26.3	46.8	450.7	112.68
2004	10	73.5	123.6	43.4	69.6	27.8	71.3	419.2	104.80
2005	65.3	58.1	95.5	104.6	31.5	17.3	39.5	411.8	102.95
2006	65.6	132.8	267.5	80.9	7.8	63.9	31.5	650	162.50
2007	142.6	49.3	141.8	97.4	55.6	73.7	27.3	587.7	146.93
2008	108.5	135.5	145.5	138.1	52.1	109.5	2	691.2	172.80
2009	184.9	112.5	149.4	113.2	98.1	47.5	43.6	749.2	187.30
2010	80.5	109.6	84.4	111.6	15.1	34.3	39.7	475.2	118.80
2011	71.4	41.5	55.8	167.8	29.9	51.8	52.7	470.9	117.73
2012	77.4	196.8	159.7	100.7	53.4	32.1	50.4	670.5	167.63
2013	114.5	124.4	209.8	42	123.3	2.5	68.6	685.1	171.28
2014	32	47.5	144	95	32	57.9	116.5	524.9	131.23
2015	95.7	89.2	168.6	95.2	54	85.6	134.8	723.1	180.78
2016	43.4	155.3	85.3	84.5	47.5	4.6	27	447.6	111.90
2017	72.6	130.9	408.9	110.5	46	17.2	21.1	807.2	201.80
2018	0				11.5	27	98.5	137	54.80
2019	62	147	124	32	42	19.5	88	514.5	128.63
2020	26.5	45.1	52.7	100.5	50.5	29.5	109.5	414.3	103.58
Total general	1868.8	2640.4	3453.4	2168.1	1083.7	931.8	1341.9	Promedio: 657.91	
Promedio	81.25	120.02	156.97	98.55	47.12	40.51	58.34		

Elaboración propia tomado de la ANA.

✓ **Bajas Precipitaciones: 2003, 2013 y 2020**

Tabla 17

Precipitación en Época de Bajas Precipitaciones, 1998 – 2003: Estación Salpo

Año	May	Jun	Jul	Ago	Set	Total general	Promedio
1998	34	10.9	2.2	17.1	39.1	103.3	34.43
1999	57.5	13.5	13.3	0.5	40.1	124.9	41.63
2000	85.1	22.7	3.6	31.1	30.1	172.6	57.53
2001	29.4	19.1	9.1	0.3	58.1	116	38.67
2002	14.5	30.3	0.3	0	2.9	48	16.00
2003	12.7	23.4	13.2	0	2.2	51.5	17.17
Total general	233.2	119.9	41.7	49	172.5	Promedio: 102.72	
Promedio	66.63	34.26	11.91	14.00	49.29		

Elaboración propia tomado de la ANA.

Tabla 18
Precipitación en Época de Altas Precipitaciones, 1998 – 2013: Estación Salpo

Año	May	Jun	Jul	Ago	Set	Total general	Promedio
1998	34	10.9	2.2	17.1	39.1	103.3	34.43
1999	57.5	13.5	13.3	0.5	40.1	124.9	41.63
2000	85.1	22.7	3.6	31.1	30.1	172.6	57.53
2001	29.4	19.1	9.1	0.3	58.1	116	38.67
2002	14.5	30.3	0.3	0	2.9	48	16.00
2003	12.7	23.4	13.2	0	2.2	51.5	17.17
2004	15.5	0.2	5.9	0	18.5	40.1	13.37
2005	1.9	0.9	0	9.8	7.7	20.3	6.77
2006	27.7	19.2	0	26.2	36.3	109.4	36.47
2007	20.4	0	6.1	16.3	15.8	58.6	19.53
2008	5.9	14.9	7.4	10.8	11.6	50.6	16.87
2009	17.7	5.4	17.4	6	1.9	48.4	16.13
2010	27.6	23.1	2	5.4	37.9	96	32.00
2011	12.6	5.4	12.9	2	8.4	41.3	13.77
2012	40.4	7.8	0	2.4	4.4	55	18.33
2013	28.4	3.7	0	0	6.8	38.9	12.97
Total general	431.3	200.5	93.4	127.9	321.8	Promedio: 73.43	
Promedio:	50.74	23.59	10.99	15.05	37.86		

Elaboración propia tomado de la ANA.

Tabla 19
Precipitación en Época de Altas Precipitaciones, 1998 – 2020: Estación Salpo

Año	May	Jun	Jul	Ago	Set	Total general	Promedio
1998	34	10.9	2.2	17.1	39.1	103.3	34.43
1999	57.5	13.5	13.3	0.5	40.1	124.9	41.63
2000	85.1	22.7	3.6	31.1	30.1	172.6	57.53
2001	29.4	19.1	9.1	0.3	58.1	116	38.67
2002	14.5	30.3	0.3	0	2.9	48	16.00
2003	12.7	23.4	13.2	0	2.2	51.5	17.17
2004	15.5	0.2	5.9	0	18.5	40.1	13.37
2005	1.9	0.9	0	9.8	7.7	20.3	6.77
2006	27.7	19.2	0	26.2	36.3	109.4	36.47
2007	20.4	0	6.1	16.3	15.8	58.6	19.53
2008	5.9	14.9	7.4	10.8	11.6	50.6	16.87
2009	17.7	5.4	17.4	6	1.9	48.4	16.13
2010	27.6	23.1	2	5.4	37.9	96	32.00

2011	12.6	5.4	12.9	2	8.4	41.3	13.77
2012	40.4	7.8	0	2.4	4.4	55	18.33
2013	28.4	3.7	0	0	6.8	38.9	12.97
2014	38.9	17.5	8.8	10.2	42.5	117.9	39.30
2015	43.5	7.4	11.1	0	6.2	68.2	22.73
2016	11.9	0.8	0	0	41	53.7	17.90
2017	53	10.5	0.3	14.5	11.4	89.7	29.90
2019	29.5	3	17.5	0	31	81	27.00
2020	33	0	8	1	16.5	58.5	19.50
Total general	641.1	239.7	139.1	153.6	470.4	Promedio: 74.72	
Promedio	55.75	20.84	12.10	13.36	40.90		

Elaboración propia tomado de la ANA.

A continuación, se presenta en la **Tabla 20** la recopilación detallada y resumida de las tablas de precipitaciones anteriores:

Tabla 20

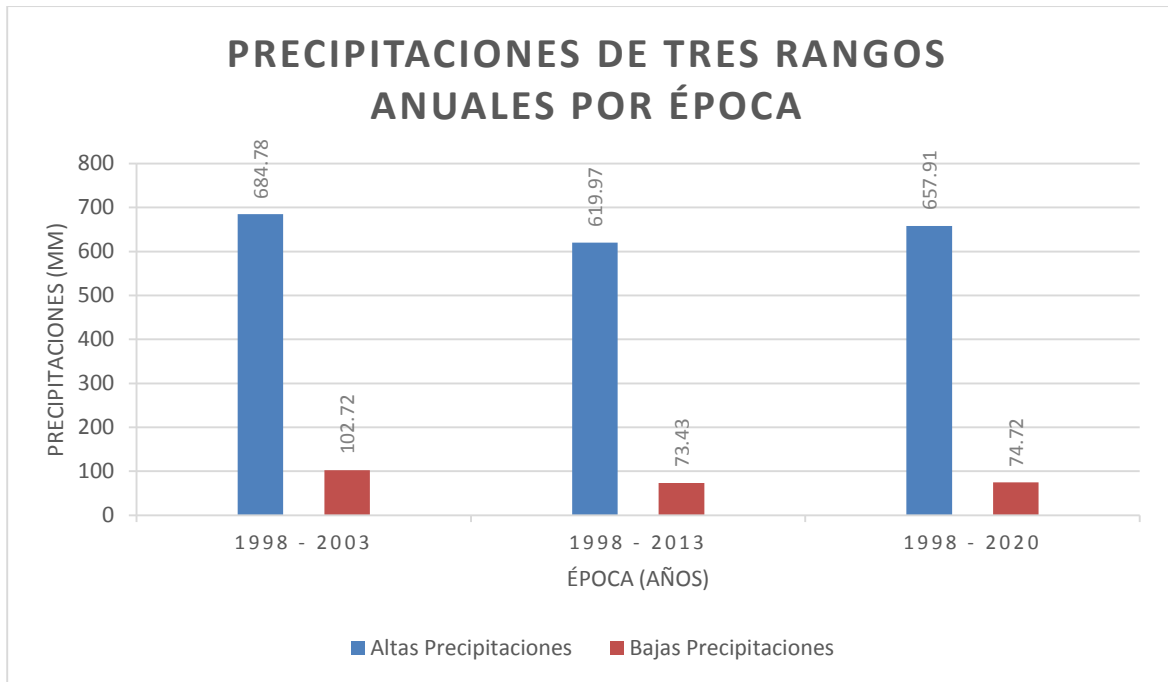
Precipitaciones de tres rangos anuales por época

Época	1998 - 2003	1998 - 2013	1998 - 2020
Altas Precipitaciones	684.78 mm	619.97 mm	657.91 mm
Bajas Precipitaciones	102.72 mm	73.43 mm	74.72 mm

Elaboración propia

Figura 25

Precipitaciones de tres rangos anuales por época



Elaboración propia

Áreas de zonas de estudio

En el proceso de delimitación de zonas – usando el programa de Google Earth – no se consideraron como zonas desnudas a las carreteras ya que, en un área de 1 km², el área de estas no sería relevantes por considerarse muy pequeñas. Por otro lado, las parcelas agrícolas de las zonas verdes se consideraron como zonas verdes, ya que en esa zona la agricultura es muy practicada y tales parcelas suelen ser usadas varias veces al año, también se consideró como zona verde las áreas cercanas a los ríos, ya que esas zonas suelen estar con cobertura vegetal la mayor parte del año como parte de su formación natural.

A continuación, se presentan la **Tabla 21** las áreas delimitadas de las dos zonas de estudio en m².

Tabla 21

Áreas delimitadas de las zonas de estudio (m²)

Zona		2003	2013	2020
Zona Verde	A.V	939335 m ²	947736 m ²	945698 m ²
	A.D	60665 m ²	52264 m ²	54302 m ²
Zona Desnuda	A.V	39228 m ²	36564 m ²	41117 m ²
	A.D	960772 m ²	963436 m ²	958883 m ²

Elaboración propia

Teniendo los datos de la Tabla 21, se procedió a hacer la conversión de unidades a Km² el cual se representa en la **Tabla 22**, siendo esta ultima la usada en los cálculos del Método de Namba.

Tabla 22

Áreas delimitadas de las zonas de estudio (Km²)

Zona		2003	2013	2020
Zona Verde	A.V	0.939335 Km ²	0.947736 Km ²	0.945698 Km ²
	A.D	0.060665 Km ²	0.052264 Km ²	0.054302 Km ²
	A.V	0.039228 Km ²	0.036564 Km ²	0.041117 Km ²
Zona Desnuda	A.D	0.960772 Km ²	0.963436 Km ²	0.958883 Km ²

Elaboración propia

Hay que tener en cuenta que, en la Zona Verde, el área desnuda delimitada se ejecutan 3 actividades las cuales son: la piscicultura (criadero de truchas, las cuales venden a los pobladores de zonas aledañas), lavado de minerales (trabajo que hacen para algunas mineras de la cuenca alta del Río Moche) y también se ocupan lugares en donde hacen manualidades típicas como ollas de barro y otras manualidades con materiales vegetales. Con los datos de las precipitaciones anuales en sus respectivas épocas, podemos asumir que la pérdida de suelo en la zona desnuda será mayor que la zona verde, siendo las

épocas de altas y bajas precipitaciones el factor determinante en la diferencia de pérdidas de suelos.

2. Aporte de Sedimentos (Pérdida de suelo) 2003, 2013 y 2020

Teniendo los resultados de la **Tabla 20** de Precipitaciones de tres rangos anuales por época, además de contar con el desnivel máximo de cotas en la cuenca alta, siendo esta el de **1480 m.s.n.m.** (4280 – 2800 m.s.n.m), y por ultimo las delimitaciones de las áreas en km² (**ver Tabla 22**) de las zonas de estudio, se procede a hacer los cálculos usando el Método de Namba.

En las siguientes dos tablas se muestran los resultados de los cálculos de gabinete (Ver ANEXO n.º 21) que se obtuvieron por Método de Namba de las dos zonas de estudio en tres años diferentes por épocas de precipitaciones.

Podemos ver en la **Tabla 23** el aporte de sedimentos es mayor que en la **Tabla 24** que pertenece a la época de bajas precipitaciones en la zona verde.

- **Zona Verde**

Tabla 23

Aporte de sedimentos en la Época de Altas Precipitaciones

Fecha	2003	2013	2020
PP (mm)	684.78	619.97	657.91
Área Verde (Km²)	0.939335	0.947736	0.945698
Área Desnudo (Km²)	0.060665	0.052264	0.054302
F%	1548.40	1813.36	1741.55
AS (m³/km²-año)	721.22	671.03	690.58

Elaboración propia

Tabla 24

Aporte de sedimentos en la Época de Bajas Precipitaciones

Fecha	2003	2013	2020
PP (mm)	102.72	73.43	74.72
Área Verde (Km²)	0.939335	0.947736	0.945698
Área Desnudo (Km²)	0.060665	0.052264	0.054302
F%	1548.40	1813.36	1741.55
AS (m³/km²-año)	551.26	511.44	520.29

Elaboración propia

Recordando que el área de la cuenca alta es de 904 km² y viendo los resultados de las **Tablas 23 y 24** pertenecientes a la Zona Verde, pero en diferentes épocas, hacemos la comparación con la **Tabla 2** titulada “Aporte medio de sedimentos según el tamaño de la cuenca”, en donde podemos ver que la cuenca alta del río Moche esta entre el rango de 259 a 2590 km², lo que nos dice que el aporte medio de sedimentos debería de ser 481 m³/km²-año. También se puede distinguir que el aporte de sedimentos en la época de altas precipitaciones es mayor a los de bajas precipitaciones, lo que nos enfatiza lo importante que es el factor meteorológico de las precipitaciones en un estudio de erosión hídrica por aporte de sedimentos.

