

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS



**“EL IMPACTO DE EL NIÑO COSTERO (2016/2017) EN LOS SUELOS AGRÍCOLAS DE LA PARTE
BAJA DEL VALLE DEL RÍO HUARMEY, ANCASH.”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE PROFESIONAL EN GEOGRAFÍA Y MEDIO AMBIENTE

MARIANA BUTRICH CISNEROS

ASESOR: DR. CARLOS HENRIQUE TAVARES CORRÊA

Lima, Julio, 2018

Agradecimientos

Esta tesis es el resultado de un largo y trabajoso proceso en el que me gustaría agradecer a varias personas que me acompañaron, ayudaron, motivaron y me brindaron su apoyo. Sin ustedes, este trabajo de investigación no hubiera sido posible.

Quisiera darle las gracias a mi asesor de tesis, el Doctor Carlos Tavares, por su valioso tiempo y su apoyo durante todo el proceso; introduciéndome al tema, acompañándome a la salida de campo, guiándome y aconsejándome con su conocimiento y experiencia. Quisiera agradecer también al Magister Gustavo Rondón por todo su apoyo en la salida de campo y en el proceso de elaboración de mapas. Gracias por los aportes, consejos y sobre todo la motivación constante.

Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional durante toda mi carrera y sobre todo durante el tiempo que estuve dedicada a realizar esta tesis. Su paciencia y motivación fueron claves para poder culminar con la etapa final.

Agradezco a mis compañeras Carolina García y Ximena Quezada por su apoyo y consejos durante la elaboración de este trabajo de investigación. Quisiera agradecer al grupo GRIDES y a la Doctora Nadia Gamboa por permitirme utilizar los equipos y materiales del Laboratorio de Química Ambiental y a Cecilia Corcuera por guiarme en la etapa de los análisis de Laboratorio. Asimismo, gracias al Dirección de Gestión de la Investigación de la PUCP por otorgarme la beca del PADET 2017, con código 2017-6-0054, por el apoyo y el compromiso.

Finalmente, quisiera agradecer a todos aquellos que estuvieron ahí a lo largo del proceso de esta investigación: profesores, compañeros, y a mis amigos por darme fuerzas y motivarme en todo momento.

Resumen

A inicios del año 2017, la costa peruana fue escenario de El Niño Costero, presentando lluvias excepcionales que causaron el incremento del caudal de los ríos, provocando desbordes y consecuentemente, inundaciones. La provincia de Huarney fue fuertemente impactada, siendo el sector agrícola uno de los más afectados. Ante esta problemática, el objetivo de esta investigación es evaluar los impactos de dicho evento en términos de las características de suelo y la extensión de áreas agrícolas. La metodología utilizada consiste en el reconocimiento y delimitación del área de estudio para definir transectos en los que se levantó el perfil topográfico y se recolectaron muestras de suelo para analizar posteriormente las propiedades físicas y químicas en el laboratorio. Se hizo un análisis espacial-temporal con métodos de teledetección, cartografía e información de campo para calcular la extensión de áreas agrícolas afectadas, identificar estructuras y cambios en la dinámica fluvial. Los resultados de las características de suelo fueron heterogéneos. No fue posible calcular el impacto sobre estos debido a la ausencia de información previa al evento y tampoco se pudo distinguir un patrón determinado entre áreas afectadas y no afectadas. En términos de extensión, la pérdida de tierras agrícolas fue de 155 hectáreas ubicadas principalmente en los márgenes del río. Se concluye que los impactos de las crecidas durante El Niño Costero se manifiestan principalmente en la geomorfología, con pérdidas de tierras agrícolas, una dinámica de canales entrelazados reordenados y unidades geomorfológicas (barras y terrazas) como resultado. Pese a que no se pudo estimar el impacto en la calidad de los suelos agrícolas, la información obtenida queda como base para futuras comparaciones temporales y/o espaciales.

Abstract

At the beginning 2017, the Peruvian coast was the scenario of El Niño Costero, presenting exceptional rains that caused an increase in the flow rate of the rivers, causing overflows and consequently, floods. The province of Huarney was strongly impacted, with the agricultural sector being one of the most affected. Faced with this problem, the objective of this research is to evaluate the impacts of such event in terms of soil characteristics and the extension of agricultural areas. The methodology used consisted in the recognition and delimitation of the study area to define transects in which the topographic profile was raised and soil samples were collected to later analyze the physical and chemical properties in the laboratory. A spatio-temporal analysis was made with remote sensing methods, cartography and field information to calculate the extent of affected agricultural areas, identify structures and changes in fluvial dynamics. The results of the soil characteristics were heterogeneous. It was not possible to calculate the impact on these due to the lack of information prior to the event and it was not possible to distinguish a specific pattern between affected and unaffected areas. In terms of extension, the loss of agricultural land was 155 hectares located mainly on the banks of the river. Changes in fluvial dynamics were associated with the instability of the braided channel pattern, presenting multiple channels after the event. It is concluded that the impacts of floods during El Niño Costero are manifested mainly in the geomorphology, with losses of agricultural land, a dynamic of reordered interlaced channels and geomorphological units (bars and terraces) as a result. Although the impact on the quality of agricultural soils could not be estimated, the information obtained is the basis for future temporal and/or spatial comparisons.

Tabla de contenido

Índice de Figuras	8
Índice de Tablas	10
1. Introducción	11
2. Pregunta Central de Investigación	14
3. Objetivos.....	14
4. Marco Teórico	15
4.1. Reseña histórica del efecto de las inundaciones en la agricultura	15
4.2. El Fenómeno de El Niño en la agricultura de la costa peruana	16
4.3. El Niño Costero del 2017.....	17
4.4. ¿Qué es el suelo?	18
4.4.1. Calidad del suelo y fertilidad.....	19
4.5. Geomorfología fluvial.....	29
4.5.1. Hidráulica fluvial.....	29
4.5.2. Erosión fluvial.....	29
4.5.3. Transporte de sedimentos	31
4.5.4. Deposición de sedimentos.....	32
4.5.5. Morfología de canal - entrelazado.....	32
4.5.6. Dinámica de canales – migración.....	33
4.5.7. Unidades geomorfológicas	35
4.5.8. Inundaciones fluviales.....	37
4.6. Estudios relativos a la calidad del suelo por el impacto de inundaciones.....	38
5. Área de estudio	39
5.1. Ubicación y extensión	39
5.2. Componentes físicos	40
5.2.1. Aspecto climático	40
5.2.2. Hidrografía	40
5.2.3. Geología y geomorfología.....	42

5.2.4.	Capacidad de uso mayor de suelo	42
5.3.	Componentes sociales	43
5.3.1.	Demografía.....	43
5.3.2.	PEA y actividades económicas	43
5.3.3.	Agricultura.....	44
5.3.4.	Impactos de El Niño Costero 2016/2017 sobre la agricultura	46
6.	Metodología	50
6.1.	Reconocimiento y delimitación del área de estudio.....	51
6.1.1.	Definición de transectos y puntos de muestreo	51
6.2.	Toma de muestras de suelo	51
6.3.	Levantamiento del perfil topográfico cualitativo de los transectos	52
6.4.	Análisis muestras de suelo en laboratorio	53
6.4.1.	Preparación de las muestras.....	53
6.4.2.	Determinación de parámetros físicos.....	54
6.4.3.	Determinación de parámetros químicos	58
6.5.	Análisis espacial-temporal de área afectada	62
6.5.1.	Recolección de imágenes satelitales.....	62
6.5.2.	Pre-procesamiento de imágenes satelitales.....	63
6.5.3.	Delimitación y cálculo de áreas afectadas	64
6.5.4.	Digitalización de los cambios en la dinámica de canales	64
7.	Resultados	66
7.1.	Puntos de muestreo y transectos	66
7.2.	Resultados de laboratorio (características físicas y químicas del suelo)	67
7.2.1.	Textura	67
7.2.2.	Potencial de Hidrógeno y Conductividad Eléctrica	69
7.2.3.	Materia orgánica.....	70
7.2.4.	Nitrógeno, Potasio y Fósforo	71
7.3.	Características físico-químicas del suelo y geomorfológicas de los transectos.....	73

7.4. Áreas agrícolas perdidas y dinámica fluvial	79
8. Discusión.....	82
9. Conclusiones y Recomendaciones.....	88
10. Bibliografía	89
11. Anexos.....	95



Índice de Figuras

Figura 1: Desborde del Río Huarmey. (Andina, 2017)	13
Figura 2: Triángulo de Textura del Suelo (USDA).....	22
Figura 3: Clasificación genética de los canales fluviales basada en el sistema de canales y tipo de carga de sedimento (Schumm, 1981).....	35
Figura 4: Mapa de ubicación de área de estudio - parte baja del Valle del Río Huarmey.....	39
Figura 5: Cuenca hidrográfica del Río Huarmey.....	41
Figura 6: PEA y actividades económicas de Huarmey.....	44
Figura 7: a. Desborde del río y áreas de cultivo perdidas/afectadas. áreas de cultivo afectadas. c. Cauce antiguo del rio (parte baja de la imagen) y áreas de cultivo perdidos. d. Áreas de cultivo en proceso de desmoronamiento. e. Canal y bocatoma destruido	48
Figura 8: Áreas agrícolas afectadas siete meses después de las inundaciones.....	49
Figura 9: Resumen - Estructura Metodológica	50
Figura 10: Toma de muestra de suelo a una profundidad de 15cm y colocada en bolsa ziploc	52
Figura 11: Medición de distancia entre las dos varillas utilizando cinta métrica	53
Figura 12: Medición de inclinación entre las dos varillas utilizando un clinómetro.....	53
Figura 13: Preparación de la muestra	54
Figura 14: Procedimiento para analizar la textura de suelo	56
Figura 15: Procedimiento para determinar la humedad del suelo.....	57
Figura 16: Procedimiento para determinar la conductividad eléctrica y el pH	59
Figura 17: Calibración del conductímetro y medidor de pH.....	59
Figura 18: Procedimiento para cálculo de materia orgánica	60
Figura 19: Mapa de puntos de muestreo de suelo y transectos de perfiles topográficos cualitativos.....	66
Figura 20: Distribución de muestras de suelo en triangulo de clases texturales	68
Figura 21: Transecto A - Mapa de puntos de muestreo con resultados de laboratorio y perfil topográfico del transecto	74
Figura 22: Transecto B - Mapa de puntos de muestreo con resultados de laboratorio y perfil topográfico del transecto	76
Figura 23: Transecto C - Mapa de puntos de muestreo con resultados de laboratorio y perfil topográfico del transecto	78
Figura 24: Mapa de áreas agrícolas. a) áreas agrícolas previas al evento El Niño Costero, B) áreas agrícolas posteriores al evento El Niño Costero, C) áreas agrícolas perdidas por el evento El Niño Costero	80

Figura 25: Cambios en la dinámica fluvial. Canal del río previo y posterior al evento del niño 16/17 81

Figura 26: Evidencia de erosión lateral en el transecto A..... 84



Índice de Tablas

Tabla 1: Descripción de las principales clases de partículas del suelo (USDA simple).....	21
Tabla 2: Clasificación de suelos en base a la salinidad en extracto de agua con relación 1:1 según Dahnke y Whitney, 1988	24
Tabla 3: Evaluación del pH del suelo (USDA)	25
Tabla 4: Rangos óptimos y tolerables de potencial de hidrógeno según cultivo	26
Tabla 5: Criterios para evaluar el porcentaje de materia orgánica en el suelo	26
Tabla 6: Criterios para evaluar la calidad del suelo en base al contenido de Nitrógeno:.....	27
Tabla 7: Criterios para evaluar la calidad del suelo en base al contenido de potasio	28
Tabla 8: Criterios para evaluar la calidad del suelo en base al contenido de fósforo	28
Tabla 9: Precipitación por unidades hidrográficas de Río Huarmey.....	40
Tabla 10: Superficie Agrícola por tamaño de Unidad Agropecuaria.....	45
Tabla 11: Áreas afectadas/perdidas por cultivo	47
Tabla 12: Imágenes SENTINEL seleccionadas	63
Tabla 13: Características de imágenes satelitales Sentinel 2.....	63
Tabla 14: Clases texturales de las muestras de suelo.....	67
Tabla 15: Resultados de pH y Conductividad Eléctrica de las muestras de suelo	70
Tabla 16: Resultados de materia orgánica.....	71
Tabla 17: Resultados de % de nitrógeno y ppm de potasio y fósforo calculado en el laboratorio de la UNALM.....	72
Tabla 18: Hectáreas agrícolas previas y posteriores al evento de la inundación y hectáreas agrícolas perdidas como resultado	79

1. Introducción

Tanto El Niño Costero como el Fenómeno El Niño son eventos episódicos que alteran el sistema oceánico climático de la cuenca del Pacífico (Wells, 1990). El calentamiento anómalo del Pacífico Tropical, asociado a impactos climáticos como también a impactos económicos a nivel mundial, ha ocurrido en intervalos de años variados, teniendo como primer registro aquellos escritos por Francisco Pizarro en 1525 (Enfield, 1989). Pese a que en el Perú ambos eventos tienen efectos similares a nivel local, las diferencias se encuentran en el alcance y la extensión de afectaciones a escala mundial (Estudio Nacional del Fenómeno El Niño, 2017).

El clima desértico en la costa del Perú es responsable de la correspondencia directa que existe entre los eventos de inundaciones y los eventos El Niño Costero. La hiperaridez de la zona costera está controlada por tres factores: la ubicación del anticiclón del Pacífico Sur, el efecto de sombra de lluvia generado por los Andes y la ubicación de la corriente fría Peruano/Chilena. Solamente durante estos eventos climáticos, estas condiciones se revierten, generando patrones climáticos anómalos que propician precipitaciones significativas en la zona costera del país (Wells, 1990). Durante El Niño Costero, es común que estas fuertes precipitaciones que caen en las vertientes elevadas se traduzcan en inundaciones, sobre todo en la costa norte donde las precipitaciones son más frecuentes y más fuertes (Wells, 1990).

Son estas inundaciones y deslizamientos provocados por las fuertes lluvias las que ponen en riesgo a la población, la infraestructura y las actividades económicas. Centrándonos en la agricultura, esta es una de las actividades económicas más vulnerables a estos eventos; presentándose como una amenaza pero también como una oportunidad. A lo largo de la historia, han habido casos como la agricultura en el valle del río Nilo, donde las inundaciones anuales hacían posible el desarrollo de la agricultura de alto rendimiento gracias a la deposición de suelo fértil con alto contenido de nutrientes (Hughes, 1992) (Bolaños Bozález, 2003). Sin embargo, también se presentaban como una amenaza cuando sobrepasando los niveles habituales de manera precipitada (Bolaños Bozález, 2003). Cuando esto ocurría, las consecuencias negativas se manifestaban en la pérdida de cultivos, la erosión del suelo, la destrucción de infraestructura hidráulica y el hambre.

En el caso peruano, las inundaciones en las costas del norte causadas por eventos climáticos extremos no han sido muy alentadoras para el sector agrario. Los Fenómenos El Niño de 1982-1983 y 1997-1998, impactaron fuertemente los departamentos de la costa norte del país. Se estima que este evento climático de 1982-1983 afectó la producción agropecuaria en 8,2% (Zegarra, 2014). En el caso de 1997-1998, pese

a que se pudieron tomar algunas medidas de prevención ante las fuertes lluvias e inundaciones, los impactos en el sector agropecuario se presentaron como daños a los sistemas de riego y drenaje y pérdida de tierras que se tradujo en pérdida de producción (Galarza & Kámiche, 2012).

Desde diciembre del 2016 hasta abril del 2017 el Perú afrontó El Niño Costero, un evento climático caracterizado por fuertes y prolongadas lluvias e inundaciones que provocaron numerosas pérdidas humanas y materiales principalmente a lo largo de la costa norte y centro del país (López, 2017). Este evento climático visibilizó claramente el alto grado de vulnerabilidad en el cual se encuentra el país frente episodios extremos como este. Las inundaciones causadas por el desborde de los ríos afectaron fuertemente al sector agrícola, generando la pérdida de gran cantidad de hectáreas de cultivo, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria de la población y generando alzas en el precio de los alimentos en el mercado nacional. Solamente en la costa norte del país, en las regiones de Tumbes, Piura, Lambayeque y La Libertad, las pérdidas económicas en términos de cultivos perdidos y tierras agrícolas dañadas fueron alarmantes, superando los S/ 850 millones. Se estima que las pérdidas en el norte del país ascendieron a más de 32,000 hectáreas de las cuales aproximadamente el 50% fueron perdidas completamente (Melgarejo, 2017).

El caso de la región de Ancash no se aleja mucho de la realidad de los impactos registrados en el norte del país. Los estragos en el sector agrícola se cuantificaron en 3,603 hectáreas de cultivos perdidos y 8,893.25 hectáreas de tierras agrícolas afectadas. De acuerdo a la Dirección Regional de Agricultura de Ancash, los impactos sobre esta actividad económica se estiman en S/ 76 millones (Andina, 2017). De acuerdo al Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN), la provincia de Huarney, ubicada en la parte baja del río del mismo nombre, presentó aproximadamente 15 mil damnificados, siendo una de las localidades a nivel nacional con mayor grado de afectación. Asimismo, de acuerdo a lo informado por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) en términos de afectaciones en el sector agrícola, se registraron 309 hectáreas de cultivos perdidos y 1.09 hectáreas afectadas (Centro de Operaciones de Emergencia Nacional, 2017). Cabe resaltar que de acuerdo al Censo 2007, aproximadamente 1/3 de la población se dedica a la actividad agropecuaria, por lo que es una fuente importante de ingresos familiares y contribuye al desarrollo de la provincia.



FIGURA 1: DESBORDE DEL RÍO HUARMEY. (ANDINA, 2017)

Planteamiento del problema y significancia de la investigación:

De acuerdo a la FAO, la agricultura es una de las principales actividades económicas que se ve drásticamente afectada por la ocurrencia del Fenómeno El Niño (FAO, s.f.). De acuerdo a los reportes emitidos, los impactos de El Niño Costero 2016/2017 sobre dicha actividad han sido significativos (Centro de Operaciones de Emergencia Nacional, 2017). La incidencia de este fenómeno climático poco recurrente en el país se presenta como una oportunidad para investigar los efectos que tienen las crecidas y desborde de los ríos sobre la calidad de los suelos y en el impacto de la erosión fluvial en términos de pérdida de superficie productiva. La potencia y la sobrecarga de los ríos que bajan por los valles costeros durante estos eventos climáticos tienen la capacidad de erosionar grandes cantidades de material y de sumergir grandes extensiones de tierras agrícolas. Tal como lo mencionan los informes del Instituto Nacional de Defensa Civil, Huarmey fue una de las provincias que presentó mayores afectaciones, siendo el sector agrícola uno de los más afectados debido a la pérdida de cultivos y de tierras agrícolas.

Existe una necesidad de comprender la capacidad que tendrán estas tierras de producir cultivos y recuperarse con el fin de alcanzar los niveles de producción perdidos para ser sustento de la economía local y responder ante la demanda nacional e internacional. Asimismo, este caso puede ser ejemplo de lo que ocurre en los diferentes valles agrícolas del país como consecuencia de El Niño Costero. Además, considerando los patrones y tendencias relacionadas al cambio climático, la frecuencia e intensidad de estos eventos aumentará y, por lo tanto, es importante que los tomadores de decisiones y los agricultores puedan manejar los riesgos y aprovechar las oportunidades (Shannon & Motha, 2015).

2. Pregunta Central de Investigación

¿Cuál fue el impacto de las crecidas por El Niño Costero 2016/2017 en las características físico-químicas del suelo y en la extensión de las áreas agrícolas en la parte baja del valle del Río Huarmey, Ancash?

3. Objetivos

a. Objetivo General

Evaluar los impactos de El Niño Costero en las características del suelo y la extensión de las áreas agrícolas para favorecer la toma de decisiones ante inundaciones en el valle del Río Huarmey.

b. Objetivos específicos

- i. Identificar las principales características del área de estudio relacionadas al impacto de las crecidas del río Huarmey.
- ii. Describir las características físicas y químicas de los suelos agrícolas mediante la toma de muestras de suelo en el sector de estudio y posterior análisis en el laboratorio.
- iii. Determinar los cambios en la extensión de las áreas agrícolas a partir del análisis espacial-temporal y de las características geomorfológicas.

4. Marco Teórico

4.1. Reseña histórica del efecto de las inundaciones en la agricultura

Las inundaciones han sido eventos recurrentes en muchas de las antiguas civilizaciones asentadas en los valles o deltas de grandes ríos. Un claro ejemplo es el caso de las inundaciones anuales del río Nilo, que hacían posible el desarrollo sostenible de la agricultura egipcia debido a la deposición de suelo fértil aluvial con altos contenidos de macronutrientes como fósforo, contenido orgánico y otros materiales provenientes de las montañas y pantanos de la parte alta de la cuenca (Hughes, 1992) (Bolaños Bozález, 2003). Asimismo, las inundaciones también cumplían la función de lixiviación de las sales edáficas y la deposición de varios centímetros de estratos de sedimento provenientes del aluvión. Una vez que bajaban los niveles de las aguas, se iniciaba con la siembra de las áreas agrícolas.

La dinámica fluvial, acompañada de un adecuado manejo de técnicas hidráulicas y agrícolas, permitía una agricultura de grandes rendimientos (Bolaños Bozález, 2003). Este ciclo tanto hidrológico como agrícola permitía obtener una cosecha al año que permitía cumplir con la demanda alimentaria de la población (Bolaños Bozález, 2003). Tales eran los beneficios de estas inundaciones, que la población era consciente de que la crecida del río proveía de nutrientes y comida a la población, marcando la diferencia entre la abundancia y el hambre (National Geographic, 2014).

Pese a la relativa regularidad y estacionalidad de estas inundaciones, que se esperaban entre los meses de julio y setiembre, esto no siempre era totalmente predecible (Hughes, 1992). Las inundaciones también podían traer consigo grandes desastres cuando se presentaban desequilibrios en la dinámica fluvial, presentándose en forma de aumento del caudal de manera precipitada y con niveles que sobrepasaban los habituales, generando consecuencias completamente contrarias a las que la población obtenía de las inundaciones beneficiosas y controladas (Bolaños Bozález, 2003). Las consecuencias más evidentes eran la pérdida de los cultivos, la destrucción de la infraestructura hidráulica, reducción de las fases de siembra y cosecha y el posterior periodo de hambre.

En este sentido, se plantea que hay un doble efecto en cuanto a la dinámica de las inundaciones de los ríos (Bolaños Bozález, 2003). Por un lado, estos eventos pueden resultar en grandes beneficios para el desarrollo de la actividad agrícola cuando se presentan de manera regular y cuando se aplican las técnicas necesarias tales como canales y diques. Pero, también está el extremo opuesto, donde las irregularidades y las repentinas y caudalosas avenidas pueden traer desgracia y grandes pérdidas en términos económicos y hasta humanos.

4.2. El Fenómeno de El Niño en la agricultura de la costa peruana

El historial peruano del impacto del Fenómeno El Niño sobre la agricultura no es muy alentador cuando se analizan aquellos eventos ocurridos en 1982-1983 y 1997-1998. Estos son considerados los eventos más intensos y recientes, sin considerar el del año 2016-2017, ocurridos en el Perú. Los estudios existentes sobre los impactos del fenómeno se centran principalmente en el norte del país y se tiene información detallada sobre las afectaciones en el sector agrícola con énfasis en los departamentos de Piura, Lambayeque y La Libertad (Galarza & Kámiche, 2012).

El Fenómeno El Niño de 1982-1983 fue uno de los más devastadores y catastróficos, siendo la zona norte del país el lugar donde se concentró el 80% de los daños (Galarza & Kámiche, 2012). Según el Instituto Nacional de Planificación, los daños económicos llegaron a ascender hasta los US\$ 1000 millones, de los cuales 40% fueron por daños que impactaron al sector productivo (Ferradas, 2000). El sector agropecuario fue el más gravemente afectado, con pérdidas de producción de US\$ 181,46 millones y pérdida en infraestructura de US\$ 66,68 millones en el norte del país (Galarza & Kámiche, 2012). Se estima que este evento climático afectó la producción agropecuaria en 8,2% (Zegarra, 2014).

En Fenómeno El Niño de 1997-1998 los principales impactos y afectaciones a nivel nacional fueron causados por las intensas lluvias, la crecida de los ríos, los deslizamientos y las inundaciones. Gracias a que se logró anunciar este evento con algo de anticipación, se pudieron tomar algunas medidas de prevención de riesgos tales como ensanchamiento de cauces, protección y limpieza ribereña, entre otras. Sin embargo, en muchos casos estas medidas no fueron suficientes por la magnitud del evento (Galarza & Kámiche, 2012). De acuerdo a las cifras calculadas por la Corporación Andina de Fomento (2000), los daños alcanzados en el Fenómeno El Niño de 1997-1998 llegaron a US\$ 3500 millones, de los cuales a US\$ 613 millones correspondieron al sector agropecuario. El 26,6% de los impactos al sector agropecuario fueron los daños a los sistemas de riego y drenaje y la pérdida de tierras mientras que el otro 73,4% fue la pérdida de producción y lo que se invirtió en la descolmatación de los ríos (Galarza & Kámiche, 2012).