- **Zona Desnuda**

Tabla 25

Aporte de sedimentos en la Época de Altas Precipitaciones

Fecha	2003	2013	2020
PP (mm)	684.78	619.97	657.91
Área Verde (Km²)	0.039228	0.036564	0.041117
Área Desnudo (Km²)	0.960772	0.963436	0.958883
F%	4.08	3.80	4.29
AS (m³/km²-año)	903.45	884.56	895.58

Elaboración propia

Tabla 26

Aporte de sedimentos en la Época de Bajas Precipitaciones

Fecha	2003	2013	2020
PP (mm)	102.72	73.43	74.72
Área Verde (Km²)	0.039228	0.036564	0.041117
Área Desnudo (Km²)	0.960772	0.963436	0.958883
F%	4.08	3.80	4.29
AS (m³/km²-año)	733.48	724.97	725.28

Elaboración propia

De la misma forma, en las **Tabla 25** y **26** que muestran resultados mayores al aporte medio de sedimentos para el tamaño de la cuenca alta, además de también presentar una diferencia en los valores de la época de altas precipitaciones y en las de bajas.

Posteriormente, teniendo los datos de las **Tablas 23 a 26** se hizo la conversión a *t/ha-año* para hacer la comparación con la **Tabla 3** de Riesgos de erosión de acuerdo a las pérdidas de suelo establecido por la FAO. Se usó esta tabla ya que es uno de los parámetros más usados en investigaciones de erosión hídrica, además de ser necesario para poder conocer el grado de erosión que presenta las zonas de estudio.

Tabla 27

Aporte de sedimentos (t/ha/año) de Época de Altas Precipitaciones en la Zona Verde

Fecha	2003	2013	2020
AS <i>(t/ha/año)</i>	7.21	6.71	6.91

Elaboración propia

En la Tabla 27, los resultados de la conversión muestran que, en la zona verde en tiempos de altas precipitaciones, la erosión es de grado 3 con un riesgo de erosión **moderada**, ya que se encuentra dentro del rango de 5-15 t/ha/año, según los riesgos de erosión por pérdida de suelo establecido por la FAO (Tabla 3).

Tabla 28

Aporte de sedimentos (t/ha/año) de Época de Bajas Precipitaciones en la Zona Verde

Fecha	2003	2013	2020
AS <i>(t/ha/año)</i>	5.51	5.11	5.20

Elaboración propia

En la Tabla 28 se muestran valores menores a la Tabla 27, debido a que son de la época de bajas precipitaciones, sin embargo, al igual que en la Tabla 27, están en el grado 3.

Tabla 29

Aporte de sedimentos (t/ha/año) de Época de Altas Precipitaciones en la Zona Desnuda

Fecha	2003	2013	2020
AS	9.03	8.85	8.96
(t/ha/año)			

Elaboración propia

Para la Tabla 29, los valores de aporte de sedimentos aumento aproximadamente 2 toneladas más que los resultados de la Tabla 27. Según los parámetros de la FAO, también es una erosión **moderada** con grado 3 de erosión, con un rango de 5-15 t/ha/año.

Cabe resaltar que, los resultados de las Tablas 27 y 29 son de la época de altas precipitaciones con la diferencia de que la primera tabla pertenece a la zona verde, y la de la Tabla 29, a la zona desnuda.

Tabla 30

Aporte de sedimentos (t/ha/año) de Época de Bajas Precipitaciones en la Zona Desnuda

Fecha	2003	2013	2020
AS	7.33	7.25	7.26
(t/ha/año)			

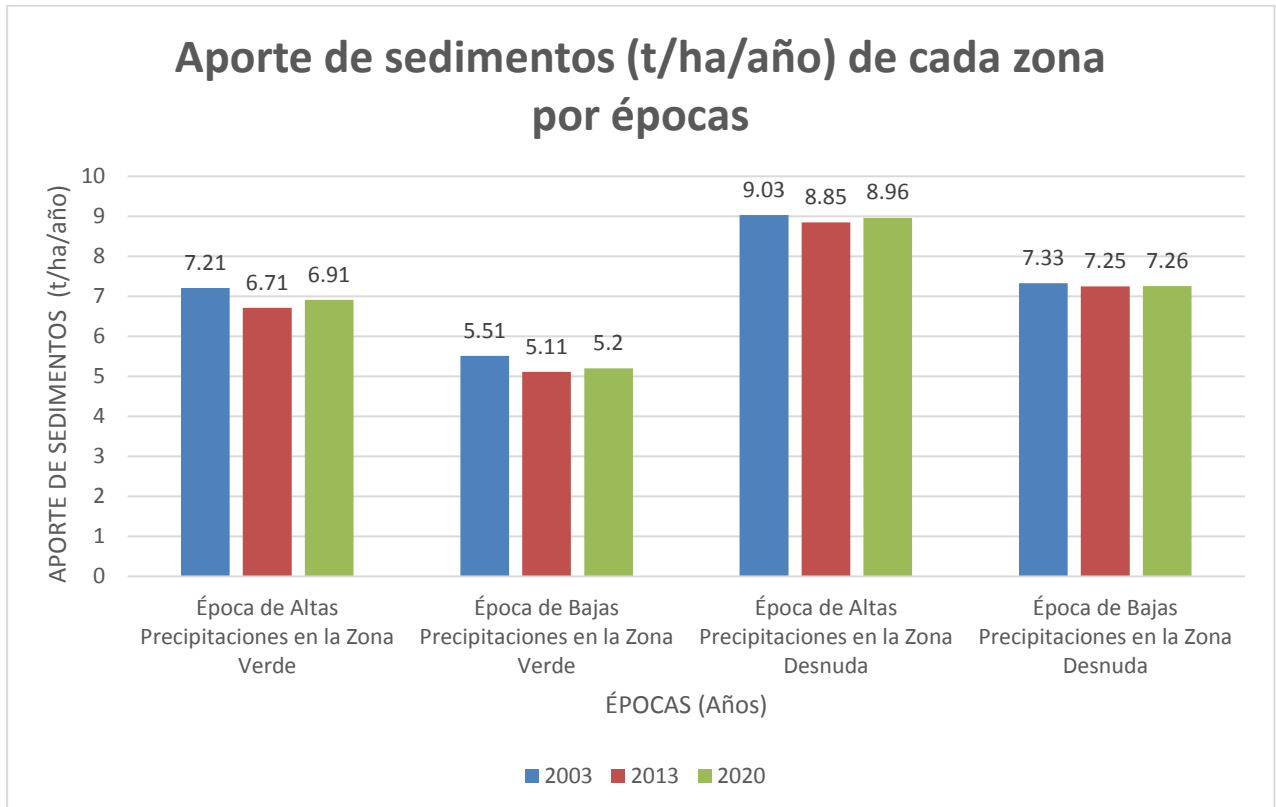
Elaboración propia

En la Tabla 30 los resultados del aporte de sedimentos para la época de bajas precipitaciones, como se esperaba, también es menor a los de altas precipitaciones y también perteneciendo al rango de una erosión **moderada**.

A continuación, se muestra el **Figura 26** en donde se resume los aportes de sedimentos dividido entre las dos épocas de precipitaciones en cada uno de los tres años estudiados.

Figura 26

Aporte de sedimentos (t/ha/año) de cada zona por épocas



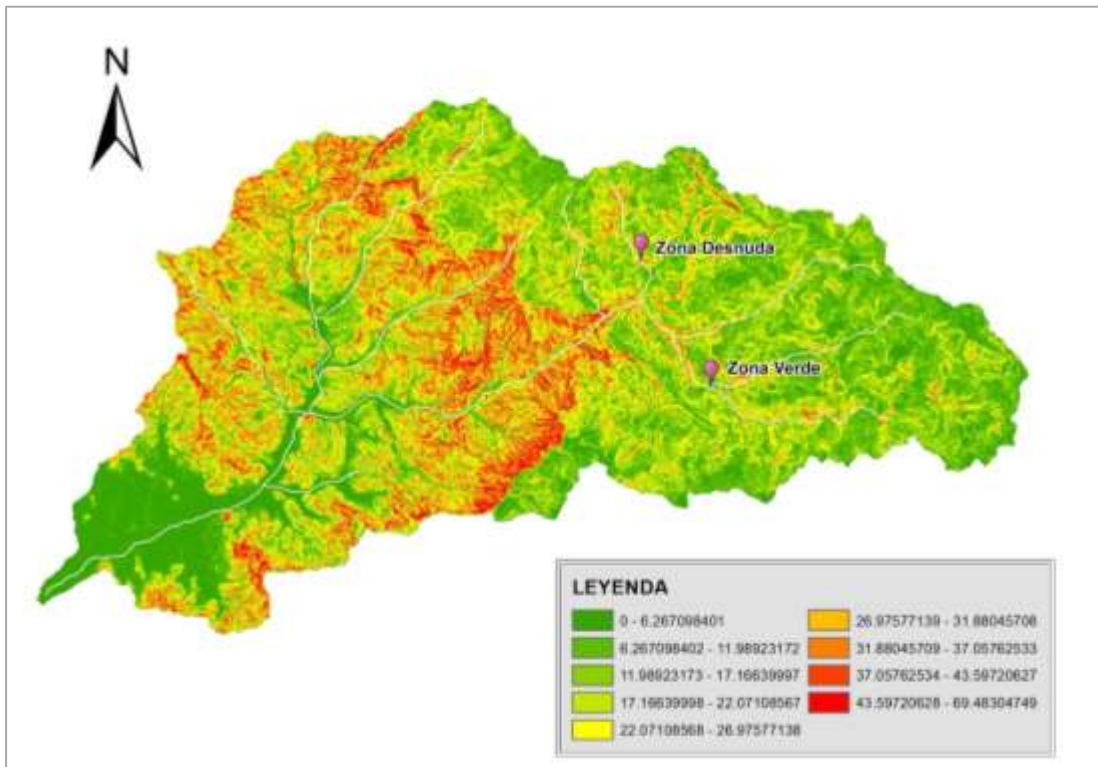
Elaboración propia.

Orientación de la pendiente: Dirección de la erosión

Usando el programa Arcgis, primero se procedió a elaborar la **Figura 27**: Modelo de pendiente, en el cual que nos mostró el tamaño mínimo de las pendientes tiene la cuenca del Río Moche, siendo la inclinación mínima de 0 a 6.7%, representado de color verde, y la máxima inclinación de 43.6 a 69.5% correspondiente al color rojo.

Figura 27

Pendientes (%) de la Cuenca del Río Moche



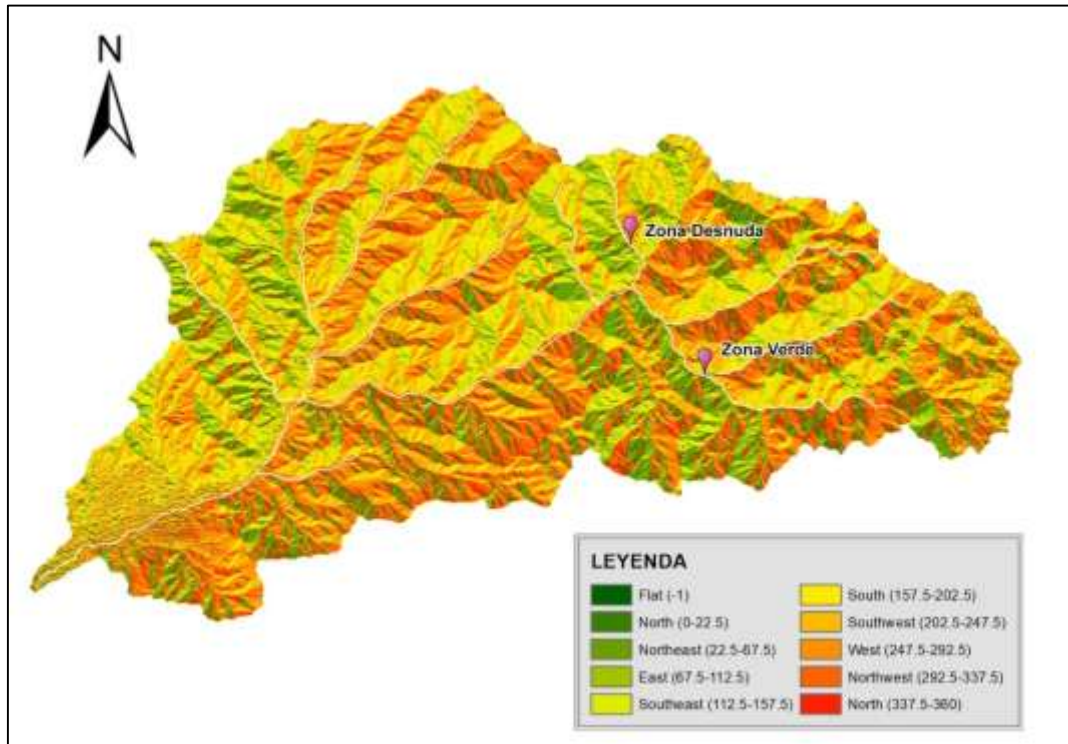
Elaboración propia.

Tomando como base el mapa de la **Figura 27**, se elaboró el mapa de la **Figura 28**: Orientación de la pendiente, que también lo podemos llamar mapa de Dirección de la Erosión. En este mapa podemos ver que, en nuestras dos áreas de estudio, la dirección de la erosión de la zona desnuda va desde el *este al suroeste*, y en el caso de la zona verde desde el *noreste, noroeste y suroeste*.

Para visualizar mejor las Figuras 27 y 28 les invito a ver los ANEXO n.º 19 y 20.

Figura 28

Orientación de la pendiente: dirección de la erosión de la Cuenca Alta del Río Moche



Elaboración propia.

3. Medidas de mitigación

Desarrollar plan de medidas de mitigación en la cuenca Alta del Río Moche, que tengan como finalidad evitar o disminuir los impactos negativos de la erosión hídrica, debe ser primordial, ya que el nivel de erosión en ambas zonas de estudio es de un nivel moderado con grado 3, por lo que puede tomar acciones para controlar el problema antes de que empeore. Dentro de las medidas de mitigación de impactos negativos por la pérdida de suelo está el rescate y acopio de las capas del suelo vegetal y hacer la disposición en áreas destinadas a la revegetación o reforestación; por otro lado, algunas medidas para mitigar los impactos por erosión hídrica es la aplicación de mulch orgánico alrededor de las plantas, ya que se ha comprobado por otros investigadores que sirve

como protector ante los cambios bruscos de climas, incluido las fuertes precipitaciones; también, con el apoyo del Ministerio del Ambiente (MINAM), Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), gobierno regional de La Libertad, o cooperaciones internacionales (Cooperación GIZ, JICA, etc), se puede hacer obras de infiltración y de conducción de escorrentías superficiales, para así evitar que afecten indiscriminadamente a áreas vegetales o forestales, no olvidando también considerar alguna construcción que ayuden a reducir la energía cinética de la escorrentía superficial que descienden desde las laderas.

4. Impactos negativos

Dentro de los impactos negativos de la erosión hídrica a causa del aporte de sedimentos está la pérdida de los nutrientes del suelo a causa del fuerte arrastre de las escorrentías superficiales, la cual afecta en gran medida la capacidad productiva de dicho suelo y, en consecuencia, la actividad económica de los agricultores de la zona.

Los impactos negativos son más extremos en los suelos desnudos que no tienen protección vegetal ni forestal, como es la compactación del suelo, que impide la adecuada infiltración del agua y, por consiguiente – si fuera el caso – la percolación hacia los pozos de agua subterránea, afectando a las comunidades que se abastecen de estas reservas de agua naturales.

La escorrentía superficial que recorre por las laderas sin cobertura vegetal arrastrará grandes cantidades de suelo y otros sólidos que encuentre en su trayecto, esto aumentará el volumen de sólidos en la escorrentía debido a su alto nivel de turbidez – propio del aporte de sedimentos – que finalmente terminará desembocando en el río principal de la cuenca, este, posteriormente, será captado por los canales de uso para riego y bebida

de animales, en diversas comunidades de la provincia, lo cual afectara a muchos agricultores y ganaderos en su economía y producción agropecuaria.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Los resultados en $\text{m}^3/\text{km}^2\text{-año}$ del método de Namba en la cuenca alta del Río Moche, según la Tabla 2, nos muestra que para el tamaño de la cuenca alta (904 km^2) la erosión es mayor al promedio establecido para el tamaño de la cuenca, además, los valores obtenidos pertenecerían a una cuenca con un área de entre 25.9 a 259 km^2 . Este tipo de resultados puede variar abismalmente como en el caso de Bribiesca, Sánchez & González (2018) quienes hicieron una comparación de varias metodologías de cálculo de la erosión hídrica de un solo lugar, y con el método de Namba obtuvieron un resultado de $817,292.52 \text{ m}^3/\text{km}^2\text{-año}$ para una cuenca de 548.86 km^2 , y valores mucho menores con otro tipo de metodología. Teniendo estos resultados, se hizo una conversión de unidades a t/ha/año , debido a que es una de las unidades más usadas por diversos investigadores nacionales e internacionales, además de que se necesitaba saber qué tipo de riesgo y grado de erosión había en las zonas de estudio. Los resultados arrojaron tasas de erosión *moderada con grado 3* según la Tabla 3 de Riesgos de erosión por pérdida de suelo establecido por la FAO – que es la más usada en diversas investigaciones nacionales e internacionales – para ambas épocas de altas y bajas precipitaciones. Resultados similares fueron reportados en un estudio que también fue realizado en la cuenca alta del Río Moche por Loli & Huerta (2014), quienes documentaron pérdidas de suelo por erosión hídrica, en Huangamarca y Pollo, en el orden de 7.29 y 33.40 t/ha/año respectivamente. Los resultados de ambos estudios – de la presente investigación como el de Loli & Huerta (2014) – sobrepasan la tolerancia establecida por la FAO, que es de 0.4 a 1.8 t/ha/año , lo que conlleva a un peligro latente, puesto que, los suelos agrícolas pueden perder su capacidad productiva, además de afectar el ecosistema del lugar.

El haber calculado el Aporte de Sedimentos (AS) en dos épocas climáticas diferentes – época de altas y bajas precipitaciones – nos da una visión más amplia de lo significativo que son las precipitaciones en la erosión hídrica. Evidenciando que, en la época de altas precipitaciones, en ambas zonas, el aporte de sedimentos es mayor al de las bajas precipitaciones, variando entre 2 toneladas aproximadamente para los tres años. Es claro que, en la época de altas precipitaciones, la intensidad de la lluvia [$P(\text{mm})/t(\text{h})$] en la sierra de La Libertad varía entre ligera a moderada, sumándole a esto, las pendientes de la cuenca alta las cuales son muy empinadas y altas (ver Figura 27), por lo que el arrastre de suelo es inevitable debido a la Energía Cinética, y esto sucede más en la zona desnuda, en donde no hay cubierta vegetal ni forestal en las laderas, ocasionando que el suelo tenga poca capacidad de infiltración (Ares, M., Varni, M. & Chagas, C., 2014), provocando que la escorrentía superficial que baja desde las laderas de la cabecera la cuenca o microcuenca – el cual tiene la pendiente más alta – llegue a la parte baja con mucha fuerza arrastrando violentamente el suelo y sus nutrientes hasta desembocar en el río principal de la cuenca ocasionando erosión en esa parte del suelo, así también lo evidenció Febles y Vega (2016) quienes concluyeron que los sectores con mayor susceptibilidad a la erosión hídrica se encontraban en la ladera Norte de su área de estudio, producto de la longitud de su pendiente y en la ladera Sur debido al declive.

Siguiendo con lo la misma idea, podemos observar en la Tabla 11 que, dentro del periodo estudiado (1998 – 2020), el año con mayor precipitación total anual fue en 1998 con 1087.8 mm y la mínima, fue en el año 2005 con 432.1 mm, sin embargo, en los últimos 5 años la mayor precipitación registrada ocurrió en el año 2017, con 896.9 mm, y según la misma Tabla 11, los meses de febrero, marzo y abril, fueron cuando se

registraron la mayor precipitación con: 130.9 mm, 408.9 mm y 110.5 mm respectivamente. Estos datos concuerdan exactamente con la época cuando ocurrió el “Fenómeno del niño costero” que afectó gravemente a la costa y sierra liberteña con grandes deslizamientos de tierra provocada por las intensas lluvias constantes en la zona, sumando a ello, la falta de especies forestales, vegetales y herbáceas típicos ubicados en los cauces de los ríos, que constituyen la defensa natural del río ante el incremento de su caudal. Además, según el registro meteorológico de la precipitación mensual en del periodo de 1998 – 2020 (Tabla 13), los meses con mayor precipitación va desde octubre hasta abril con 10883.7 mm, 931.8 mm, 1341.9 mm, 1868.8 mm, 2640.4 mm, 3453.4 mm y 2168.1 mm respectivamente, este tiempo de avenida concuerda con la época de avenida declarado por Quispe (2018) en su investigación en la cual se observaron que valores más altos fueron en marzo y abril; estas intensas precipitaciones favorecen el escurrimiento superficial, arrastrando los suelos y, por consiguiente, aumentando el volumen de los caudales de los ríos. El establecimiento de forestaciones, en situaciones como estas, aumenta las reservas de aguas subterráneas de manera significativa, por lo que reduce el escurrimiento superficial (Nosetto & Jobbágy, 2014). Todos estos cambios, reducirán la erosión y mejorara la calidad y estabilidad de los recursos hídricos, por lo que se puede hacer un plan de forestación y cubierta vegetal en las laderas que son propensas a intensas precipitaciones y deslizamientos de tierra, para así, evitar futuros desastres naturales como lo ocurrido en el año 2017; así mismo indica Quispe (2018), que existe una relación directamente proporcional entre los valores del volumen de agua escurrida y el volumen de agua de lluvia infiltrada con el coeficiente de escurrimiento, ya que valores bajos en los coeficientes de escurrimiento marcan un menor riesgo de erosión hídrica del suelo, es por ello que resalto mucho la importancia de proponer y ejecutar un adecuado plan de forestación y/o reforestación en zonas con

escasa o nula cubierta vegetal ya que, la cobertura del suelo, también es uno de los factores fundamentales para estimar la erosión hídrica.

Visualizando las Pendientes de la Cuenca Alta del Río Moche (Figura 27), vemos que sus pendientes son constantes y descendentes, por lo tanto, la escorrentía proveniente de la cabecera de las laderas de la cuenca va a ir descendiendo con toda fuerza hasta desembocar en su río principal: Río Otuzco. Es por ello que, el área de estudio enfocada en la zona desnuda, al no tener cobertura vegetal ni forestal en gran parte de su área además de tener una pendiente alta, la pérdida de suelo es mucho mayor que la zona vegetal, y de acuerdo con García (2021), el cual en el tratamiento que hizo por el método de parcelas de escurrimiento, la zona desnuda fue la que más pérdida de suelo obtuvo (Tasa de Erosión) para las unidades experimentales, siendo estas 2.18 t/ha-año para el área pecuaria y 2.42 t/ha/año para el área agrícola; por consiguiente, podemos decir que, la intensidad de las precipitaciones y la vulnerabilidad del suelo ante la erosión son los factores esenciales que determinan la susceptibilidad a la erosión hídrica, así como la cubierta vegetal del suelo (mencionado en el anterior párrafo) y su conservación.

Visualizando el mapa de cobertura vegetal de la cuenca del Río Moche, que se encuentra en el ANEXO n° 18, la zona verde se encuentra en una zona de plantación forestal, lo cual supone una mayor protección de la intensidad de precipitación, ya que sus copas deben servir como “paraguas” de las gotas de lluvia; asimismo, si es una especie que ha sido evaluada previamente en su demanda y oferta de agua que el clima de la zona le puede brindar, puede ser beneficioso o perjudicial para la cuenca.

Como se comentó anteriormente, el impacto directo de las gotas de agua sobre la superficie del suelo es un inconveniente que se puede evitar si se logra forestar la zona

con árboles, con cobertura herbácea o vegetal, para ello hay que tener muy en cuenta que sea con especies nativas o con las que se puedan adecuar con las condiciones climáticas de la zona, especialmente con la oferta de agua que necesita para tener un desarrollo adecuado (precipitación efectiva). Así como lo menciona Quispe (2018) en su investigación en donde comparó cuatro parcelas, una de ellas tenía cobertura mulch – que es la vegetación propia de la zona – fue la segunda en mostrar menos erosión con 17,18 t/ha-año. Actualmente en la Cuenca Alta del Rio Moche se cuenta con el género *eucalyptus* en sus diferentes especies como *Eucalyptus globulus* Labill., *Eucalyptus gunnii* Hook.f, *Eucalyptus curtisii*, entre otras, sin embargo, según el Centro Internacional para la Investigación Agroforestal - ICRAF, citado en Carrete (2010), un solo eucalipto de 3 años de edad consume 20 litros de agua por día y en los próximos años, el consumo incrementará drásticamente, y a los 20 años de edad el árbol consumirá 200 litros diarios. Entonces calculando, un solo árbol consumirá 7.300 litros de agua por año – con 20 litros de agua como mínimo – y durante ese mismo tiempo, una plantación típica (de 1.100 árboles por hectárea) consumirá 8.030.000 litros de agua por hectárea, por año. Es por ello que, en los últimos años ha venido observado que la oferta hídrica proveniente de las precipitaciones de la zona de Otuzco, no satisface la demanda de los árboles que hay en la zona, puesto que consume gran parte del agua que se acumula en el subsuelo y evita que crezca vegetación a su alrededor, incluso algunos documentales denominan a los bosques de eucaliptos como “desiertos verdes”, ya que debajo de sus copas no crece ninguna especie por lo que también forma parte de las causas de la erosión hídrica de la zona. Por este motivo, se ha generalizado el pensamiento de las consecuencias negativas de este árbol, y es por ello que esta investigación incentiva a los futuros investigadores a seguir haciendo estudios y corroborar si estas afirmaciones son ciertas y la necesidad de evaluar el balance hídrico de las especies forestales

existentes en la Cuenca Alta de Moche y experimentar con especies nativas o endémicas de la zona. El distrito de Salpo tiene aptitud forestal, por lo que es factible hacer una forestación con fines ambientales y económicos en sus zonas altas con especies nativas, además del pino, quinual y eucalipto – este último tendría que evaluarse previamente si algunas de sus especies se adecúan al clima de la zona – y en las zonas bajas se puede forestar con especies frutales, taya y molle.

4.2 Conclusiones

- La erosión hídrica trae consecuencias graves en el suelo que no tiene cobertura vegetal ni forestal, debido a que, por la fuerza de impacto de las gotas de lluvia, estas compactan el suelo, impidiendo que el agua se infiltre, afectando en su capacidad de infiltración de agua – lo cual es importante en caso la población de la localidad se abastece de agua subterránea – provocando así, que se produzca mayor volumen de escorrentía superficial, aumentando el arrastre de sedimentos y otros sólidos que encuentre en su trayecto, esto aumentará el volumen de sólidos en la escorrentía debido a su alto nivel de turbidez – propio del aporte de sedimentos – que finalmente terminará desembocando en el río principal de la cuenca, este, posteriormente, será transportado por los canales, afectando de esta manera a los agricultores y ganaderos.
- La pérdida de suelo en la cuenca alta del Río Moche en los años 2003, 2013 y 2020, encontrada en la Zona Verde en la Época de Altas Precipitaciones fue de 7.21, 6.71 y 6.91 t/ha/año respectivamente, en la Época de Bajas Precipitaciones fue de 5.51, 5.11 y 5.20 t/ha/año respectivamente. Para la Zona Desnuda en la Época de Altas Precipitaciones fue de 9.03, 8.85 y 8.96 t/ha/año respectivamente, y finalmente,

para la Época de Bajas Precipitaciones fue de 7.33, 7.25 y 7.25 t/ha/año para cada año respectivamente.