El informe técnico sobre los Impactos del Fenómeno El Niño (FEN) en la economía regional de Piura, Lambayeque y La Libertad (2012) presenta los impactos socioeconómicos asociados al Fenómeno El Niño 1997-1998 basándose en los estudios de la Corporación Andina de Fomento (2000). Entre los impactos positivos en la agricultura se resaltan el aumento de pastos, la regeneración de sistemas naturales, la producción agrícola en zonas áridas, aumento de la biodiversidad, incremento de producción de frutales, recarga de reservorios de agua y recuperación de suelos. Por otro lado, los impactos negativos se

presentan en términos de la destrucción de infraestructura agrícola, pérdida de tierras por inundación, alteración y disminución de rendimiento de producción, alteración de los suelos, entre otros (Galarza & Kámiche, 2012).

4.3. El Niño Costero del 2017

En febrero del 2017, el comité multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), emitió un comunicado de alerta de El Niño Costero. Se denomina El Niño Costero al periodo en el que el Índice Costero El Niño¹ mantiene sus anomalías mensuales con respecto a la temperatura superficial del mar en “condiciones cálidas” por más de tres meses consecutivos (Estudio Nacional del Fenómeno El Niño, 2017).

La información meteorológica, oceanográfica e hidrológica recogidas para definir la ocurrencia del Fenómeno El Niño a inicios del mes de enero mostraba que las temperaturas superficiales del mar en la región Pacífico Central (Niño 3.4), la inclinación de la termoclina y las temperaturas del Pacífico Ecuatorial estaban dentro del rango de lo normal, por lo que no se concebía un Fenómeno El Niño. Sin embargo, las anomalías se hicieron presentes en la costa del país. Las temperaturas superficiales del mar aumentaron rápidamente, presentando anomalías positivas en la región Niño 1+2. Asimismo, se debilitó el Anticiclón del Pacífico Sur y por lo tanto los vientos alisios. Esto propició el desplazamiento de las aguas cálidas ecuatoriales hacia el sur y su continuo calentamiento (Estudio Nacional del Fenómeno El Niño, 2017).

Estas condiciones establecieron el escenario para lluvias de magnitud muy fuerte en el norte del Perú por la evaporación de las aguas superficiales y la interrelación con la atmósfera. Asimismo, las temperaturas del aire también aumentaron a lo largo de toda la costa del país. Bajo estas condiciones, las lluvias excepcionales causaron el incremento del caudal de los ríos, alcanzando caudales promedio superiores a los valores históricos registrados (Estudio Nacional del Fenómeno El Niño, 2017). El resultado del incremento de caudales en muchos casos fue tanto el desborde de los ríos y como consecuencia la inundación de las zonas aledañas, así como también la erosión de las riveras de los mismos.

¹ Nota Técnica ENFEN del 9 de abril del 2012: Índice de Niño Costero “consiste en la media corrida de tres meses de las anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 1+2. Estas anomalías se calcularán usando la climatología mensual calculada para el periodo base 1981-2010.”

Si bien el Fenómeno El Niño y El Niño Costero son similares, los alcances y extensión de afectación son distintos. El Niño Costero está focalizado principalmente entre Perú y Ecuador. Asimismo, según el Dr. Takahashi (2017), lo que sucede con el Niño Costero no es el resultado de las ondas Kelvin provenientes del Pacífico Oeste ya que su alcance ha sido hasta el Pacífico central. Además, resalta que lo ocurrido responde a un evento estrictamente meteorológico de alcance local que se manifiesta en las costas del país ecuatoriano y peruano (López, 2017). Estas condiciones formadas de manera rápida y abrupta para el desarrollo del Niño Costero limitan la posibilidad de predecir este evento.

4.4. ¿Qué es el suelo?

El recurso suelo ha jugado un papel muy importante en el desarrollo del sistema terrestre. La vida se ha desarrollado sobre el sistema de suelos y las civilizaciones se han alzado y han caído en función al manejo y explotación del recurso sobre el cual se han desarrollado (Ritz & Van der Putten, 2012). En este sentido, el suelo constituye uno de los componentes más importantes e indispensables de los ecosistemas terrestres ya que a través de su relación con la biodiversidad y los factores climáticos, generan el equilibrio ecológico indispensable para el desarrollo de la vida. Parte de la importancia de los suelos recae en que es un recurso que se encuentra en la interfase donde interactúan las distintas partes del sistema terrestre: biósfera, atmósfera, litósfera e hidrósfera, por lo que se considera altamente sensible a alteraciones en su entorno (Tarbuck y Lutgens 1999 citado por Jaramillo, 2002).

Dada la importancia y la complejidad de este recurso, no existe una definición simple y resumida sobre este término. La definición del concepto suelo ha tenido distintos acercamientos y enfoques de acuerdo al contexto en que fueron desarrolladas y los propios intereses de los usuarios del recurso (Jaramillo, 2002). Sin embargo, existen algunas aproximaciones más holísticas del suelo como la presentada por el equipo de investigación de suelo Soil Survey Staff el cual está adscrito al Servicio para la Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Esta entidad busca estandarizar el concepto a partir de la amplitud de su dominio, desarrollando así una definición que ha sido internacionalmente aceptada:

“El suelo es un cuerpo natural compuesto de sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurre en la superficie de la tierra, ocupa un espacio y se caracteriza o porque tiene horizontes o capas que se diferencian del material inicial como resultado de las adiciones, pérdidas, traslocaciones y transformaciones de energía y materia o porque es capaz de soportar plantas arraigadas en un ambiente natural” (SSS, citado por Jaramillo 2002).

Para darle un enfoque más agrícola de acuerdo a las características de esta investigación, el suelo cumple la función de proveer a las plantas con soporte mecánico, disponibilidad de nutrientes, agua y oxígeno; generando así, un ambiente apropiado para su desarrollo (Zavaleta, 1992).

4.4.1. Calidad del suelo y fertilidad

A lo largo del tiempo ha existido una creciente preocupación por la calidad del suelo debido a sus efectos en la salud y productividad de los ecosistemas (Cruz, Barra, Del Castillo, & Gutierrez, 2004). Sin embargo, este término ha sido difícil de definir y cuantificar (Doran & Parkin, 1994). Muchas de las definiciones propuestas responden a prioridades individuales con respecto a las funciones del suelo. En este sentido, las definiciones propuestas se basan en las capacidades del suelo de promover la productividad de manera sostenida sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas, minimizar el impacto de contaminantes y contribuir a la salud humana, animal y vegetal (Doran & Parkin, 1994). Son estas funciones las que permiten llegar a la definición más completa y aceptada en la que se define como *“la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sustentar la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat”* (Doran & Parkin, 1994).

Se necesita de una serie de variables mínimas para evaluar y monitorear la dinámica de la calidad de los suelos. Estas variables son los llamados indicadores y pueden ser expresados a partir de una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos. Parámetros referentes a estos tres componentes deben de ser seleccionados para tener un análisis holístico del suelo. Entre los atributos físicos se encuentran la textura, profundidad efectiva, la infiltración y la capacidad de retención de agua. En cuanto a los atributos químicos, se resaltan el contenido orgánico, el pH, la capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica y el contenido de macronutrientes (He, Yang, Baligar, & Calvert, 2003). Yendo a un caso más específico, si lo que se desea es investigar la calidad de los suelos en términos de su capacidad de proveer nutrientes para el crecimiento de vegetación en sistemas agrícolas, se utilizan los indicadores para evaluar la fertilidad del suelo (Andrades Rodríguez & Martínez, 2001).

La fertilidad es la capacidad que tiene los suelos para suministrar nutrientes en cantidades adecuadas que permiten el desarrollo y crecimiento de vegetación. Asimismo, consiste en una apropiada interrelación entre los sólidos, el aire y el agua para lograr el deseado desarrollo (Zavaleta, 1992). La fertilidad está influenciada por una serie de factores naturales tales como el clima y las características edáficas del suelo, así como también por los factores antrópicos correspondientes a técnicas de manejo de suelos que

involucran tecnologías. En esta investigación solamente se trabajará con las propiedades físicas y químicas. Estas propiedades tendrán influencia en el crecimiento y desarrollo de las plantas. La fertilidad y el manejo de los suelos tienen como objetivo básico el crecimiento sano de las plantas. Cuando hablamos de suelos agrícolas, el objetivo también se extiende a maximizar la producción de manera sostenible sin comprometer el medio ambiente. (Porta, López, & Roquero, 2003).

Los cambios físicos, químicos y biológicos del suelo como resultado de una inundación, puede tener una influencia significativa en la fertilidad del suelo. Los efectos de este evento sobre el suelo dependerán de las propiedades que este suelo presente, así como también de la temperatura y el tiempo en el que el suelo este sumergido bajo agua (Ponnamperuma, 1984).

4.4.1.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas del suelo son importantes ya que son determinantes en el crecimiento y desarrollo normal de las plantas. Los impactos causados por las inundaciones tendrán efectos en las propiedades físicas del suelo

A continuación, las propiedades que expresan el comportamiento mecánico del suelo:

Textura

El suelo está compuesto por elementos gruesos y tierra fina, dependiendo del tamaño de los fragmentos y partículas. De acuerdo a la granulometría del suelo, este presenta dos fracciones: una fracción gruesa cuyas partículas tienen diámetros mayores a 2mm y una fracción fina, con diámetros menores a 2mm. Para determinar la textura del suelo, solo se considera la textura fina y se obtiene a partir del cálculo de la proporción en porcentaje de arena, limo y arcilla de un volumen de suelo dado (Porta, López, & Roquero, 2003).

La textura del suelo hace referencia al tamaño relativo que tienen las partículas que lo conforman. Es la proporción relativa de las diferentes fracciones granulométricas: arena, limo y arcilla, las cuales tendrán una influencia en la velocidad y magnitud en la que se dan muchas de las reacciones que ocurren en el suelo (Porta, López, & Roquero, 2003). Asimismo, la textura va a tener una influencia en el crecimiento de las plantas debido a que actúa sobre las capacidades y funciones de aireación, infiltración, capacidad de retención de agua, intercambio de cationes, permeabilidad, erosión y su capacidad para ser labrado (Zavaleta, 1992). A continuación, se describen las principales clases de partículas que determinan la textura del suelo de acuerdo al sistema del USDA (Tabla 1).

TABLA 1: DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES CLASES DE PARTÍCULAS DEL SUELO (USDA SIMPLE)

Partícula	Diámetro	Descripción
Arena	2,00 – 0,05 mm	Partículas individuales de arena tienen un tamaño que permite distinguirlos a simple vista. Su gran tamaño y superficie irregular limita el contacto con otras partículas de la misma clase y, por lo tanto, la formación de agregados. La formación de grandes poros permite una alta permeabilidad.
Limo	0,05 – 0,002 mm	Para la observación de las partículas individuales se requiere un microscopio petrográfico. Presenta alta capacidad de retención de agua debido al tamaño de poros y área superficial.
Arcilla	<0,0002 mm	Se requiere de un microscopio electrónico para la observación de las partículas individuales. La clase de arcilla va a determinar el grado de cohesión y adhesión. Al humedecerse forma agregados que al secarse se vuelven muy duros y mientras más fina la arcilla, la dureza de estos agregados aumenta.

Fuentes: (Porta, López, & Roquero, 2003) (Zavaleta, 1992)

Un suelo nunca está compuesto de un solo tipo de partícula, lo usual es que estén presentes, aunque en cantidades pequeñas, una mezcla de las diferentes fracciones (Millar, Turk, & Foth, 1961). En función de los porcentajes relativos de cada clase de partícula obtenidos a través del análisis granulométrico de las fracciones correspondientes, los suelos pueden ser clasificados en 12 clases texturales básicas (Zavaleta, 1992). La determinación de estas clases texturales se logra a través del triángulo textural de la USDA (Figura 2). Este triángulo permite observar gráficamente las proporciones de cada fracción al ubicar los porcentajes obtenidos en cada eje del triángulo y proyectando el valor hacia el punto de intersección de las tres líneas. Esta intersección caerá sobre la clase textural que define la textura del suelo (Soil Survey Division Staff, SSDS, 1993 et al citado por Jaramillo, 2002).

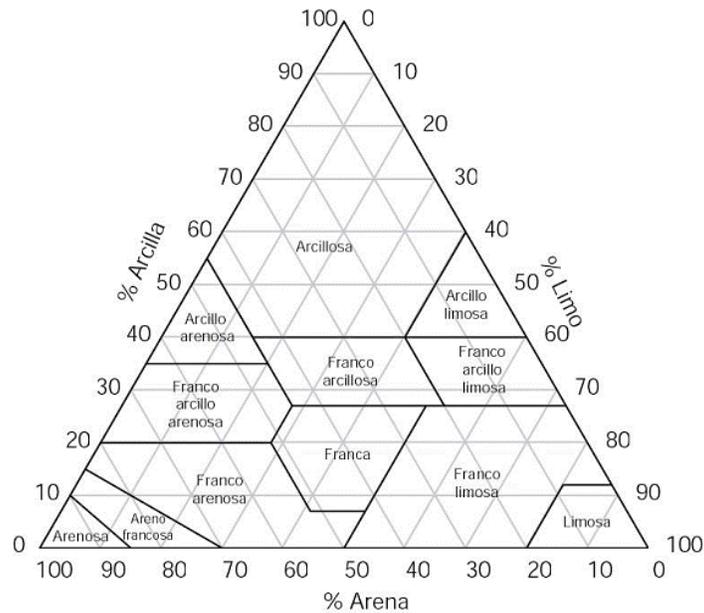


FIGURA 2: TRIÁNGULO DE TEXTURA DEL SUELO (USDA)

Los criterios USDA establecen que con un 20% de arcilla, el suelo se considera dentro de la clasificación de “arcilloso” que son caracterizados por la alta capacidad de retención de agua en condiciones de humedad y, por lo tanto, la baja infiltración de agua. Cuando un suelo alcanza el 40% de limo, este pasa a la clasificación de “limoso”, que representa un equilibrio entre los extremos de alta capacidad de drenaje e infiltración característico del suelo arenoso y la baja capacidad de infiltración característico del suelo arcilloso. Para tener la clasificación de “arenoso” el suelo debe tener 44% de arena. Estos suelos presentan una baja capacidad de retención de agua debido a los altos niveles de infiltración (Jaramillo, 2002) (Porta, López, & Roquero, 2003) (Yakabi, 2014). La textura equilibrada, también conocida como textura franca, corresponde a la textura ideal para el desarrollo de la mayoría de cultivos. En estos suelos las tres fracciones están en equilibrio cuando la arena está en un 40–45 %, el limo en un 20–35% y la arcilla en un 25% (Duchaufour, 2001 citado por Porta et al, 2003).

Densidad aparente

La densidad aparente es la relación que existe entre el peso del suelo seco en gramos (secado a 105°C en estufa) y el volumen que este ocupa. Bajo estas condiciones, se incluye la porosidad, lo cual corresponde al espacio vacío con respecto al volumen de suelo. Por esta razón, la densidad aparente del suelo está en función al grado de porosidad y la estructura que presente el suelo. Mientras mayor sea la porosidad, la densidad aparente será menor (Zavaleta, 1992).

Este indicador va a ser determinante para definir el grado de compactación ya que son directamente proporcionales (Zavaleta, 1992). Los valores altos de densidad aparente corresponden a suelos muy compactos y poco apropiados para la actividad agrícola. La alta compactación hace que el crecimiento de raíces sea más complicado debido a los bajos niveles de aeración y menor capacidad de infiltración de agua para el desarrollo de las plantas (Yakabi, 2014).

Humedad

El agua es un componente indispensable para el crecimiento de las plantas; tanto para sus procesos fisiológicos como también por el contenido de nutrientes que carga. La humedad es la cantidad de agua que retiene el suelo y es uno de los factores que recibe mayor atención cuando se trata de producción de cultivos (Millar, Turk, & Foth, 1961). Cuando el suelo tiene una adecuada circulación de agua, se logra que este sea fértil y que no se dé un proceso de lavado de minerales de manera excesiva (Marchese, 2015). El agua en el suelo se puede clasificar en: agua higroscópica (adherida a las partículas de arcilla), capilar (genera tensión superficial y son retenidas en los poros del suelo) y gravitacional (aquella que se infiltra a través de los poros). La humedad gravimétrica, medida en laboratorio, hace referencia al agua capilar e higroscópica que se mantiene en la muestra de suelo (Marchese, 2015).

4.4.1.2. Propiedades químicas

Las propiedades químicas son importantes ya que son determinantes para el aporte de nutrientes en función a la retención y liberación de iones. Existe una estrecha relación con las propiedades físicas ya que propician el medio donde ocurrirán las diversas reacciones y procesos necesarios para disponer de nutrientes. A continuación, las propiedades químicas del suelo:

Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) es la capacidad que tiene una solución de suelo de conducir corriente eléctrica. Este parámetro indica la cantidad de sales presentes en el suelo (Porta, López, & Roquero, 2003). Todos los suelos contienen sales que son necesarias para el crecimiento de las plantas. Son estas sales, en forma de solución, las que están disponibles y pueden ser asimiladas por las plantas (Marchese, 2015). Sin embargo, el exceso de sales puede ser perjudicial para el crecimiento y desarrollo de la vegetación ya que generan desbalances y limitaciones. La medición de conductividad eléctrica detecta las cantidades de cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ y H^+) o aniones (NO_3^- , SO_4^- , Cl^- , HCO_3^- y OH^-) en las soluciones de suelo (Porta, López, & Roquero, 2003). En la mayoría de los casos, estos iones se incorporan al suelo a partir de

las aguas de irrigación o aguas que drenan de zonas adyacentes. Asimismo, el pobre drenaje de los suelos en zonas áridas también contribuye a la acumulación de sales. Mientras mayor sea la cantidad de estos cationes o aniones, mayor será la conductividad y por lo tanto la salinidad de suelo. Según la clasificación de Dahnke y Whitney en 1988 en base a la relación de 1:1 de agua y suelo, los suelos son categorizados de acuerdo a la salinidad que presenta en extracto de agua (Tabla 2) (Porta, López, & Roquero, 2003).

TABLA 2: CLASIFICACIÓN DE SUELOS EN BASE A LA SALINIDAD EN EXTRACTO DE AGUA CON RELACIÓN 1:1 SEGÚN DAHNKE Y WHITNEY, 1988

C.E. (dS/m)	Clasificación según salinidad
0 - 1.2	No salino
1.3 - 2.4	Poco salino
2.5 - 4.7	Moderadamente salino
4.8 - 9.4	Altamente salino
> 9.5	Extremadamente salino

Fuente: (Porta, López, & Roquero, 2003)

La salinidad de los suelos puede afectar el crecimiento de los cultivos de manera adversa en términos de una disminución en su crecimiento. Las hojas, el tallo y los frutos como resultado se ven afectados en su tamaño y desarrollo, impactando negativamente en el rendimiento de los cultivos (Bernstein, 1975). En este sentido, hay una relación inversa entre la salinidad y el crecimiento del cultivo cuando se trata de aquellos que no son tolerantes a altos niveles de salinidad. Por este motivo, es indispensable contar con las mediciones de salinidad del suelo junto con la capacidad de tolerancia de los cultivos a dichos niveles con el fin de diagnosticar posibles problemas en el desarrollo del cultivo.

Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH es el grado de acidez o alcalinidad del suelo en función a la presencia de iones de hidrógeno (H^+) y de oxidrilos (OH^-). En términos químicos, para poder calcular el pH se debe calcular el logaritmo del inverso de la concentración de H_3O^+ de la solución de suelo (Jaramillo, 2002). Esto corresponde a la medida de la actividad de los iones de hidrógeno en la solución de suelo (United States Department of Agriculture, 1999). Las soluciones que presenten mayor cantidad de H^+ corresponden a suelos ácidos con valores de pH menores a 7. En cambio, cuando las soluciones muestran mayor cantidad de OH^- , se trata de suelos básicos con valor de pH mayores a 7. El valor de pH 7 corresponde un suelo neutro. Este indicador tiene un efecto en la disponibilidad de nutrientes para la planta, la actividad de microorganismos y la solubilidad

de los minerales en el suelo. En este sentido, la acidez y la basicidad del suelo tendrán efecto en las propiedades tanto físicas como químicas del suelo (Porta, López, & Roquero, 2003). A partir de este parámetro, el USDA ha evaluado los suelos según los valores de pH presentados (Tabla 3).

TABLA 3: EVALUACIÓN DEL PH DEL SUELO (USDA)

pH	Evaluación
< 4,5	Extremadamente ácido
4,5 – 5,0	Muy fuertemente ácido
5,1 – 5,5	Fuertemente ácido
5,6 – 6,0	Medianamente ácido
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido
6,6 – 7,3	Neutro
7,4 – 7,8	Medianamente básico
7,9 – 8,4	Básico
8,5 – 9,0	Ligeramente alcalino
9,1 – 10,0	Alcalino
> 10,0	Fuertemente alcalino

Fuente: (Porta, López, & Roquero, 2003)

Los suelos con pH entre 5,5 y 7,5 serán útiles para la actividad agrícola ya que las plantas se desarrollan de manera adecuada bajo estas condiciones ya que presentan una alta disponibilidad de macronutrientes esenciales como el Fe, Al y Mn (Porta, López, & Roquero, 2003). Asimismo, cabe resaltar que cada tipo de planta tiene un rango óptimo donde se maximiza su productividad. Las especies que se cultivan en parte baja del valle del río Huarmey son el espárrago, el maíz, el tomate, la sandía y el ají. Cada uno de estos cultivos tienen sus propios rangos óptimos de pH que favorecen su adecuado crecimiento y desarrollo (Tabla 4).

TABLA 4: RANGOS ÓPTIMOS Y TOLERABLES DE POTENCIAL DE HIDRÓGENO SEGÚN CULTIVO

Cultivo	Rango de pH óptimo	Máxima tolerancia de pH
Esparrago	6,0 – 7,0	No existe dato reportado
Maíz	5,5 – 7,0	5,0 – 8,0
Tomate	6,0 – 6,7	6,0 – 8,2
Sandía	5,8 – 7,2	No existe dato reportado

Fuente: (Porta, López, & Roquero, 2003)

Materia orgánica

La materia orgánica en el suelo está compuesta por todos los residuos de origen tanto animal como vegetal que se descomponen en el suelo gracias a la acción de los microorganismos presentes. Las condiciones climáticas, la vegetación presente y la fisiografía del lugar van a determinar el contenido de materia orgánica en los suelos (Zavaleta, 1992). El rol de la materia orgánica en la fertilidad de los suelos es fundamental ya que aumenta la disponibilidad de nutrientes para las plantas, regula el pH, ayuda a mantener la humedad del suelo y contribuye a la formación de agregados que permiten aumentar la estabilidad de los suelos. Asimismo, cabe señalar la importancia del humus. Este es materia orgánica descompuesta con capacidad de resistir altos grados de alteración. Este componente es fundamental en términos de disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de las plantas (Leytón, 2003).

La relación entre carbono y nitrógeno (C/N) en el suelo es una medida que permite caracterizar la materia orgánica del suelo y su grado de descomposición. Mientras más baja sea la relación, más fácil será la descomposición y por lo tanto habrá mayor disponibilidad de nutrientes (Zavaleta, 1992). De acuerdo a la tabla de interpretación de la Universidad Agraria La Molina, la materia orgánica se clasifica en baja, media y alta según el porcentaje de esta en el suelo (Tabla 5: Criterios para evaluar el porcentaje de materia orgánica en el suelo (Tabla 5)).

TABLA 5: CRITERIOS PARA EVALUAR EL PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO

Calificación	% Materia Orgánica
Baja	< 2
Media	2 - 4
Alta	> 4

Fuente: UNALM – LASPAF

Macronutrientes

Los macronutrientes son elementos químicos esenciales que son requeridos por las plantas en grandes cantidades, sobre los 500 ppm (Zavaleta, 1992). Estos nutrientes son necesarios para el desarrollo y crecimiento sostenible de las plantas. A pesar de que cada nutriente cumpla una función distinta, estos deben estar presentes de manera conjunta para optimizar los resultados. En este sentido, un abastecimiento balanceado de los nutrientes va a desarrollar plantas más resistentes (Millar, Turk, & Foth, 1961). Existen tres macronutrientes principales que efectúan tareas definidas en la planta y que son determinantes en la fertilidad del suelo:

- Nitrógeno (N): Este elemento puede llegar al suelo a través de aportes de materia orgánica y por la fijación del nitrógeno atmosférico gracias a la participación de bacterias fijadoras. Una vez en el suelo, este elemento es aprovechado por las plantas para ser incorporado como parte de sus tejidos. El nitrógeno es esencial para el adecuado crecimiento y desarrollo de las hojas y los brotes (Fernández L. , y otros, 2006). La única forma en que las plantas pueden asimilar este elemento es en la forma aniónica de nitrato (NO_3^-) y catiónica de amonio (NH_4^+) (Yakabi, 2014). La siguiente tabla presenta los valores porcentuales de nitrógeno que permite evaluar la calidad de los suelos en base al contenido de nitrógeno (Tabla 6).