- En ambas zonas de estudio y épocas de precipitaciones el riesgo de erosión hídrica es moderado de grado 3 según la clasificación propuesta por la FAO (1980), lo cual superan los valores permitidos por la misma (0.4 – 1.8 t/ha/año), además, según la tabla 2 de Aporte medio de sedimentos según el tamaño de la cuenca por el método de Namba, el aporte medio de sedimentos que obtuvimos fue de un promedio de 610.66 m³/km²-año para ambas zonas de estudio de cada año y en las dos épocas climáticas, siendo un valor muy alto para el tamaño de la cuenca alta. Las pendiente elevadas y empinadas hace que se facilite el arrastre del suelo de las laderas ocasionadas por la época de altas precipitaciones, además también se acarrea diversos residuos sólidos que vienen desde la parte alta de la cuenca hasta el río principal, esto provoca que incremente su turbidez (propio del aporte de sedimentos) y también el caudal, sobrepasando la capacidad del cauce del río Moche, provocando así, un desborde.
- Algunas de las propuestas de medidas de mitigación de impactos negativos por la pérdida de suelo está el rescate y acopio de las capas del suelo vegetal y hacer la disposición en áreas destinadas a la revegetación o reforestación, la aplicación de mulch orgánico alrededor de las plantas, realizar obras de infiltración y de conducción de esorrentías superficiales, para así evitar que afecten indiscriminadamente a áreas vegetales o forestales, también, considerar planear y ejecutar alguna construcción que ayuden a reducir la energía cinética de la esorrentía superficial que descienden desde las laderas.

REFERENCIAS

- Administración Local del Agua Moche, Virú, Chao. (2016). *Resultado del monitoreo participativo de calidad de agua de la Cuenca Río Moche, La Libertad - Perú, noviembre 2015*. (Informe N° 023-2016-ANA-ALAMVCH). Trujillo, Perú: Autoridad Nacional del Agua. Recuperado de <http://sial.segat.gob.pe/documentos/informe-tecnico-monitoreo-calidad-agua-cuenca-río-moche-octubre-2015>
- Aquabook. (s.f). *Recursos hídricos de Mendoza en su contexto regional. ¿Cómo se delimita una cuenca? [Imagen]*. Recuperado de http://aquabook.agua.gob.ar/377_0
- Ares, M., Varni, M. & Chagas, C. (2014, diciembre). *Erosión hídrica en una microcuenca agrícola bajo siembra directa del centro de la provincia de Buenos Aires*. Ciencia del Suelo. Recuperado de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/33631>
- Aristizábal, E., Arango, M., & García, I. (2020). *Definición y clasificación de las avenidas torrenciales y su impacto en los Andes colombianos*. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, 29, 242-258. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-215X2020000100242
- Autoridad Nacional del Agua. (s.f.). *Enfoque de cuenca*. Recuperado de <https://www.ana.gob.pe/portal/gestion-del-conocimiento-girh/enfoque-de-cuenca>
- Behrends, F., Chagas, C., Marré, G., Palacín, E. & Santanatoclia, O. (2013, febrero). *Desplazamiento de la ganadería por la agricultura en una cuenca de la Pampa Ondulada: Efectos sobre el escurrimiento superficial y erosión hídrica*. Ciencia del Suelo, 31(1),83-32. Recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/262663126_Desplazamiento_de_la_ganaderia_por_la_agricultura_en_una_cuenca_de_La_Pampa_ondulada_Efectos_sobre_el_escurrimiento_superficial_y_erosion_hidrica

Belmonte, F., Romero, A., Bermúdez, F., & Hernández, E. (1999, abril). *Óptimo de cobertura vegetal en relación a las pérdidas de suelo por erosión hídrica y las pérdidas de lluvia por interceptación*. Papeles de Geografía, 30, 5-15. Recuperado de

<https://revistas.um.es/geografia/article/view/47491>

Bravo, M., Mendoza, M. & Medina, L. (2009, abril). *Escenarios de erosión bajo diferentes manejos agrícolas en la cuenca del lago de Zirahuén, Michoacán, México*. Investigaciones Geográficas. Recuperado de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112009000100006&script=sci_arttext

Bribiesca, M., Sánchez, S. & Gonzáles, F. (2018). *Estimación del aporte de sedimentos en la cuenca “El Tule”, México, mediante el uso de diferentes métodos empíricos*. Tomado de

https://www.ina.gov.ar/congreso_hidraulica/index.php?seccion=15

Carrere, R. (30 de mayo de 2010). *Kenia: el Servicio Forestal al rescate del eucalipto*.

Mouvement mondial pour les forets tropicales. Recuperado de <https://wrm.org.uy/fr/les-articles-du-bulletin-wrm/section3/kenia-el-servicio-forestal-al-rescate-del-eucalipto/>

Chen, B., Li, L., Shi, Y., & Duffy, C. (2017, marzo). *Understanding watershed hydrogeochemistry: 1. Development of RT-Flux-PIHM*. Water Resources Research, 53(3), 2328-2345. Recuperado de

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016WR018934>

Colque, M. (2015). *Categorización de la Erosión Hídrica de la microcuenca de Ranrahirca, aplicando la Ecuación Universal de Pérdida De Suelo (Usle), Yungay-Ancash-2014*

- (Tesis de Grado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Recuperado de <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1185>
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A., & Chávez, G. (2002). *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. Santiago, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/6407>
- Escobar, D. (2019). *Estimación de la erosión hídrica en zona semiárida del norte chileno mediante la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) : el caso de Punitaqui (IV región de Coquimbo)* (Tesis de Maestría). Universidad de Chile. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/173350>
- FAO. (17 de diciembre de 2015). *Erosión, pérdida de carbono orgánico y salinización son las principales amenazas a los suelos de América Latina y el Caribe*. Recuperado de <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/360627/>
- FAO. (2015). *Estado Mundial del Recurso Suelo. Resumen Técnico*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- Febles, J. & Vega, M. (2016, Setiembre). *Estimación del aporte de la erosión hídrica al azolve del embalse Mampostón*. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 37(3), 18-30. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382016000300002
- Gaitan, J., Navarro, M., Tenti, L., Pizarro, M., & Carfagno, P. (2017). *Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina*. Argentina: Ediciones INTA. Recuperado de <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/1981>
- García, J. (2021). *Evaluación de la erosión hídrica mediante diferentes técnicas de medición en dos condiciones de manejo en el centro de México* (Tesis de Maestría). Universidad

- Magliano, P., Fernández, R., Giménez, R., Marchesini, V., Páez, R. & Jobbágy, E. (2016, agosto). *Cambios en la partición de flujos de agua en el Chaco Árido al reemplazar bosques por pasturas*. *Ecología Austral*, 26 (02), 95-106. Recuperado de https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/ecologiaaustral/document/ecologiaaust ral_v026_n02_p095
- Meyer, F. (1994, julio). *Topographic distance and watershed lines*. *Signal Processing*, 38 (1), 113-125. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0165168494900604>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2015). *Cuencas e hidrografía*. Recuperado de <https://www.minagri.gob.pe/portal/54-sector-agrario/cuencas-e-hidrografia>
- Morera, B. (2010). *Dinámica de la producción de sedimentos en la cuenca del Río Santa* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1707>
- Morera, S., Condom. T., Crave, A., Vouchel, P. & Galvez, C. (2011) *Tasas de erosión y dinámica de los flujos de sedimentos en la cuenca del Río Santa, Perú*. *REVISTA PERUANA GEO-ATMOSFÉRICA RPGA*, 25-37. Recuperado de <https://web2.senamhi.gob.pe/?p=revista-geo-2011>
- Nosetto, M. & Jobbágy, E. (2014, enero). *Plantaciones Forestales: sus servicios e impactos*. *Revista: Producción forestal*, 18-20. Recuperado de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/14643>
- Orbegozo, L. & Rodríguez, S. (2018, septiembre). *Erosión Hídrica en la sub cuenca Río Urpay utilizando el Método del Perfil, Huaraz*. *Tzhoecoen: Revista científica institucional*, 10, 473-481. Recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/327938477_EROSION_HIDRICA_EN_LA_SUB_CUENCA_RIO_URPAY_UTILIZANDO_EL_METODO_DEL_PERFIL_HUARAZ

- Pacheco, H., Cevallos, R., & Vines, C. (2019, enero). *Cálculo del factor C de la RUSLE, en la cuenca del río Carache, Trujillo-Venezuela usando imágenes del Satélite Miranda VRSS-1*. Revista Espacios, 40 (3), 6-16. Recuperado de <http://www.revistaespacios.com/a19v40n03/19400306.html>
- Pizarro, R., Morales, C., Vega, L., Olivares, C., Valdés, R., & Balocchi, F. (2009). *Propuesta de un modelo de estimación de erosión hídrica para la región de Coquimbo, Chile [Imagen]*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-7-Tipos-de-erosion-hidrica-Adoptado-de-USDA-2002_fig1_269710187
- Prado, L., & Veiga, M. (1992, julio - agosto). *Relación entre erosión y pérdida de fertilidad del suelo*. Erosion de suelos en America Latina. Santiago, Chile: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/3/t2351s/T2351S06.htm>
- Quispe, T. (2018). *Influencia de la cobertura vegetal en la erosión hídrica del suelo en la comunidad San Mateo, Perú* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3600>
- Rial, M., Varela, C., Álvarez, M., & Díaz, F. (2003). *Aporte de sedimentos de una cuenca y relación de descarga de un río de la zona húmeda española*. Edafología, 10(2), 127-133. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/260514320_Aporte_de_sedimentos_de_una_cuenca_y_relacion_de_descarga_de_un_rio_de_la_zona_humeda_espanola
- Rodriguez, W. (2019). *Evaluación de resultados del monitoreo de calidad del agua de la cuenca rio Moche – La Libertad – Perú, 2014 – 2016* (Tesis de Maestría). Universidad

Nacional de Trujillo. Recuperado de

<https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/15247>

Sabino, E., Felipe, O., & Lavado, W. (2017). *Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú. Nota Técnica N° 002 SENAMHI-DHI-2017*. Recuperado de

<http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/261>

Sabino, E., Felipe, O., & Lavado, W. (2017). *Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú* (Nota Técnica N° 002 SENAMHI-DHI-2017). Lima; Perú:

SENAMHI. Recuperado de <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/261>

Sánchez, F. (2017). *Hidrología Superficial y Subterránea*. Createspace Independent Pub. [Imagen]., 414 pp. Recuperado de https://hidrologia.usal.es/temas/Ciclo_hidrol.pdf

Sanz, M. (2002). *Aportes de sedimentos a embalses y tasas de erosión en distintos sectores de la cuenca del Ebro*. Geogaceta, 32, 223-226. Recuperado de

<http://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/9133>

SEDALIB. (2018). *Diagnóstico hídrico rápido de la cuenca del río moche como fuente de agua y servicios ecosistémicos hídricos para la EPS SEDALIB S.A*. Recuperado de

<http://www.sedalib.com.pe/upload/drive/32019/20190305-5683862528.pdf>

Silva, M. & Quisca, S. (2016, septiembre). *El transporte de sedimentos súbito y los desbordes e inundaciones en ríos de pendiente pronunciada*. XXVII Congreso latinoamericano de hidráulica, 1-2. Recuperado de

http://investigacionesyproyectoshidraulicos.com/web/Material%20Cientifico/Articulos/Mas%20de%201000%20Articulos/939_.pdf

Somarriba, M., Obando, M., & Beltrán, J. (2005). *Manual de métodos sencillos para estimar la erosión hídrica*. Documento No. 502 PASOLAC. Recuperado de

[https://www.researchgate.net/publication/259952614_Manual_de_metodos_sencillos_p
ara_estimar_erosion_hidrica](https://www.researchgate.net/publication/259952614_Manual_de_metodos_sencillos_para_estimar_erosion_hidrica)

Torres, E., Cortés, J, Mejía, E., Exebio, A., Santoa, A., & Delgadillo, M. (2003, enero-marzo).

*Evaluación de la degradación de los suelos en la cuenca "El Josefino", Jesús María,
Jalisco.* Terra Latinoamericana, 21 (1), 117-126. Recuperado de

<https://www.redalyc.org/pdf/573/57321114.pdf>

Vallejos, P., Zamora, G. & Jorge, J. (2018, junio). *Estimación de la tasa sedimentos en la*

*cuenca minera del lago Poopo mediante el modelo potencial de erosión de suelos (EPM)
y tendencias ante variaciones climáticas - Uso de herramientas SIG y teledetección.*

Revista de Medio Ambiente y Minería, 4, 50-67. Recuperado de

<http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2519->

[53522018000100005&script=sci_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2519-53522018000100005&script=sci_arttext)

Vargas, C. (2015). *Gestión integrada del agua de riego en la cuenca baja del Río Moche,*

Trujillo-Perú. (Tesis de Maestría). Recuperado de

[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2793/MAS_GAA_023.pdf?sequenc](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2793/MAS_GAA_023.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[e=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2793/MAS_GAA_023.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Yali, M. (2018). *Modelo de erosión Rusle y coeficiente de aporte de sedimentos (SDR) para la*

estimación del volumen muerto de reservorios, caso de estudio: reservorio Gallito Ciego

(Tesis de Maestría). Universidad Mayor de San Marcos. Recuperado de

<http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10078>

ANEXOS

ANEXO n.º 1. Matriz de consistencia

Matriz de consistencia

IMPACTOS NEGATIVOS DE LA EROSION HIDRICA MEDIANTE EL APORTE DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA ALTA DEL RIO MOCHE, LA LIBERTAD, 2020				
PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	METODOLOGIA
¿Cuáles son los impactos negativos de la erosión hídrica a consecuencia del aporte de sedimentos en la Cuenca Alta del Río Moche, La Libertad, 2020?	Determinar los impactos negativos de la erosión hídrica mediante el aporte de sedimentos en la cuenca alta del río Moche, La Libertad, 2020.	El aporte de sedimentos generados por la erosión hídrica influye en gran medida en los impactos negativos ocasionados en la cuenca alta del río Moche, La Libertad, 2020.	Aporte de sedimentos	Diseño
				Enfoque: Cuantitativo Alcance: Descriptiva Diseño: No experimental - Longitudinal
				Población
				<ul style="list-style-type: none"> • Distrito de Otuzco, Agallpampa y Mache pertenecientes a Cuenca alta del Río Moche con un área de 1 026 Km².