TABLA 6: CRITERIOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL SUELO EN BASE AL CONTENIDO DE NITRÓGENO:

Categoría	Valor (%) de nitrógeno en suelo
Extremadamente pobre	< 0,032
Pobre	0,032 – 0,063
Medianamente pobre	0,064 – 0,095
Medio	0,096 – 0,126
Medianamente rico	0,127 – 0,158
Rico	0,159 – 0,221
Extremadamente rico	> 0,221

Fuente: Moreno, 1978, citado por Fernandez, y otros, 2006.

- Potasio (K): El contenido total de potasio en el suelo es relativamente alto, excediendo frecuentemente los 20,000 ppm. Sin embargo, gran parte de esta alta cantidad de potasio se encuentra en forma de componente estructural de los suelos minerales y, por lo tanto, no pueden

ser aprovechados por las plantas (Yakabi, 2014). El potasio suele requerirse en mayores cantidades en suelos arenosos y con el paso del tiempo de los suelos cultivados. Este elemento es indispensable para todos los procesos metabólicos de las células, para regular el ritmo respiratorio y de transpiración y además provoca el desarrollo del sistema radicular de las plantas. Asimismo, aumenta la resistencia de las plantas ante los climas extremos como las heladas y las sequías (Millar, Turk, & Foth, 1961). El potasio que puede ser asimilado por las plantas se encuentra tanto en la solución de suelo como en los lugares de intercambio catiónico en la superficie de las partículas de arcilla (Kaiser, Rosen, & Lamb, 2016). La siguiente tabla los criterios para evaluar la calidad del suelo en función a los contenidos de potasio presentes (Tabla 7)

TABLA 7: CRITERIOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL SUELO EN BASE AL CONTENIDO DE POTASIO

Categoría	Valor (ppm K)
Bajo	< 100
Medio	100 - 240
Alto	> 240

Fuente: Fuente: UNALM – LASPAF

- Fósforo (P): La presencia de este elemento es indispensable para el proceso de maduración de las plantas, permitiendo la formación de semilla, raíces y frutos. Asimismo, es un elemento esencial para el proceso de la división celular, por lo que facilita el crecimiento de las plantas (Millar, Turk, & Foth, 1961). Las plantas que carecen de este elemento, suelen madurar tardíamente y ser más vulnerables ante eventos climáticos. El fósforo suele ser un elemento limitante ya que se encuentra en pequeñas cantidades en el suelo, aquella fracción que es aprovechable por las plantas, usualmente es menor a la que requieren los cultivos. (Millar, Turk, & Foth, 1961). La siguiente tabla los criterios para evaluar la calidad del suelo en función a los contenidos de fósforo presentes (Tabla 8).

TABLA 8: CRITERIOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL SUELO EN BASE AL CONTENIDO DE FÓSFORO

Categoría	Valor (ppm P)
Bajo	< 7
Medio	7 - 14
Alto	> 14

Fuente: Fuente: UNALM – LASPAF

4.5. Geomorfología fluvial

La geomorfología es la ciencia que estudia la forma de la superficie de la Tierra (Gutierrez, 2013). Estudia la naturaleza y la historia de los accidentes geográficos y los procesos que los crean (Mayhew, 2004). En este sentido, busca explicar las formaciones creadas por procesos de erosión, deposición, transporte y aquellos derivados de la tectónica de placas (Goudie, 2003). Existen diversas ramas en el estudio de la geomorfología tales como la geomorfología glaciar, litoral, eólica, entre otras. La presente tesis se centra en la geomorfología fluvial. Esta rama se ocupa de estudiar y explicar las interacciones existentes entre las formas y procesos de los ríos a distintas escalas espaciales y temporales (Charlton, 2008).

4.5.1. Hidráulica fluvial

El agua en el río fluye por la fuerza de gravedad por la influencia de la pendiente. La gravedad es la fuerza motriz que actúa sobre la masa de agua, causando que fluya y que se mueva en dirección aguas abajo sobre el límite del canal (Charlton, 2008). En resistencia a este movimiento, existen fuerzas que actúan de forma opuesta. La resistencia se genera debido a la fricción entre el flujo de agua y los límites del canal (márgenes y lecho) (Charlton, 2008).

Las corrientes fluviales son agentes primarios en el esculpido de la geomorfología del relieve ya que además de tener la capacidad de erosionar el relieve, también tiene la capacidad de transportar grandes cantidades de sedimento producto de dicha erosión y/o meteorización (Tarbuck & Lutgens, 2005). Debido a que el agua fluye por gravedad influenciada por la pendiente, estos materiales son arrastrados en la misma dirección, depositándose en las partes más bajas con menor pendiente.

4.5.2. Erosión fluvial

Los ríos son uno de los agentes de erosión más importantes debido a su eficiencia. Estos modifican continuamente los valles y cambian los paisajes. El proceso de erosión se genera cuando la energía de la corriente fluvial es mayor que la fricción opuesta al movimiento del agua. La erosión fluvial corresponde a la recogida, rotura o disolución del material que se encuentra en el lecho del río (Patton, Alexander, & Kramer, 1983). La erosión fluvial se lleva a cabo por tres procesos distintos:

- Abrasión o corrosión - Se refiere a la acción erosiva de los cantos rodados, guijarros y partículas pequeñas de sedimentos que son arrastrados a lo largo del cauce (De Blij & Muller, 1993). A partir de este proceso se produce un desgaste mecánico del canal generado por el impacto que ocurre

entre las partículas transportadas y el contacto con los límites del cauce (lecho y márgenes) (Gutiérrez Elorza, 2008).

- Acción hidráulica – Es la erosión causada por la fuerza del agua por sí sola, siendo este el proceso dominante de remoción de material rocoso del lecho del río. La fuerza del agua moviéndose a velocidad tiene la capacidad de arrastrar y disgregar rocas de tamaños considerables (De Blij & Muller, 1993).
- Corrosión – Es el proceso a partir del cual ciertas rocas y minerales solubles son disueltos por el agua. Hace referencia a los procesos químicos que causan la meteorización del lecho y las paredes del río (De Blij & Muller, 1993).

Los cursos fluviales tienen la capacidad de erosionar tanto el lecho como sus márgenes. Los procesos de erosión del lecho y márgenes del río son sumamente importantes para el desarrollo y la evolución de las distintas formas que pueden adoptar los canales. La erosión vertical del cauce ocurre cuando la descarga desgasta el lecho del río. Por otro lado, la erosión lateral es aquella en la que desgastan las paredes o márgenes del canal. Esto usualmente ocurre debido al socavamiento que sufren, lo cual conlleva a deslizamiento o caída de los márgenes. El ensanchamiento del cauce es el resultado de una erosión lateral continua (Gutiérrez Elorza, 2008).

Los márgenes del río están en constante exposición a ser debilitado y, por lo tanto, son más propensos a la erosión. Durante eventos de inundación, los márgenes se sumergen rápidamente en agua y el aire queda atrapado y comprimido dentro de los poros. Como resultado, la presión aumenta causando que se disgregue el material debido a que debilita las fuerzas de cohesión y fricción entre partículas (Charlton, 2008). Por otro lado, la presencia de vegetación limita el proceso de erosión de los márgenes del río. Las raíces, capaces de resistir a altas tensiones, actúan como mallas contenedoras que estabilizan los márgenes cohesionando las partículas de suelo. Asimismo, facilitan el drenaje del agua para evitar la saturación que debilita la estructura (Charlton, 2008).

Sin embargo, cabe resaltar que la erosión del margen está altamente determinada por el material que lo compone. Los márgenes compuestos de arena y partículas más gruesas no son cohesivos, lo cual implica que las partículas se desprenden grano a grano. Pese a que no hay fuerza de cohesión, existe una fuerza de resistencia generada por la fricción entre partículas y la estructura que las empaqueta. No obstante, la estructura en general se debilita a medida que se van desprendiendo las partículas. En el caso de los

márgenes cohesivos, los que se desprende son agregados. Una vez que estos agregados entran al flujo de agua, se desintegran rápidamente (Charlton, 2008).

4.5.3. Transporte de sedimentos

La erosión y el transporte de sedimentos son procesos que van de la mano. Los materiales que son disgregados y debilitados por las fuerzas erosivas son llevados aguas abajo (De Blij & Muller, 1993). Sin embargo, cabe resaltar que una partícula entra o no en movimiento dependiendo del equilibrio que exista entre las fuerzas motrices y la resistencia a su movimiento (Charlton, 2008). La fuerza de resistencia hace referencia al peso de las partículas mientras que las fuerzas motrices provienen de la combinación de dos fuerzas del flujo: una fuerza de arrastre y una fuerza de elevación (Charlton, 2008). A continuación, cuatro procesos de transporte de carga fluvial:

- Rotación – la carga, que consiste principalmente de grava, cantos y bloques, se moviliza por movimientos rotacionales sobre el lecho del canal. Esta rotación, cuando la corriente es fuerte, puede llegar a causar pequeños saltos y, por lo tanto, la ruptura de las partículas (De Blij & Muller, 1993). Cuando se trata de partículas de arena, en la movilización es más lenta a comparación de las partículas de mayor tamaño (Gutiérrez Elorza, 2008).
- Saltación – la velocidad del agua causa la elevación de los fragmentos y partículas que se encuentran en el fondo del lecho, rebotando continuamente. Las partículas hacen contacto con el lecho, pero también se mantiene suspendidas a medida que se mueven aguas abajo (De Blij & Muller, 1993).
- Suspensión – Las partículas más pequeñas como el limo y la arcilla son movilizadas por la fuerza de la turbulencia del agua. En eventos de inundación, partículas más grandes como la arena y la grava también puede entrar a este mecanismo de transporte (Gutiérrez Elorza, 2008). Cuando la suspensión domina, el color del río se torna turbio (De Blij & Muller, 1993).
- Disolución – el material rocoso y mineral que se disuelve en el agua es llevado aguas abajo en forma de solución (De Blij & Muller, 1993).

En general, los fragmentos más pesados (cantos y gravas) son arrastrados a lo largo del lecho del río por rotación mientras que los más ligeros como la arena avanzan por saltación. Las partículas más finas como el limo y la arcilla son transportadas en la carga de suspensión y se mantienen debido a la turbulencia del río hasta que la energía del río descienda.

4.5.4. Deposición de sedimentos

Las partículas de sedimentos se depositan cuando se presenta una reducción en la capacidad del flujo del río. Este proceso ocurre en pequeña escala ya que se trata de la deposición de partículas individuales. Sin embargo, distintas formas deposicionales pueden ser observadas desde un amplio rango de escalas espaciales. Es así como se pueden observar geoformas tales como llanuras de inundación o deltas (Charlton, 2008).

El proceso de deposición está asociado a diferentes circunstancias. Entre las principales se encuentra la reducción del caudal del río, la reducción en la pendiente, el aumento del área transversal que causa que el flujo diverja y que no sea tan concentrado, aumento de resistencia en los márgenes, divergencia del cauce u obstrucciones en el flujo (Charlton, 2008). Cuando alguna de estas se presenta, la velocidad del flujo disminuye permitiendo la deposición del material transportado. Cuando esto sucede, las partículas más grandes tienden a depositarse primero debido a que no hay la suficiente energía para seguir transportándolas. Como resultado, se presenta una estructura de clasificación de sedimentos, un gradiente horizontal o vertical desde lo más fino hasta lo más grueso (Charlton, 2008).

4.5.5. Morfología de canal - entrelazado

Uno de los componentes más importantes del fondo del valle es el canal. El canal es la principal vía para el movimiento del agua y sedimentos a lo largo del valle. La descarga y la cantidad de sedimentos son variables que definirán la forma que lleva un canal (Codrington, 2003).

Los canales entrelazados, también conocidos como canales trenzados, son uno de los principales patrones que se encuentran en la parte baja de los ríos. Estos están formados por una gran cantidad de canales menores que se interconectan entre barras e islas de sedimentos (Codrington, 2003). Los canales se caracterizan principalmente por ser anchos, relativamente poco profundos y muy dinámicos. Además, cargan con abundante material transportado por el lecho del río que proviene de la parte alta de la cuenca o de la erosión de los márgenes del río (Charlton, 2008). La complejidad del patrón de estos canales se evidencia a través de la convergencia y divergencia entre barras, las cuales son geoformas típicas resultantes de la acumulación de sedimentos que se forman dentro del canal del río (Charlton, 2008). Estas barras son modificadas a través de procesos de erosión y deposición, evolucionando y cambiando en cortos periodos de tiempo.

El patrón de canales entrelazados varía de acuerdo a las condiciones del flujo del río. En épocas donde la descarga del río aumenta, muchas de las barras o islas quedan sumergidas parcial o totalmente bajo el agua, aumentando la aparente anchura del canal. En el caso contrario, durante la época de estiaje, cuando los flujos disminuyen, extensas áreas de las superficies de las barras quedan expuestas y se hace más evidente el patrón trenzado del río (Charlton, 2008).