	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE	Muestra
	<p>1. Determinar la cantidad de suelo perdido en la cuenca alta del Río Moche.</p> <p>2. Analizar la perdida de suelo generado en la Cuenca Alta del Río Moche de los años 2003, 2013 y 2020.</p> <p>3. Proponer medidas de mitigación para evitar o disminuir la perdida de suelo en la Cuenca Alta del Río Moche.</p>	<p>- La pérdida de suelo en la zona desnuda es mayor que la zona verde, siendo las épocas de altas y bajas precipitaciones el factor determinante en la diferencia de perdidas de suelos.</p> <p>- La pérdida de suelo en la cuenca alta del Río Moche aumentará en gran medida en los tres años: 2003, 2013 y 2020 y está vinculado estrechamente con los factores climáticos y geomorfológicos de la cuenca alta del río Moche.</p> <p>- Las medidas de mitigación implementadas evitarán que aumente la perdida de suelo en la cuenca alta del río Moche.</p>	<p>Erosión Hídrica</p>	<p>Punto 1: Zona Desnuda con un área de 1 km², localizado en el distrito de Otuzco</p> <p>Punto 2: Zona Verde con un área de 1 km², en el distrito de Agallpampa con Mache.</p>

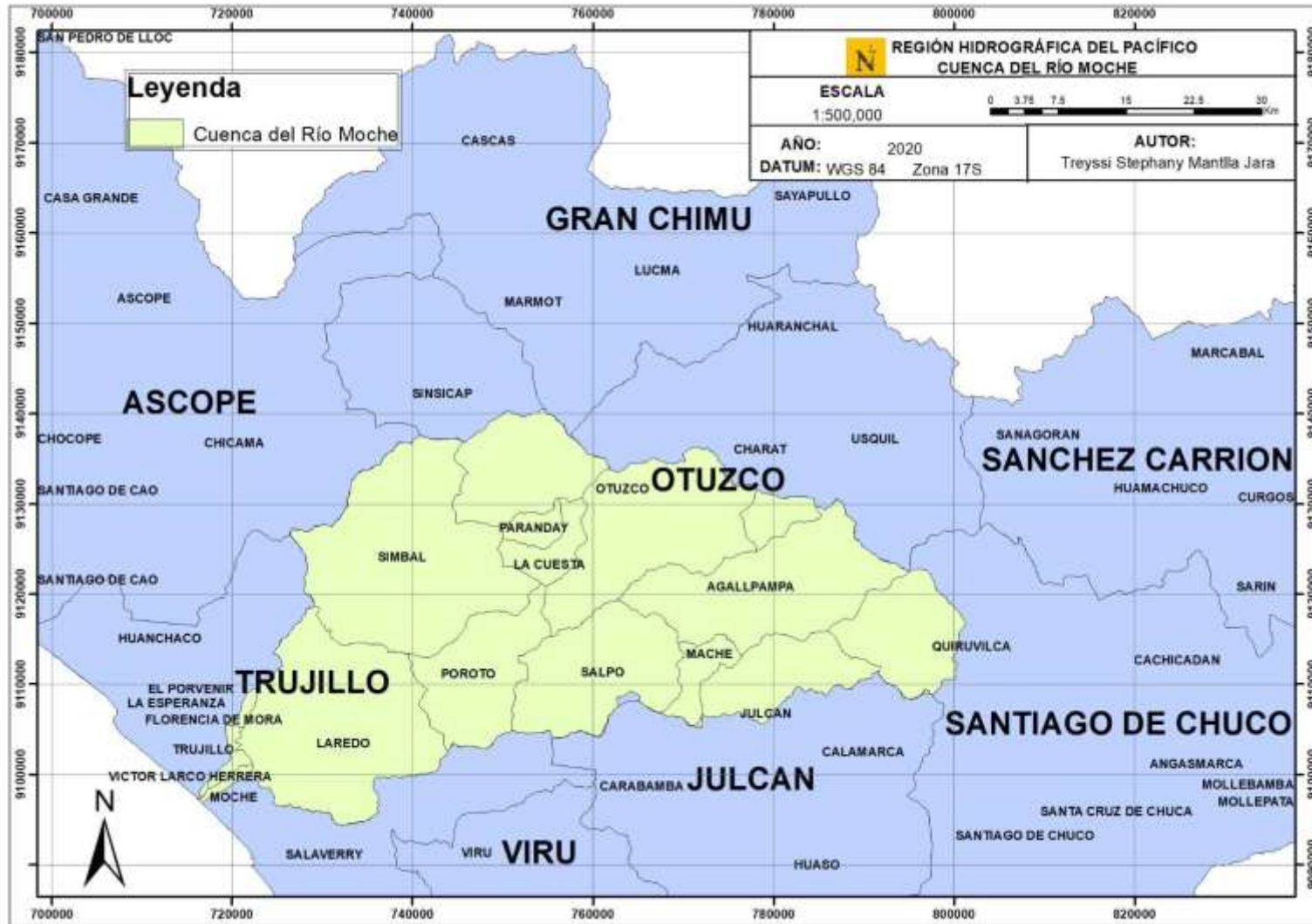
ANEXO n.º 2. Matriz de operacionalización

Matriz de Operacionalización

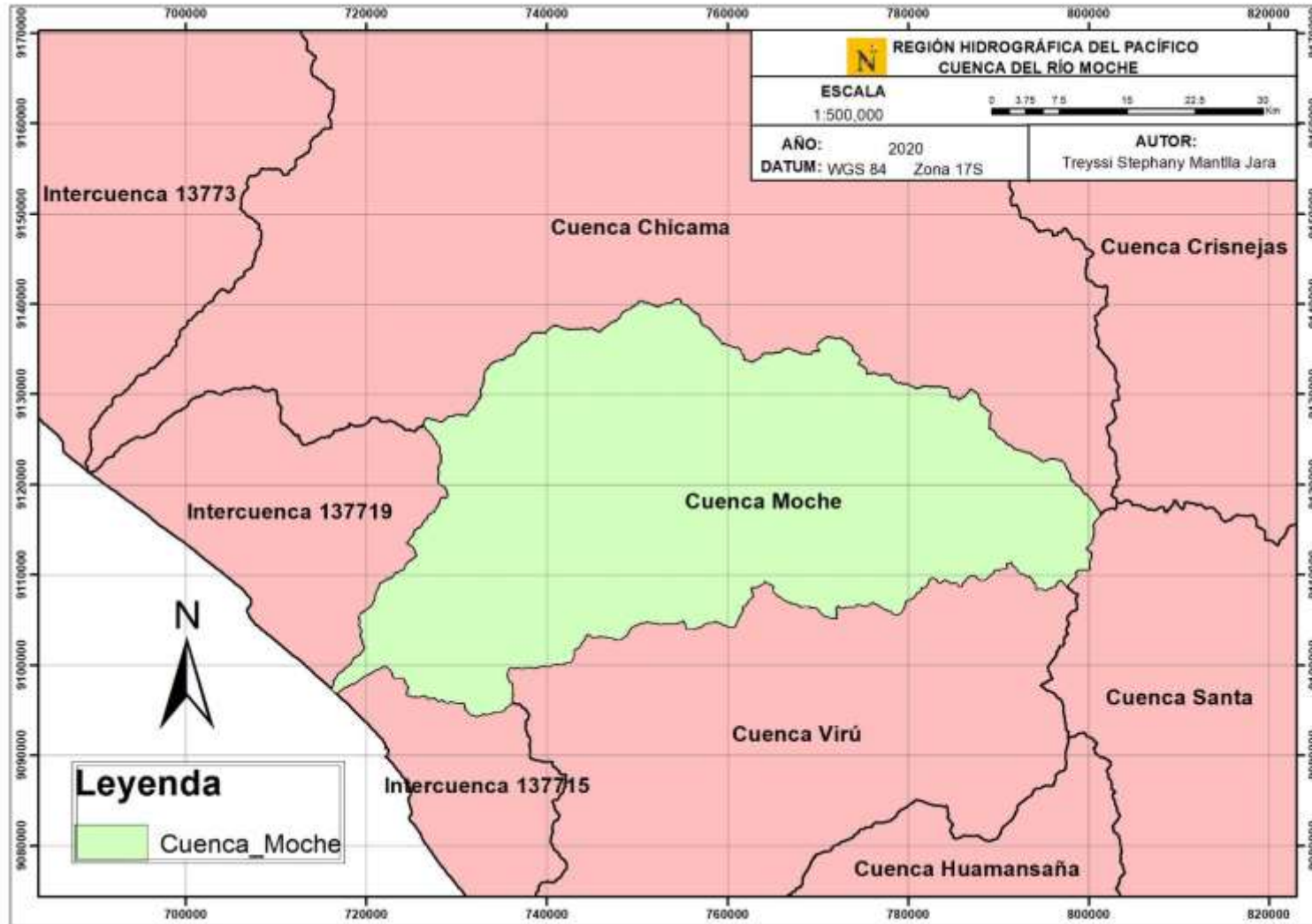
TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES	INSTRUMENTOS
VARIABLE INDEPENDIENTE (V.I)	Aporte de sedimentos	El aporte de sedimentos predice las tasas de transporte de sedimentos de un conjunto dado de parámetros hidráulicos de estado estacionario. (Laqui, 2019)	Una de las formas de calcular el aporte de sedimentos, es aplicando la fórmula del Método de <u>Namba</u> , que consiste en el uso de variables, tanto del área del suelo, como parámetros climatológicos del área de estudio. Sus unidades están en m ³ /km ² /año.	Área de estudio	- Área de zona verde - Área de zona desnuda	m ² Km ²	Google <u>earth</u>
				Precipitación promedio anual	- Precipitaciones (Estaciones climáticas según ANA)	mm/día mm/mes mm/año	Pluviómetro de Estación Meteorológica

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES	INSTRUMENTOS
VARIABLE DEPENDIENTE (V.D)	Erosión hídrica	Es el resultado de la energía producida por el agua al precipitarse sobre la tierra y fluir sobre la superficie de los terrenos. (Tayupanta, 1993)	Se ha establecido que la vegetación influye sobre la erosión aumentando la estabilidad de los agregados del suelo y la propia coherencia de éste, protegiéndolo del impacto de las gotas de agua, incrementando la capacidad de infiltración y frenando la escorrentía. (García, 2004)	Características del suelo	Cobertura vegetal	---	- Google earth - Arcgis
				Pérdida de suelo	Aporte de sedimentos	m ³ /km ² -año t	Fórmula de Namba

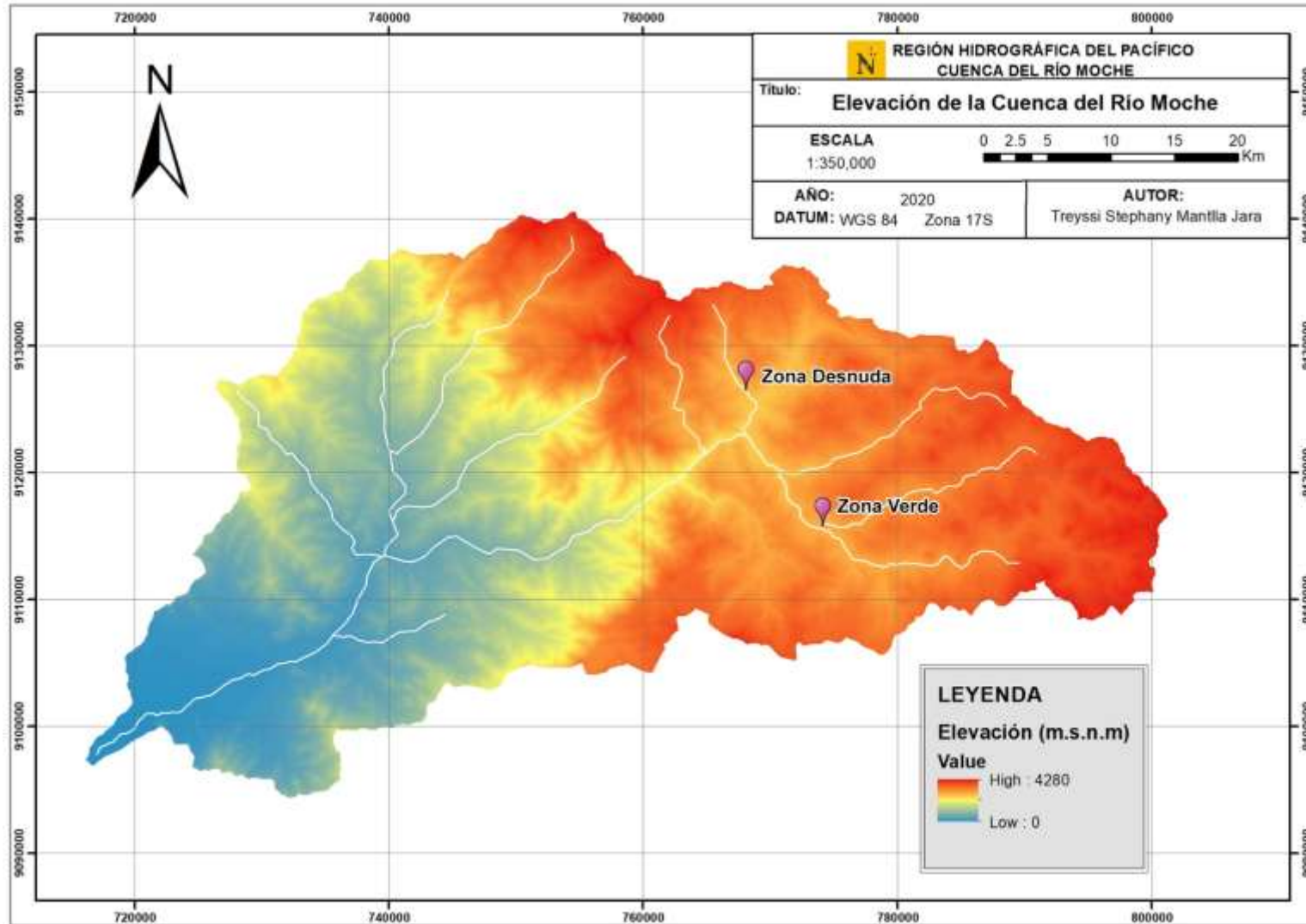
ANEXO n.º 3. Distritos y provincias dentro de la cuenca del Río Moche y sus alrededores