La formación de los canales entrelazados se puede explicar a través de la relación de transporte de sedimentos y la descarga del río. A medida que la carga de sedimentos aumenta, mayor cantidad de sedimentos en el lecho del río deben ser transportados. A la hora de trenzarse, el río es capaz de maximizar la energía que requiere para transportar dicho sedimento (Codrington, 2003). Los canales entrelazados migran rápidamente a lo largo de la llanura aluvial y, por lo tanto, es común que cambien su apariencia luego de algún evento de inundación o crecida del río. Estos cambios abruptos ocurren durante las épocas de mayor descarga, cuando la velocidad de la migración de canales aumenta como consecuencia de la fuerza del río y la erosión de sus márgenes. Asimismo, también ocurren cambios generales en la posición del canal como resultado del abandono de canales o la reocupación de canales previamente abandonados (Codrington, 2003).

4.5.6. Dinámica de canales – migración

Los canales cambian a lo largo del tiempo debido a que estos se encuentran sobre material propenso a la erosión (Gutiérrez Elorza, 2008). La migración de canales es el proceso a partir del cual el canal del río se mueve a través o dentro del fondo de valle. Este proceso se produce a lo largo de distintas escalas temporales, variando desde la progresión lateral gradual de la curvatura de un meandro hasta el desplazamiento abrupto de un canal a una nueva ubicación. El área que ha ocupado un canal históricamente y que probablemente ocupe debido a su migración se conoce como la zona de migración del canal. El ancho de esta zona puede variar desde una proximidad al ancho del canal o hasta puede llegar a ocupar todo el fondo del valle. Dentro de estas zonas de migración, el agua, los sedimentos y el material orgánico son movidos por los flujos entre el río y la llanura aluvial. (Olson, Legg, Abbe, Reinhart, & Radloff, 2014). Cabe resaltar que estos procesos pueden ser episódicos como resultado de una inundación o a largo plazo debido al cambio en la descarga del río por factores climáticos.

La migración de canales ocurre a través de procesos tales como su expansión, migración gradual de la curvatura o un giro abrupto en el canal llamado avulsión. La migración gradual de la curvatura ocurre cuando el flujo de agua en el río tiene suficiente energía para erosionar el margen exterior de la curvatura

del meandro. La deposición del sedimento ocurre simultáneamente en el margen interno del canal. Esta migración va a depender de la capacidad de resistencia que tenga el suelo en el margen exterior a ser erosionado. A medida que aumenta la descarga del río, la velocidad y la duración del flujo, la tasa de migración gradual de la curvatura aumenta. Por este motivo, las tasas de migración son mayores durante inundaciones. Asimismo, la avulsión ocurre como resultado de la migración gradual de la curvatura (Olson, Legg, Abbe, Reinhart, & Radloff, 2014).

Como ya se ha visto, los procesos de erosión del margen del río son importantes para el desarrollo y evolución de las distintas formas del canal, sin embargo, la migración de los canales a lo largo de la llanura aluvial implica una combinación de erosión con deposición (Charlton, 2008). De acuerdo a Schumm (1981), existe una relación entre los tipos de canales y su estabilidad relativa a partir de la cual se identifican cinco sistemas (Figura 3) (Gutiérrez Elorza, 2008). Esta clasificación se basa en el tipo de carga transportada, la velocidad de la descarga y la energía del río. Los ríos con tipo de canal trenzado corresponden al sistema 4 y 5. En el sistema 4 predomina una carga de sedimentos que incluye gravas, cantos y arenas. Asimismo, la anchura de los canales es variable y de poca profundidad. La erosión de los márgenes del río es un proceso común en la dinámica de migración de los canales. En cuanto al sistema 5, la carga en el lecho es la mayor y esta presenta mayor inclinación. La inestabilidad del canal se debe al movimiento de las barras dentro del mismo. Son típicos de los ríos trenzados y usualmente se encuentran en las llanuras y abanicos aluviales (Gutiérrez Elorza, 2008).

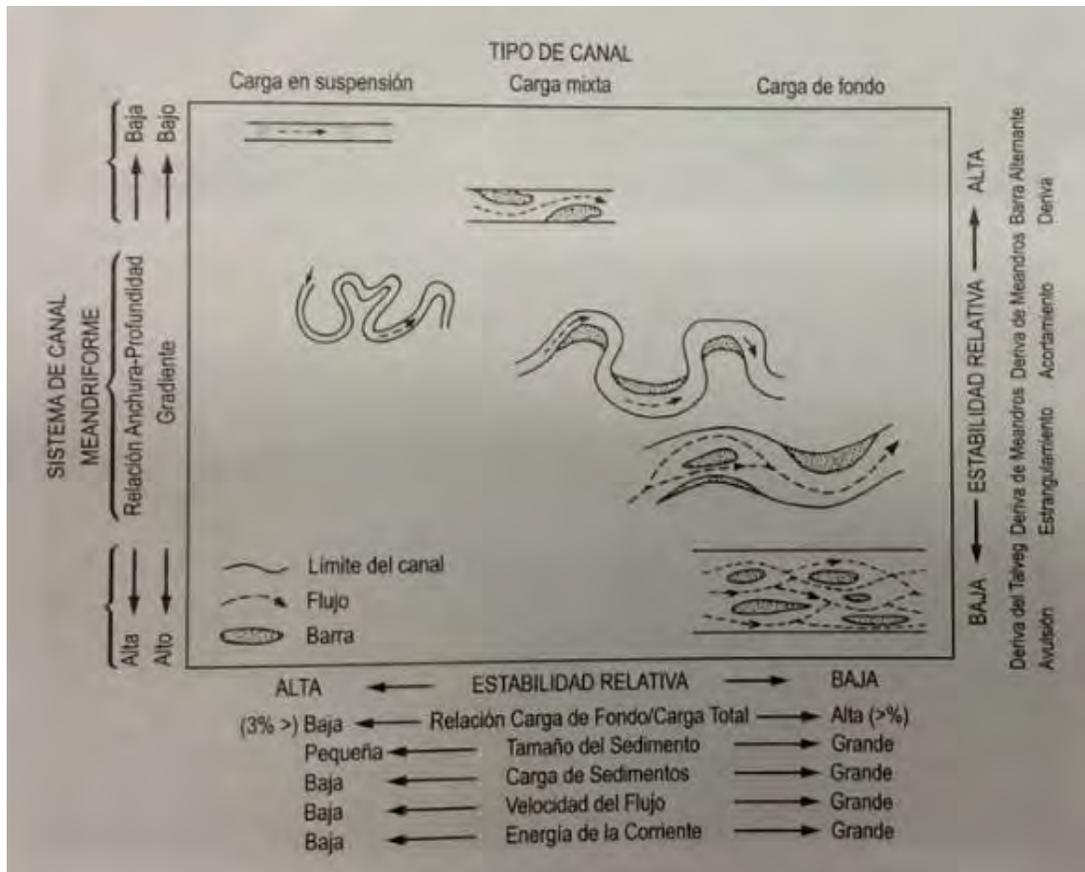


FIGURA 3: CLASIFICACIÓN GENÉTICA DE LOS CANALES FLUVIALES BASADA EN EL SISTEMA DE CANALES Y TIPO DE CARGA DE SEDIMENTO (SCHUMM, 1981)

Desde la perspectiva humana, la dinámica de migración de canales se presenta como un peligro tanto para la infraestructura como también para la población. Sin embargo, desde la perspectiva ecológica, la complejidad generada en las llanuras aluviales en términos topográficos y biológicos implican la existencia de hábitats para la flora y fauna (Olson, Legg, Abbe, Reinhart, & Radloff, 2014). Por este motivo, estudiar la dinámica de los canales, la migración y definir la zona de migración de canales son herramientas indispensables para minimizar los riesgos y proteger las llanuras aluviales.

4.5.7. Unidades geomorfológicas

4.5.7.1. Llanura aluvial

Las llanuras aluviales corresponden a la superficie contigua al curso del río, la cual se inunda con frecuencia. La morfología de esta superficie se altamente influenciada por el comportamiento de los

canales que le dan forma (Gutiérrez Elorza, 2008). En este sentido, se forman a partir de los depósitos de generados a partir de la erosión vertical y lateral de los canales. Es como se distinguen dos tipos de sedimentos que se depositan en estas llanuras: los depósitos de acreción vertical y los depósitos de acreción lateral.

Los depósitos de acreción vertical corresponden a partículas de suspensión que se depositan en la llanura cuando el río sobrepasa la capacidad del canal. Por lo general son partículas pequeñas ya que la energía del río solo permite que las más finas sean lleguen al borde del área inundada (Charlton, 2008). Los depósitos representados por la acreción vertical corresponden a los depósitos de fondo de canal y los de barra de meandro (Gutiérrez Elorza, 2008). Por otro lado, los depósitos de acreción lateral son aquellos depositados por la migración lateral de los canales, que a su paso erosiona la llanura y deposita los sedimentos (Charlton, 2008). Los depósitos correspondientes a este tipo de acreción corresponden a los diques naturales, depósitos de llanura de inundación y de lóbulos de derrame (Gutiérrez Elorza, 2008).

4.5.7.2. Terrazas

Las terrazas son remanentes elevados de llanuras de inundación abandonadas (Codrington, 2003). Son el resultado del abandono de una antigua llanura de inundación a un nivel más elevado que la actual llanura. Esto surge debido a un proceso de incisión y erosión del canal del río, provocando que se forme una llanura a una elevación más baja. Esta formación corresponde a una superficie plana que está formada por dos componentes: el relleno y el escape (Gutiérrez Elorza, 2008).

La incisión y la formación de terrazas puede ocurrir por razones tectónicas, cambios en el nivel del mar o también por el aumento de la fuerza del caudal del río o un cambio en la carga transportada (Charlton, 2008). Durante el periodo en el que el clima permanece constante, la tectónica de placas inactiva y no hay cambios abruptos en el nivel de base del río, la migración lateral del canal conlleva al ensanchamiento del valle. Sin embargo, cuando estos factores de alteración se presentan, la altura del canal cambia y se da un abandono del nivel de la llanura de inundación, dando como resultado una excavación. Esta incisión genera una corte en la llanura de inundación, quedando, así como superficies planas que sobresalen del valle aluvial. Son estas las denominadas terrazas que anteriormente fueron las llanuras aluviales y que ahora se encuentran en otro nivel (Gutiérrez Elorza, 2008).

Estas geoformas se encuentran a lo largo de los márgenes del valle y separan la nueva llanura aluvial de la antigua por medio de una pendiente pronunciada y escarpada (Charlton, 2008). Por lo general, las terrazas se ubican a ambas márgenes del río y en una misma elevación. Las terrazas pueden ser

parcialmente destruidas cuando el cauce de las erosiona a medida que este migra a lo largo de la llanura aluvial. Esto implica que las terrazas que con el tiempo es posible que solo algunos fragmentos de la tarraza permanezcan (Charlton, 2008).

4.5.8. Inundaciones fluviales

Existen diversas clasificaciones y definiciones para el término “inundación” en la literatura. En términos generales se trata de un flujo de agua que excede la capacidad del canal por el cual fluye (Charlton, 2008). De acuerdo al Instituto Nacional de Defensa Civil del Perú (INDECI), este evento se define como “el desborde lateral de las aguas de los ríos, lagos y mares que cubre temporalmente los terrenos bajos adyacentes. Suele ocurrir en épocas de lluvias intensas, marejadas y en caso de tsunami” (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2006). De manera similar, el Instituto Geofísico de Estados Unidos (USGS) lo define como un desbordamiento o inundación proveniente de un río u otro cuerpo de agua provocando daños. El desborde se da por cuando el flujo relativamente alto de la corriente sobrepasa los bancos naturales o artificiales (Instituto Geofísico de Estados Unidos, 2005). Una de las principales diferencias entre los distintos tipos de inundaciones y que definirán la escala espacial y temporal de estos eventos es el tamaño del área afectada y la duración de las precipitaciones que conllevan a las inundaciones (Bronstert, 2003). Estos eventos tienen la capacidad, debido a la cantidad de energía que despliegan, de generar cambios radicales en la geomorfología y, por lo tanto, en la forma de los canales del río (Charlton, 2008).

El tipo de inundación que será abordado en esta investigación es la inundación de río o también llamada inundación fluvial. Este tipo de inundaciones son causadas por el desborde del caudal del río debido a intensas y/o prolongadas precipitaciones. Las inundaciones de ríos implican la combinación de una serie de factores como, por ejemplo, las condiciones climáticas, el suelo, medidas de protección ante inundaciones, uso de suelo, entre otros (Barredo, 2007). En escenarios de condiciones húmedas, el nivel freático es de carácter superficial y por lo tanto la respuesta ante un evento de crecida es rápida. A este tipo de inundaciones fluviales se les denomina inundaciones de nivel freático. Sin embargo, en casos de escenarios de estiaje, la capacidad de infiltración disminuye y por lo tanto las respuestas antes las precipitaciones es más rápida; generando así inundaciones súbditas (Gutiérrez Elorza, 2008). Una característica importante de este tipo de inundación es que el suelo se satura completamente, superando así la capacidad de absorción de agua y produciendo un incremento en el flujo y esorrentía del agua (Barredo, 2007).

Las inundaciones más frecuentes y que mayores riesgos son aquellas que se presentan en las llanuras de inundación ubicadas en las partes bajas de los valles, cercanas a costas de baja altitud. El alto riesgo se explica precisamente por las grandes poblaciones que se asientan en estos lugares y por los recursos ubicados en dichas zonas (Gutiérrez Elorza, 2008). Entre los efectos directos causados por estos eventos se encuentran los daños y la pérdida de vidas y viviendas, entre otros, mientras que los efectos indirectos implican pérdida de producción industrial y agrícola, la afectación a las vías de transporte, el aumento de precios, contaminación de aguas, entre otros (Gutiérrez Elorza, 2008).

4.6. Estudios relativos a la calidad del suelo por el impacto de inundaciones

Los efectos de las inundaciones sobre los suelos agrícolas no ha sido un tema de investigación en el Perú, sobre todo cuando se trata del análisis cuantitativo de los parámetros que definen la fertilidad de los suelos. Estos estudios se han realizado en otras regiones del mundo, tales como Nigeria e India, donde las inundaciones son fenómenos más frecuentes y donde se han desarrollado mayores medidas de prevención para disminuir estos impactos. Las investigaciones existentes se centran en los efectos posteriores de las inundaciones sobre los parámetros de calidad de suelos agrícolas para los cuales se han recolectado muestras de suelo de áreas cultivadas a una profundidad promedio de 30 cm (Akpoveta, Osakwe, Ize-Iyamu, Medjor, & Egharevba, 2014) (Kalshetty, Giraddi, Sheth, & Kalashetti, 2012). Asimismo, la utilización de zonas no afectadas por las inundaciones como punto de control también fueron utilizadas para hacer las comparaciones entre zonas afectadas y no afectadas (Akpoveta, Osakwe, Ize-Iyamu, Medjor, & Egharevba, 2014).

Los resultados presentados por distintas investigaciones son variados. Por un lado, en la investigación de Akpoveta, Osakwe, Ize-Iyamu, Medjor y Egharevba (2014), los impactos sobre los parámetros que determinan la fertilidad del suelo son significativos y afectan negativamente la capacidad que tiene el suelo para producir y mantener cultivos agrícolas debido a que se registra una disminución en la cantidad y calidad de los nutrientes esenciales para el crecimiento adecuado de las plantas (Akpoveta, Osakwe, Ize-Iyamu, Medjor, & Egharevba, 2014). Sin embargo, la investigación de Kalshetty, Giraddi, Sheth y Kalashetti (2012), muestra que los impactos de las inundaciones en el manejo de la agricultura son bajos dado que solamente se aprecia un aumento poco significativo en la concentración de metales pesados que no tienen un impacto importante en el desarrollo de la vegetación (Kalshetty, Giraddi, Sheth, & Kalashetti, 2012).

5. Área de estudio

5.1. Ubicación y extensión

La parte baja del valle de río Huarmey se encuentra situada en el distrito Huarmey, ubicado en la provincia del mismo nombre, en el departamento de Ancash. Esta área se encuentra en la costa central del Perú. Geográficamente, el casco urbano de la ciudad de Huarmey, junto con las áreas agrícolas de este estudio están comprendidas entre los 10°3'24.14" y 10°5'0.77" Latitud Sur y entre los 78°9'23.56" y 78°5'15.43" Longitud Oeste. La ciudad de Huarmey se encuentra a aproximadamente a 2.5 kilómetros del Océano Pacífico y la altitud del área de estudio varía entre los 30 y 50 msnm (Figura 4).

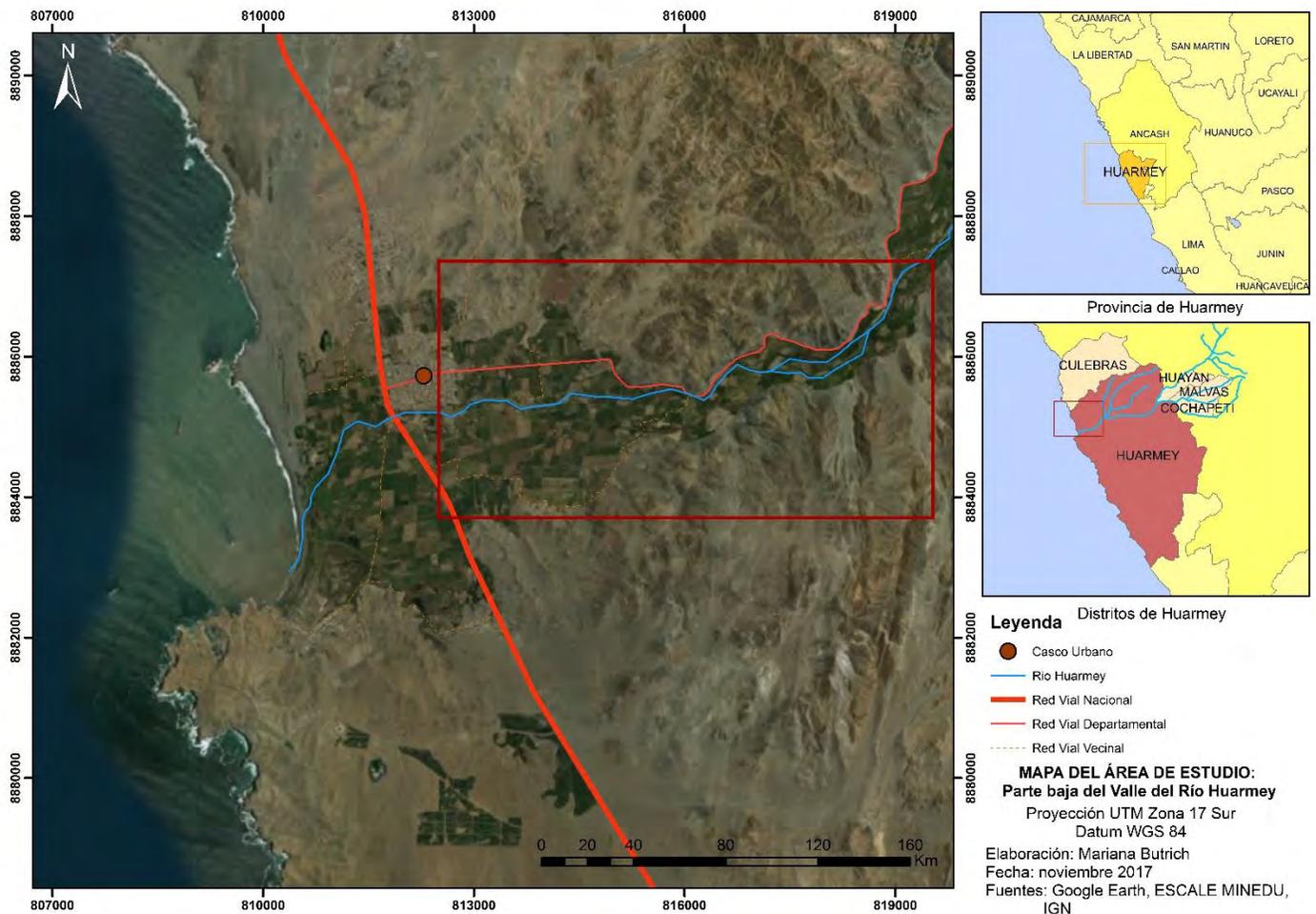


FIGURA 4: MAPA DE UBICACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO - PARTE BAJA DEL VALLE DEL RÍO HUARMEY

5.2. Componentes físicos

5.2.1. Aspecto climático

Desde una perspectiva general, el clima de la parte baja del valle del río se caracteriza por ser desecado desértico - semicálido subtropical. Esta denominación climática tiene una temperatura promedio anual que varía entre los 18° y 19°C y una precipitación promedio anual entre los 15 y 30mm (Autoridad Nacional del Agua, 2007).

La temperatura en la cuenca del río Huarmey sigue una gradiente inversa. A mayor altitud, las temperaturas son menores y a medida que se desciende, estas van aumentando. La variabilidad interanual de la temperatura es baja, sin embargo, durante los años en que se presenta el Fenómeno El Niño, las temperaturas en la zona baja (costera) se elevan sobre el promedio. La temperatura anual promedio en el valle es de 22,05°C, con máximas de 32,24°C durante los meses de verano y mínimas de 14,36°C en los meses de invierno (Autoridad Nacional del Agua, 2007).

Las precipitaciones por unidad hidrográfica permiten un mayor acercamiento a la distribución geográfica de estas a lo largo de la cuenca (Tabla 9). A medida que va descendiendo de alto a bajo Huarmey, las precipitaciones van disminuyendo. Es así como Bajo Huarmey muestra una precipitación de 25,0 mm (Autoridad Nacional del Agua, 2007).

TABLA 9: PRECIPITACIÓN POR UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE RÍO HUARMEY

Unidades Hidrográficas	Precipitación (mm)
Bajo Huarmey	25.0
Medio Bajo Huarmey	25.0
Medio Huarmey	43.5
Medio Alto Huarmey	269.0
Alto Huarmey	617.7

Fuente: Adaptado de Estudio Hidrológico Huarmey (Autoridad Nacional del Agua, 2007)

5.2.2. Hidrografía

Hidrográficamente, el área de estudio se encuentra en la cuenca del Río Huarmey, que tiene una extensión de 2245 Km². Esta cuenca se enmarca dentro de tres provincias del departamento de Ancash: Aija, Recuay

y Huarney, siendo Huarney la que abarca mayor extensión de la cuenca (Figura 5) (Autoridad Nacional del Agua, 2007). De acuerdo a los registros, existen 668 fuentes de aguas superficiales, de las que el 64% corresponden a quebradas, 24% a manantiales, 6% a lagunas represadas, 5% a lagunas y 1% a ríos y drenes (Autoridad Nacional del Agua, 2007). Solamente en Bajo Huarney hay 47 quebradas, 4 manantiales y 1 dren (Autoridad Nacional del Agua, 2007).