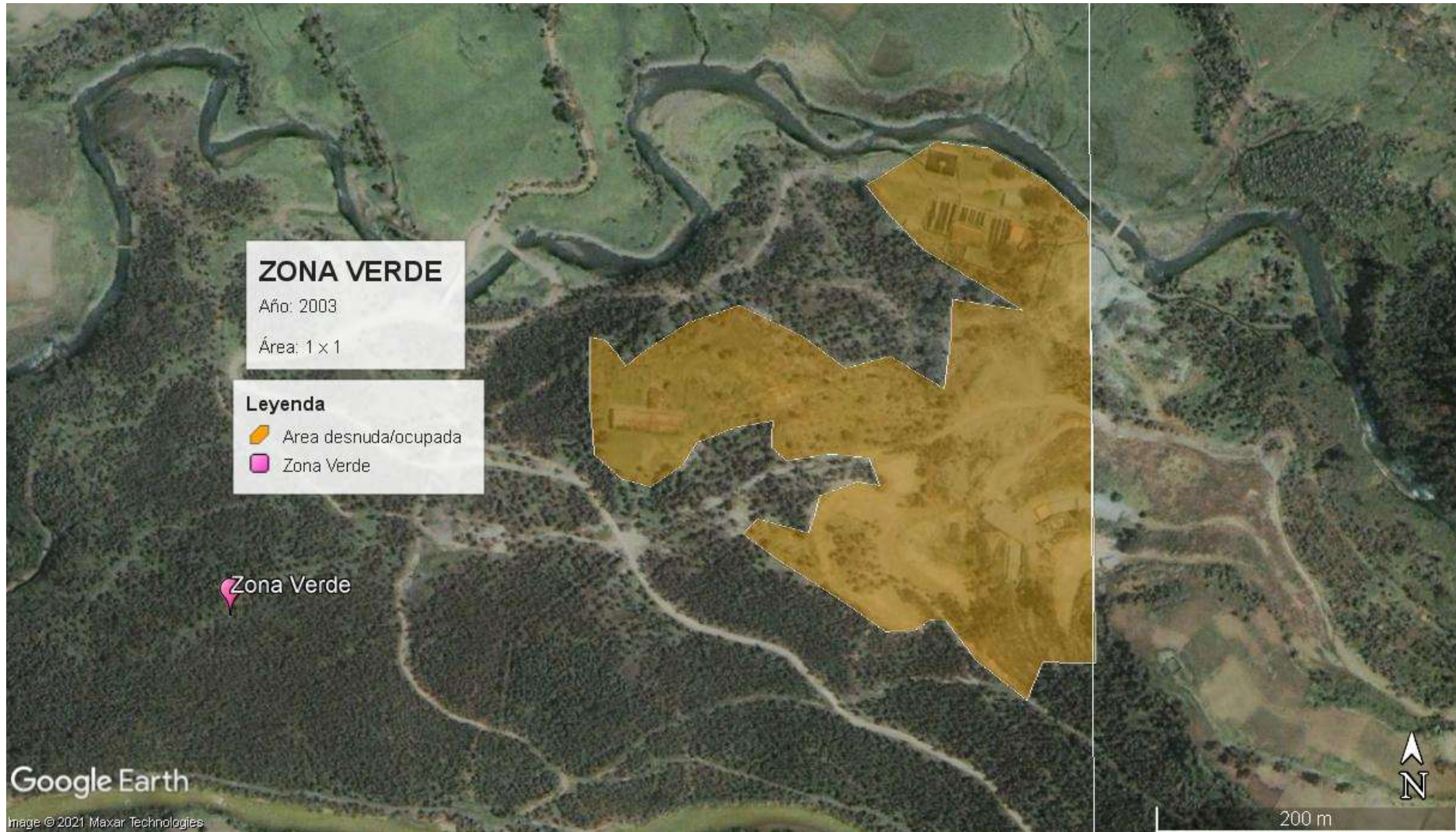
ANEXO n.º 4. Limitaciones de la cuenca del Río Moche



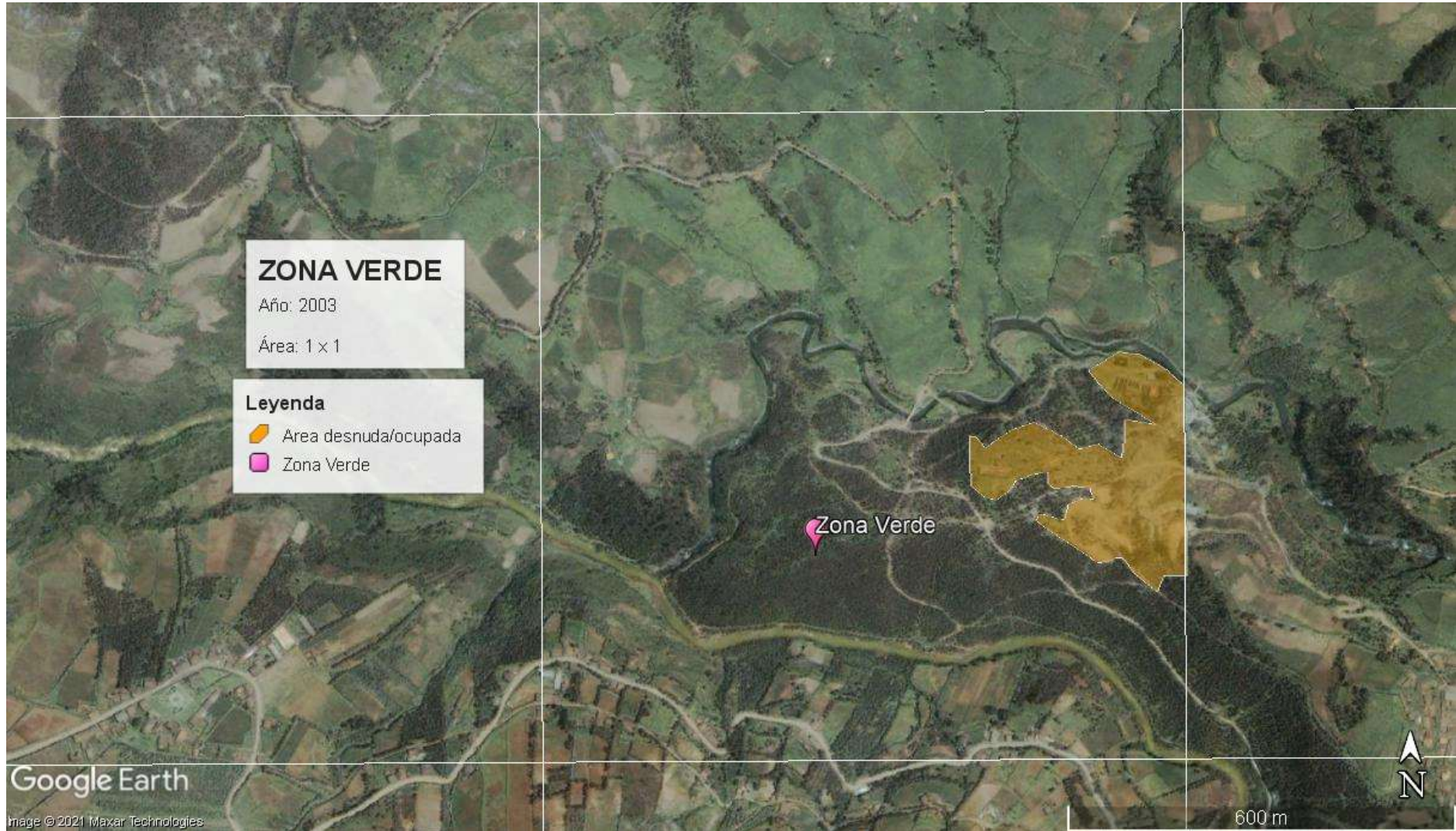
ANEXO n.º 5. Modelo de Elevación de la Cuenca del Río Moche



ANEXO n.º 6. 2003 – Delimitación de la Zona Verde (Dimensión 1:200)



ANEXO n.º 7. 2003 - Delimitación de la Zona Verde (Dimensión 1:600)



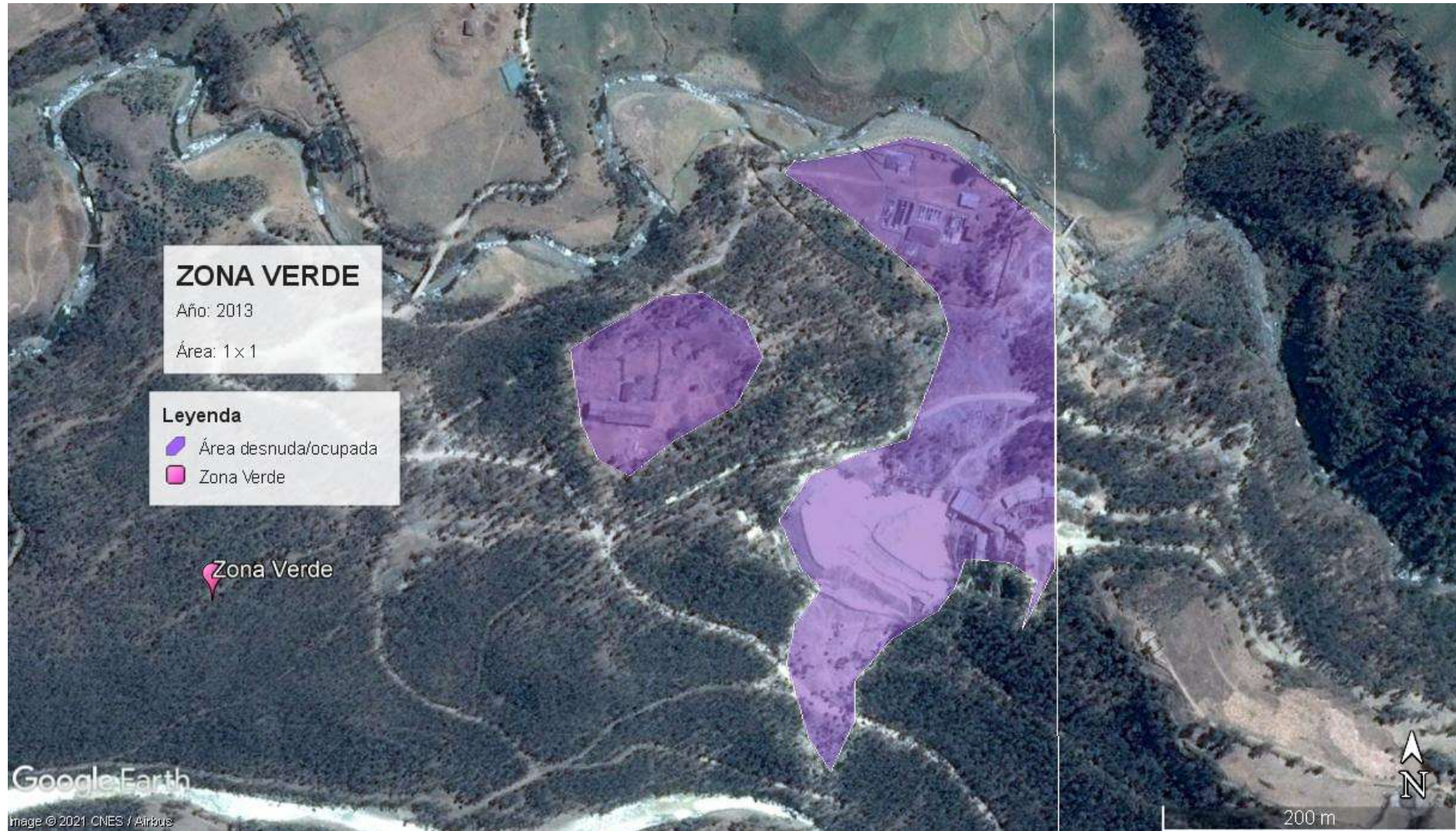
ANEXO n.º 8. 2003 - Delimitación de la Zona Desnuda (Dimensión 1:200)



ANEXO n.º 9. 2003 - Delimitación de la Zona Desnuda (Dimensión 1:500)



ANEXO n.º 10. 2013 - Delimitación de la Zona Verde (Dimensión 1:200)



ANEXO n.º 11. 2013 - Delimitación de la Zona Verde (Dimensión 1:600)



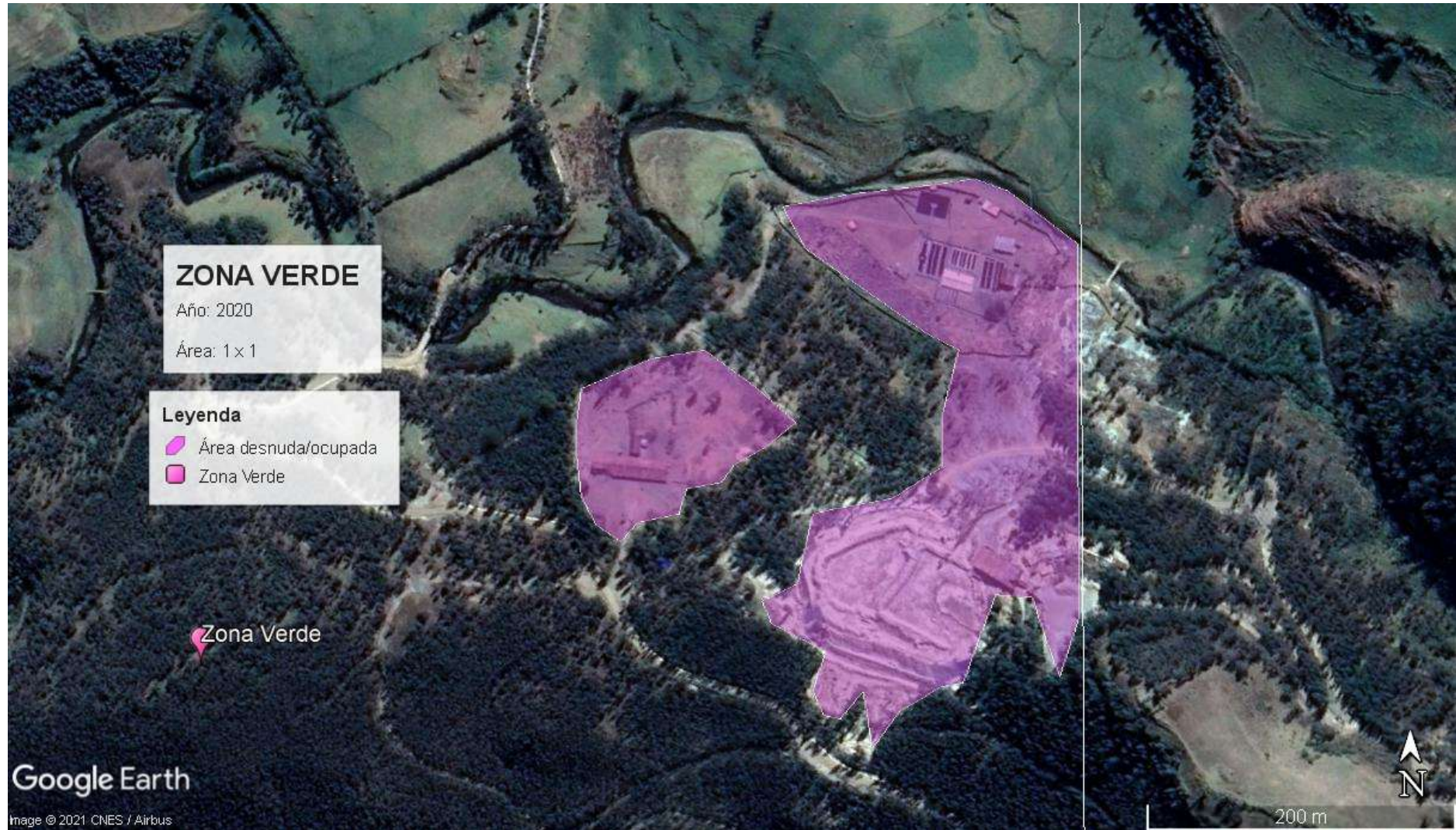
ANEXO n.º 12. 2013 - Delimitación de la Zona Desnuda (Dimensión 1:200)



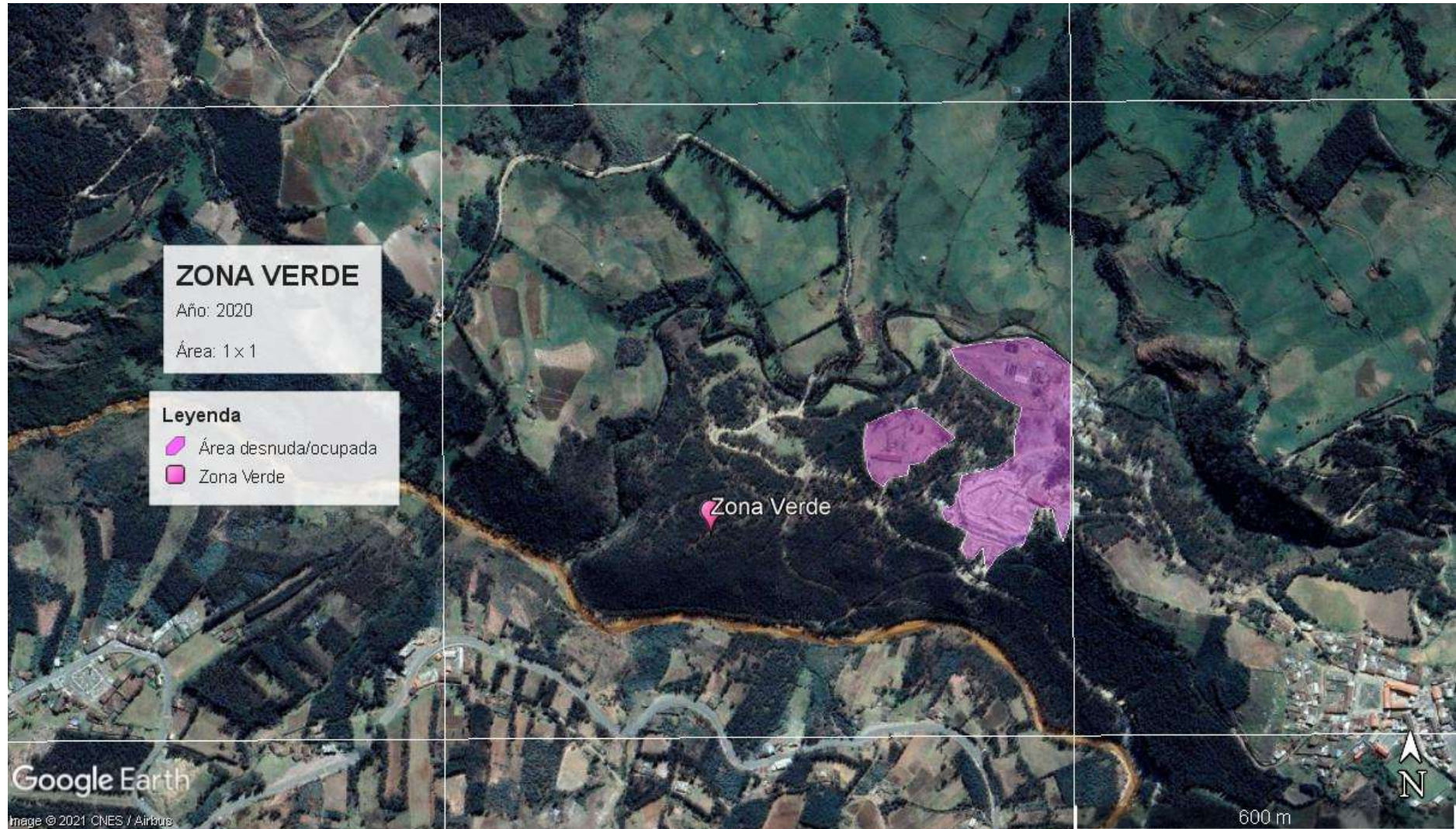
ANEXO n.º 13. 2013 - Delimitación de la Zona Desnuda (Dimensión 1:600)



ANEXO n.º 14. 2020 - Delimitación de la Zona Verde (Dimensión 1:200)



ANEXO n.º 15. 2020 - Delimitación de la Zona Verde (Dimensión 1:600)



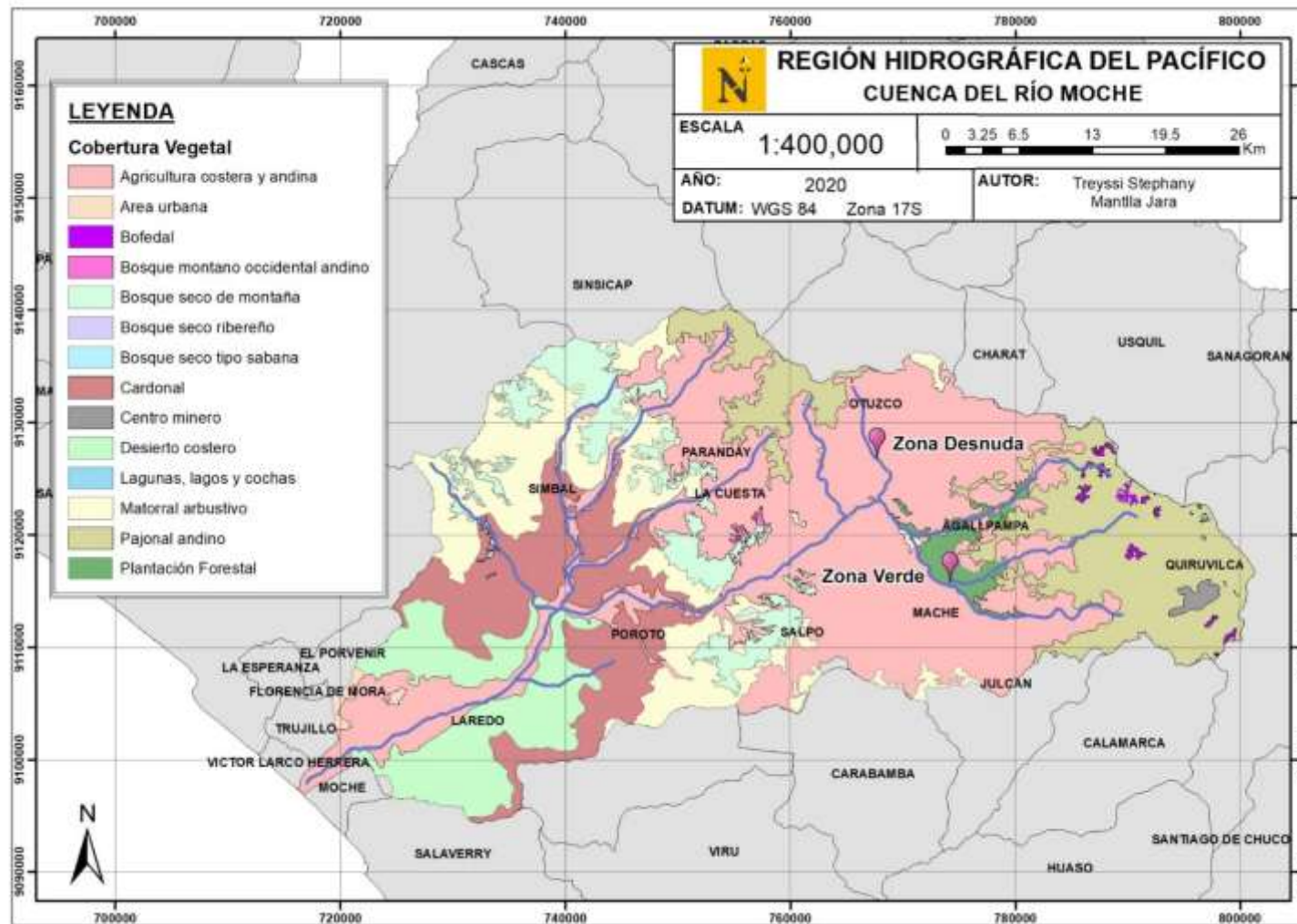
ANEXO n.º 16. 2020 - Delimitación de la Zona Desnuda (Dimensión 1:300)



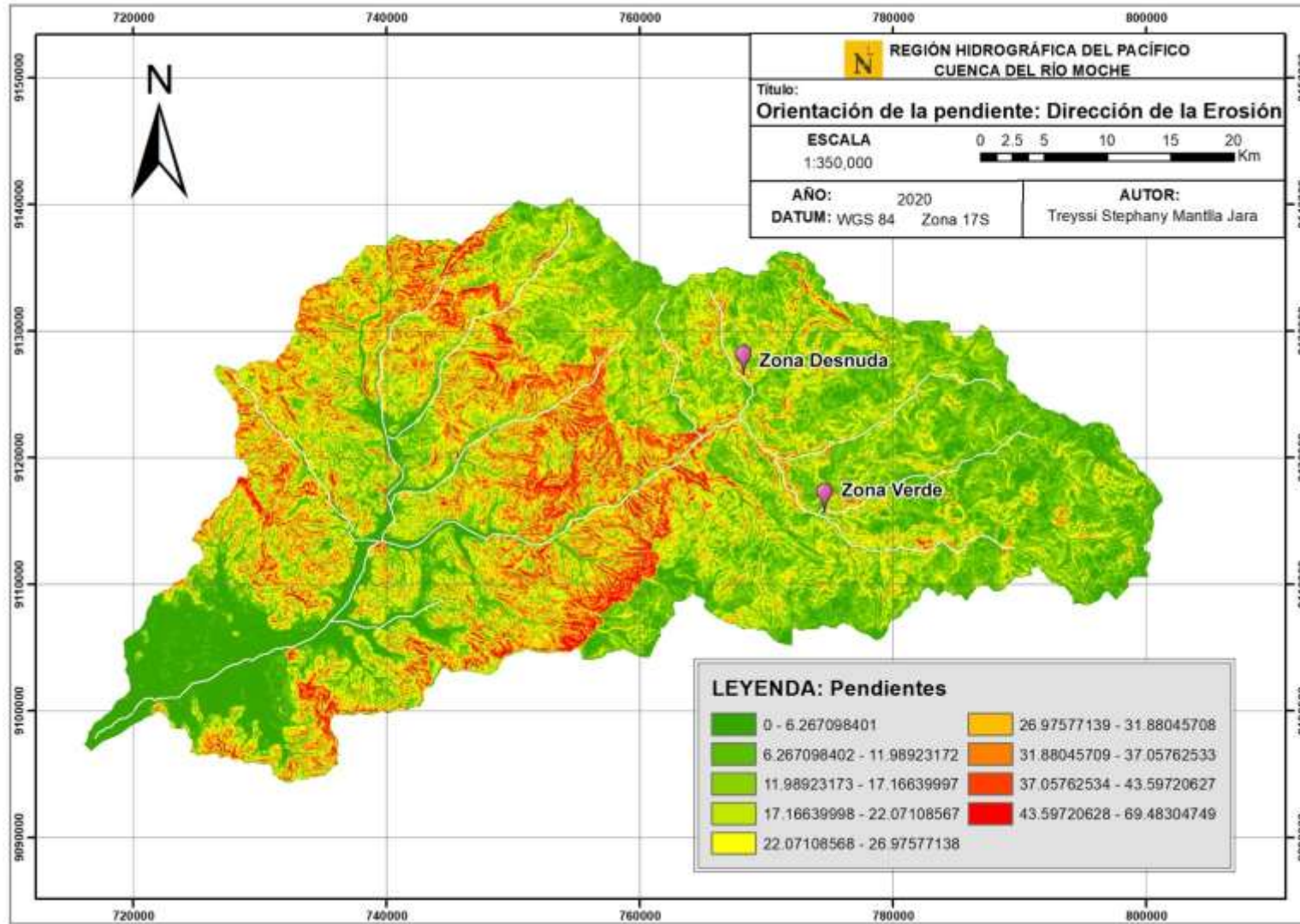
ANEXO n.º 17. 2020 - Delimitación de la Zona Desnuda (Dimensión 1:600)



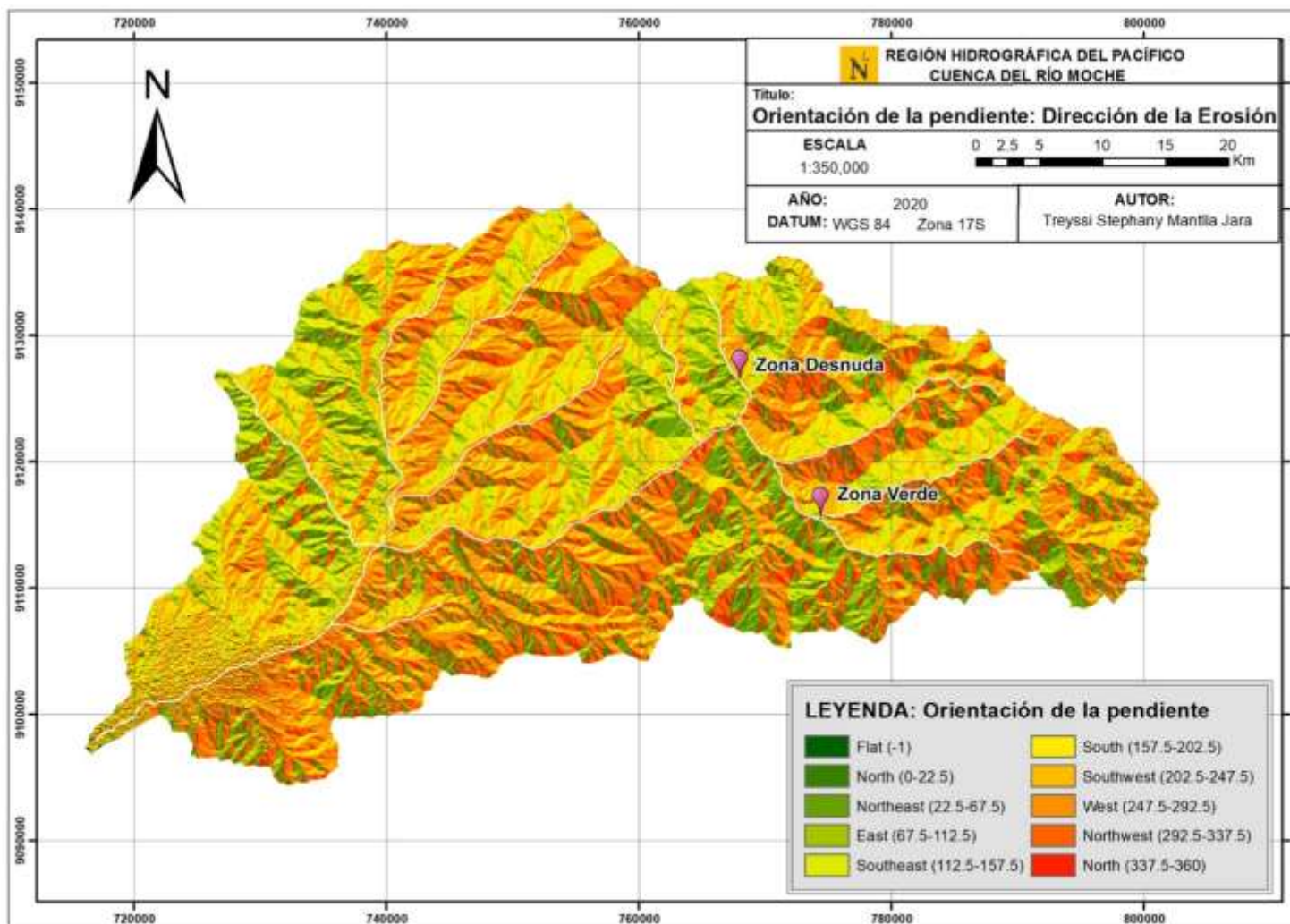
ANEXO n.º 18. Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Moche



ANEXO n.º 19. Pendientes de la Cuenca Alta del Río Moche



ANEXO n.º 20. Orientación de la pendiente: dirección de la erosión de la Cuenca Alta del Río Moche



Zona Verde

Época de Alta Precipitación: Octubre a abril

a) 2003

PP (mm)	684.78	
H (m.s.n.m)	1480	4280 - 2800
Area Verde (Km²)	0.939335	
Area Desnuda (Km²)	0.060665	
F (%)	1548.40	(AV-AD)*100

En donde intervienen los siguientes parámetros:

P= Precipitación promedio anual (mm)

H= Desnivel máximo de cotas en la cuenca (m) entre las más altas y la salida de la cuenca

F= Relación entre áreas de suelo desnudo y las cubiertas con vegetación (%)

$$AS \text{ (m}^3\text{/km}^2\text{-año)} = 0.292(684.78) + 0.474(1480) - 0.118(1548.40) + 2.452$$

AS = 721.22 m³/km²-año

b) 2013

PP (mm)	619.97	
H (m.s.n.m)	1480	4280 - 2800
Area Verde (Km²)	0.947736	
Area Desnuda (Km²)	0.052264	
F (%)	1813.36	(AV/AD)*100

$$AS \text{ (m}^3\text{/km}^2\text{-año)} = 0.292(619.97) + 0.474(1480) - 0.118(1813.36) + 2.452$$

AS = 671.03 m³/km²-año

c) 2020

PP (mm)	657.91	
H (m.s.n.m)	1480	4280 - 2800
Area Verde (Km ²)	0.945698	
Area Desnuda (Km ²)	0.054302	
F (%)	1741.55	(AV/AD)*100

$$AS \text{ (m}^3\text{/km}^2\text{-año)} = 0.292(657.91) + 0.474(1480) - 0.118(1741.55) + 2.452$$

AS = 690.58 m³/km²-año

Época de Bajas Precipitaciones: Mayo a septiembre

a) 2003

PP (mm)	102.72	
H (m.s.n.m)	1480	4280 - 2800
Area Verde (Km ²)	0.939335	
Area Desnuda (Km ²)	0.060665	
F (%)	1548.40	(AV/AD)*100

$$AS \text{ (m}^3\text{/km}^2\text{-año)} = 0.292(102.72) + 0.474(1480) - 0.118(1548.40) + 2.452$$

AS = 551.26 m³/km²-año

b) 2013

PP (mm)	73.43	
H (m.s.n.m)	1480	4280 - 2800
Area Verde (Km²)	0.947736	
Area Desnuda (Km²)	0.052264	
F (%)	1813.36	(AV/AD)*100

$$AS \text{ (m}^3\text{/km}^2\text{-año)} = 0.292(73.43) + 0.474(1480) - 0.118(1813.36) + 2.452$$

AS = 511.44 m³/km²-año

c) 07/2020

PP (mm)	74.72	
H (m.s.n.m)	1480	4280 - 2800
Area Verde (Km²)	0.945698	
Area Desnuda (Km²)	0.054302	
F (%)	1741.55	(AV/AD)*100

$$AS \text{ (m}^3\text{/km}^2\text{-año)} = 0.292(74.72) + 0.474(1480) - 0.118(1741.55) + 2.452$$

AS = 520.29 m³/km²-año

Zona desnuda

Época de Alta Precipitación: Octubre a abril

a) 2003

PP (mm)	684.78	
H (m.s.n.m)	1480	4280 - 2800
Area Verde (Km ²)	0.039228	
Area Desnuda (Km ²)	0.960772	
F (%)	4.08	(AV/AD)*10 0

$$AS \text{ (m}^3\text{/km}^2\text{-año)} = 0.292(684.78) + 0.474(1480) - 0.118(4.08) + 2.452$$

AS = 903.45 m³/km²-año

b) 2013

PP (mm)	619.97	
H (m.s.n.m)	1480	4280 - 2800
Area Verde (Km ²)	0.036564	
Area Desnuda (Km ²)	0.963436	
F (%)	3.80	(AV/AD)*10 0

$$AS \text{ (m}^3\text{/km}^2\text{-año)} = 0.292(619.97) + 0.474(1480) - 0.118(3.80) + 2.452$$

AS = 884.56 m³/km²-año

c) 2020

PP (mm)	657.91	
H (m.s.n.m)	1480	4280 - 2800
Area Verde (Km ²)	0.041117	
Area Desnuda (Km ²)	0.958883	
F (%)	4.29	(AV/AD)*100

$$AS \text{ (m}^3\text{/km}^2\text{-año)} = 0.292(657.91) + 0.474(1480) - 0.118(4.29) + 2.452$$

AS = 895.58 m³/km²-año

Época de Bajas Precipitaciones: Mayo a septiembre

a) 2003

PP (mm)	102.72	
H (m.s.n.m)	1480	4280 - 2800
Area Verde (Km ²)	0.039228	
Area Desnuda (Km ²)	0.960772	
F (%)	4.08	(AV/AD)*100

$$AS \text{ (m}^3\text{/km}^2\text{-año)} = 0.292(102.72) + 0.474(1480) - 0.118(4.08) + 2.452$$

AS = 733.48 m³/km²-año

b) 2013

PP (mm)	73.43	
H (m.s.n.m)	1480	4280 - 2800
Area Verde (Km²)	0.036564	
Area Desnuda (Km²)	0.963436	
F (%)	3.80	(AV/AD)*100

$$AS \text{ (m}^3\text{/km}^2\text{-año)} = 0.292(73.43) + 0.474(1480) - 0.118(3.80) + 2.452$$

AS = 724.97 m³/km²-año

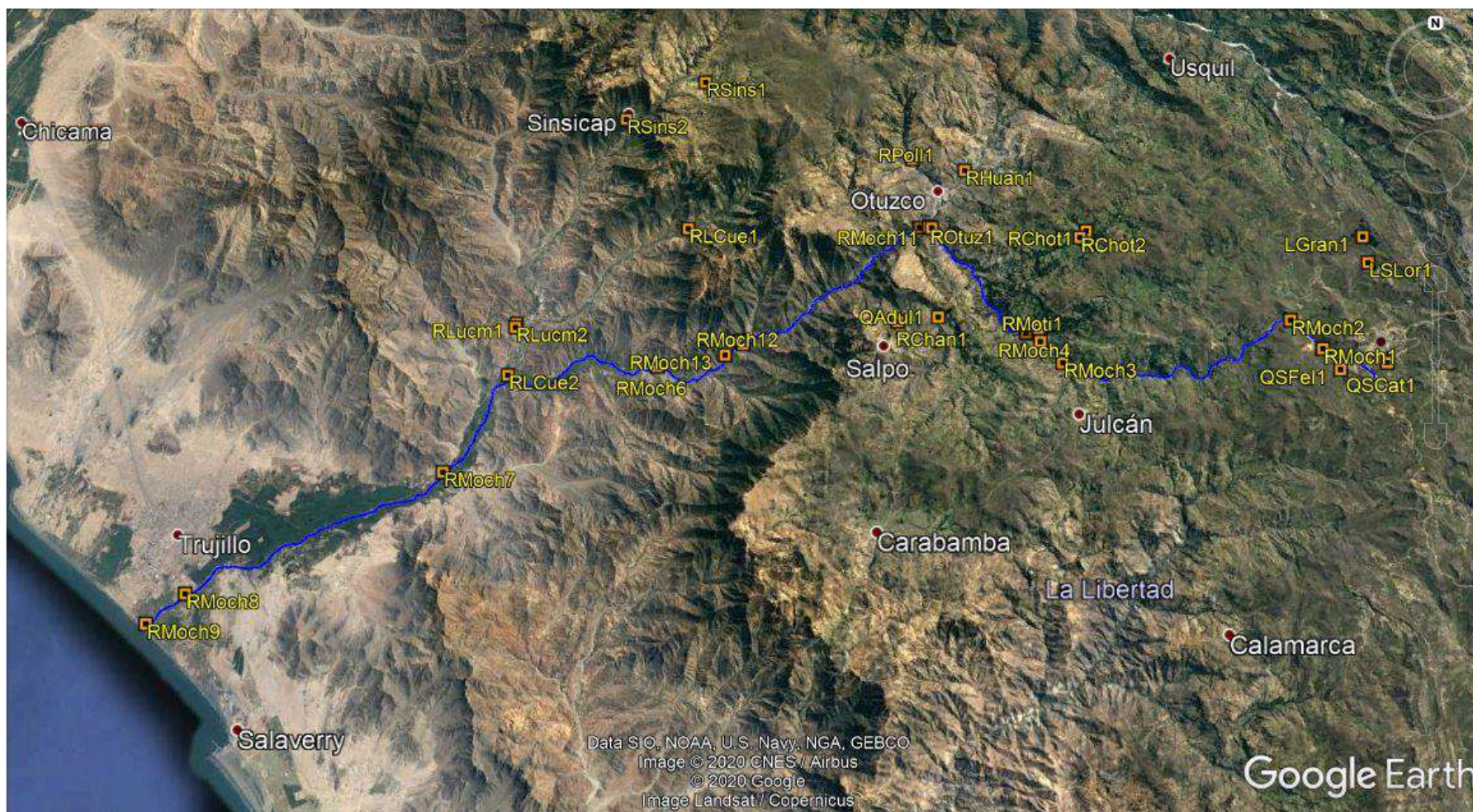
c) 2020

PP (mm)	74.72	
H (m.s.n.m)	1480	4280 - 2800
Area Verde (Km²)	0.041117	
Area Desnuda (Km²)	0.958883	
F (%)	4.29	(AV/AD)*100

$$AS \text{ (m}^3\text{/km}^2\text{-año)} = 0.292(74.72) + 0.474(1480) - 0.118(4.29) + 2.452$$

AS = 725.28 m³/km²-año

ANEXO n.º 222. Mapa de la red de puntos de monitoreo en la cuenca del río Moche



Fuente: ANA