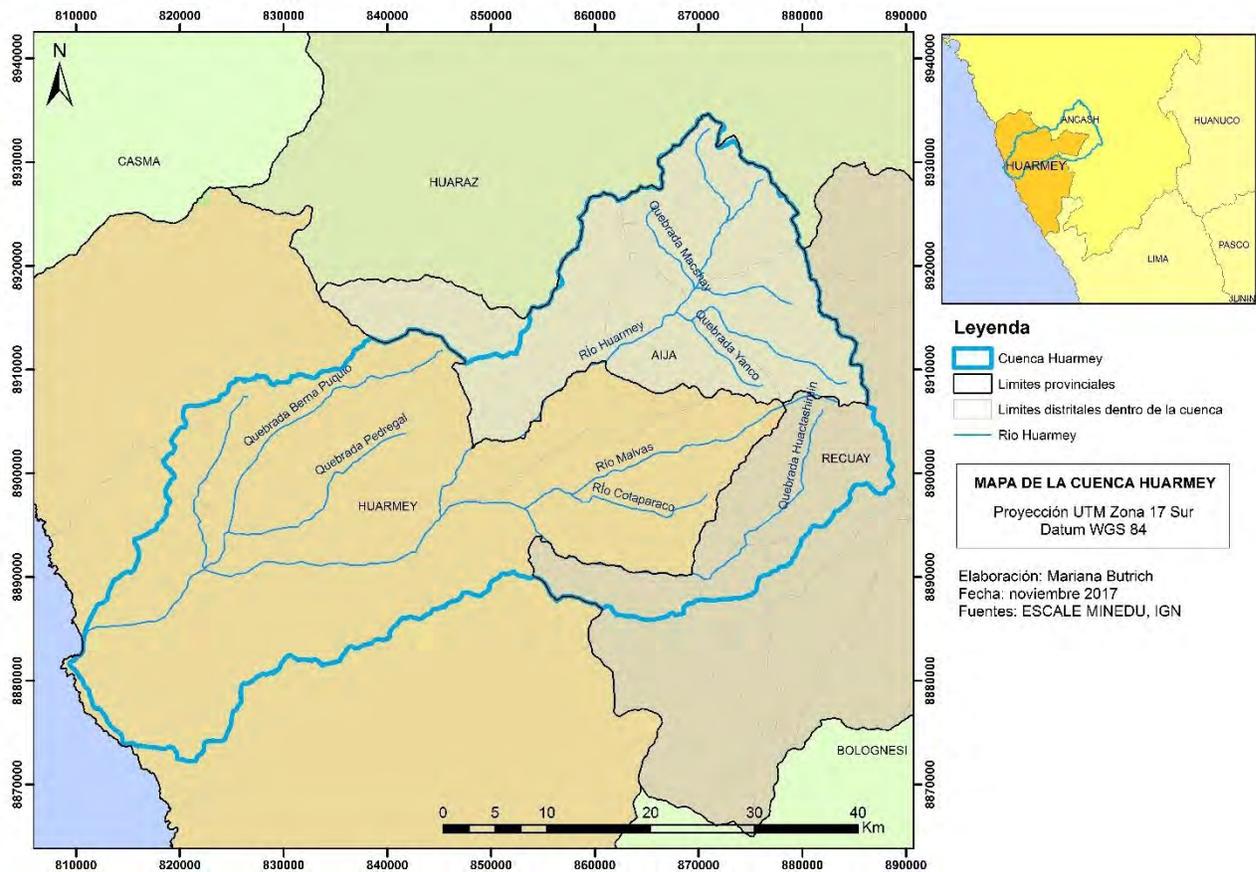


FIGURA 5: CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO HUARMEY

El río Huarney tiene un escurrimiento natural que se da como resultado de las precipitaciones estacionales que se presentan en la parte alta de la cuenca. La estacionalidad comprende de una época de estiaje entre los meses de junio a noviembre y una época húmeda de diciembre a mayo. El estiaje en esta cuenca es muy severo, sobre todo en la parte baja del río Huarney, donde el caudal puede quedar seco. Se estima que el río está completamente seco un 44% del tiempo (Autoridad Nacional del Agua, 2007). La carencia de un elemento regulador en cabecera de la cuenca, las características naturales y físicas tales como la cobertura vegetal y el tipo de suelo y la falta de nevados que regulen el caudal durante época de estiaje son algunas de las explicaciones que se le atribuyen a la severidad de estiaje en esta

cuenca. Es por esta razón que, durante la época de estiaje, la población del valle se abastece del recurso hídrico a través de pozos que les permiten obtener aguas del subsuelo (Autoridad Nacional del Agua, 2007)

5.2.3. Geología y geomorfología

Las edades de las rocas que afloran en la cuenca de río Huarmey varían desde el Cenozoico al Mesozoico, en las que prevalecen las rocas sedimentarias y metamórficas. Sin embargo, estas han sido cubiertas por depósitos aluviales no consolidados en la modernidad. La geología de la parte baja del distrito de Huarmey se caracteriza por formaciones geológicas de depósito aluvial reciente. Este tipo de formación ocupa una extensión de 113.5 km² de bajo Huarmey (Autoridad Nacional del Agua, 2007). Estos depósitos corresponden a material que son transportados por la energía del río que se depositan formando distintas geomorfologías tales como terrazas o cono aluviales. Las terrazas que se han formado presentan partículas como arcillas, arenas, gravas y cantos rodados de forma bien clasificada (Autoridad Nacional del Agua, 2007). Asimismo, los depósitos aluviales a lo largo de las quebradas con cursos de agua estacionales, presentan grava mal clasificada con presencia de limo y arenas (Autoridad Nacional del Agua, 2007). También se evidencian capas de arcilla que son utilizadas para la agricultura ya que favorece la retención de agua para los suelos.

5.2.4. Capacidad de uso mayor de suelo

La geomorfología y los diferentes tipos de depósitos han generado distintos tipos de suelo. La clasificación de tierras por su Capacidad de Uso Mayor permite conocer las potencialidades y limitaciones del espacio con el fin de determinar las áreas para el desarrollo de distintas actividades, entre estas, la agrícola. Las tierras del sector bajo del valle del río Huarmey se encuentran dentro de la categoría de “Cultivos en limpio, calidad agrológica alta, calidad agrológica media” (Autoridad Nacional del Agua, 2007).

Estas son las tierras que presentan las mejores características para el desarrollo de la actividad agrícola de manera intensiva. Las composición y características edáficas, el relieve del terreno y el clima generan las condiciones para una agricultura de especies de corto periodo vegetativo. Las mejores tierras, aquellas de calidad agrológica alta, se encuentran en las superficies planas o con una ligera inclinación. Las tierras de calidad media presentan una serie de limitaciones (Municipalidad Provincial de Huarmey, Universidad Antonio Ruiz de Montoya, 2014). Sin embargo, ambas requieren de prácticas de manejo y una adecuada conservación con el fin de desarrollar la agricultura de manera sostenible y obtener los mejores rendimientos.

5.3. Componentes sociales

5.3.1. Demografía

De acuerdo al censo nacional del 2007, el distrito de Huarmey tiene una población de 21,666 habitantes donde 51% son hombres y 49% mujeres. La población es principalmente de tipo urbana 85%, mientras el 15% es rural (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2007). Haciendo una comparación con el censo de 1993, se puede notar un aumento significativo de la población distrital con una tasa de crecimiento poblacional anual de 1.4%.

El distrito de Huarmey cuenta con un total de 4,916 viviendas de tipo particular con ocupación presente en la que vive el 98% de la población. Estas están construidas en su mayoría de ladrillos/bloques de cemento (60%) o de adobe o tapia (16%), sin embargo, también hay casas construidas con esteras (16%) y quinchas (8%) (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2007). Asimismo, cabe resaltar que el abastecimiento de servicios básicos no se extiende a toda la población del distrito. El 72% de las viviendas cuenta con red pública de agua dentro de la vivienda, mientras que solamente el 56% de las viviendas cuentan con red pública de desagüe dentro de ellas. En cuanto a la electricidad, el 80% de las viviendas cuenta con red pública de alumbrado (Municipalidad Provincial de Huarmey, Universidad Antonio Ruiz de Montoya, 2014).

En términos de desarrollo, el Índice de Desarrollo Humano (IDH) del distrito de Huarmey en el año 2012 fue de 0.5324. Huarmey es el distrito con mayor IDH de toda la provincia. A este valor corresponde una esperanza de vida de 78 años, 68.75% de población con educación secundaria completa, con 9.58 años de educación (población de 25+ años) y un ingreso familiar per cápita de 721.6 soles (PNUD, 2012).

5.3.2. PEA y actividades económicas

El 44,7% de la población del distrito de Huarmey corresponde a Población Económicamente Activa (PEA). De esta población, el 95,6% se encuentra en condición de ocupada mientras que una pequeña parte, el 4,4%, se mantiene desocupada (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2007). Es importante mencionar que el 70% de la PEA está constituida por hombres, principalmente entre los 30-44 años de edad. El 55,3% restante, que corresponde a la población No PEA, hace referencia a los niños y jóvenes estudiantes que, pese a no ser considerados como PEA, en muchas ocasiones contribuyen y apoyan a la economía familiar (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2007).

De acuerdo a la Figura 6, la actividad económica que predomina en el distrito de Huarmey es la actividad agropecuaria, representando aproximadamente al 20% de la población económicamente activa. En segundo lugar, se encuentra el comercio especializado con un 13%, seguido por comercio al por menor con un 11%.



FIGURA 6: PEA Y ACTIVIDADES ECONÓMICAS DE HUARMEY

Fuente: INEI, 2007

5.3.3. Agricultura

La actividad económica que predomina en el distrito de Huarmey es la agricultura. Esta actividad es la base del dinamismo económico del distrito ya que el 93% de la producción está destinado a la venta en el mercado nacional (Instituto Nacional de Estadística e Informática , 2012). De acuerdo al Censo Agropecuario del 2012, el distrito de Huarmey cuenta con un total de 881 unidades agropecuarias que cubren una superficie de 87,565.30 (Instituto Nacional de Estadística e Informática , 2012). La actividad se desarrolla principalmente en unidades agropecuarias con extensión de 0,5 – 3,9 has, cual equivale a un

66% de todas las unidades en el distrito (Tabla 10). De las 688 fuentes de aguas superficiales en el valle del río Huarmey, 378 son utilizadas. De estas fuentes utilizadas, el 47,5% son para la actividad agrícola (Municipalidad Provincial de Huarmey, Universidad Antonio Ruiz de Montoya, 2014). Sin embargo, las durante los meses de estiaje, dependen principalmente de las aguas subterráneas.

TABLA 10: SUPERFICIE AGRÍCOLA POR TAMAÑO DE UNIDAD AGROPECUARIA

Dimensiones	Unidades Agropecuarias	Superficie
Menos de 0,5 has	47	12.57
0,5 - 3,9 has	580	1034.45
4,0 - 9,9 has	209	1208.43
10,0 - 19,9 has	33	400.84
20,0 - 49,9 has	7	234.74
50,0 a más has	5	84674.27
Total	881	87565.3

Fuente: Censo Nacional Agropecuario 2012

El cultivo que predomina en el distrito de Huarmey es el esparrago, al cual le corresponde el 1,475 ha de superficie agrícola (Municipalidad Provincial de Huarmey, Universidad Antonio Ruiz de Montoya, 2014). La apuesta por este cultivo se debe principalmente a su rentabilidad. Además, existe el apoyo de la empresa minera Antamina junto con otras entidades internacionales para fortalecer y fomentar el desarrollo productivo de este cultivo a través del reforzamiento de capacidades técnicas en la producción y gestión (Compañía Minera Antamina, 2014). Otros cultivos que resaltan en la zona son el maíz amarillo duro, el palto, el tomate, la sandía y el ají.

Pese a que la agricultura se desarrolla en una zona con clima semiárido, las aguas para hacer posible esta actividad se derivan del río Huarmey. Sin embargo, el drenaje subterráneo natural de la zona es limitado, por lo que algunas zonas de parte bajan del valle, específicamente en el delta del río, se han anegado y salinizado. Pasa solucionar este problema, se han instalado pozos para extraer el agua subterránea con el fin de servir como una fuente de agua suplementaria y para bajar el nivel de la napa freática. Asimismo, se han implementado zanjas y pozos para evacuar el agua salada de la percolación (Ground Water International, 2008).

Pese a las características edáficas, topográficas y climáticas en la parte baja del valle que favorecen al cultivo en limpio y una calidad agrológica media-alta, todavía se evidencia que la productividad de la zona

no ha llegado a su óptimo en términos de rendimiento y calidad. A esto le atribuye la deficiencia tecnológica, el mal manejo de plagas y enfermedades que afectan a los cultivos y la inadecuada gestión del recurso hídrico en la que aproximadamente el 70% de las aguas de lluvias se pierde en el mar, infraestructura agrícola débil o ausente, articulación al mercado y la falta de mayor organización entre productores (Municipalidad Provincial de Huarney, Universidad Antonio Ruiz de Montoya, 2014). Sin embargo, se evidencian casos donde para aumentar la productividad, la calidad de los cultivos y en general la competitividad de la actividad agrícola, se ha incrementado la agricultura tecnificada. Esta viene acompañada con el uso de sustancias agroquímicas con el fin de lograr los objetivos de producción. Cabe mencionar que estas sustancias pueden ser un riesgo para la calidad de las aguas, tanto fluviales como subterráneas (Municipalidad Provincial de Huarney, Universidad Antonio Ruiz de Montoya, 2014).

5.3.4. Impactos de El Niño Costero 2016/2017 sobre la agricultura

Posterior al evento El Niño Costero del 2017 que trajo consigo el desborde del río Huarney, la Agencia Agraria de Huarney en coordinación con las organizaciones agrarias, municipalidades y autoridades, elaboró una evaluación de los daños causados con el fin de presentar información preliminar para la toma de decisiones para la rehabilitación y mantenimiento de las áreas agrícolas afectadas.

Los principales problemas identificados en el río Huarney en el marco de esta evaluación fueron 35 puntos críticos que requieren intervención en forma de enrocado, gaviones o espigones. Asimismo, la necesidad de construir 12 km de cauce de río y descolmatar o encausar 40 km del mismo. Además, hay una gran cantidad de áreas agrícolas que se encuentran desprotegidas ante un evento similar. Todos estos componentes identificados tienen como fin la prevención ante un evento de la misma magnitud (Motta, 2017).

En cuanto a la infraestructura agrícola, fueron 42 canales los afectados. El desborde del río y el transporte de material causó la colmatación de 12km de canales y la destrucción de numerosas bocatomas (Motta, 2017). Por otro lado, de las 3,380 has de superficie agrícola de la provincia de Huarney de acuerdo a los datos previos a la evaluación de los daños, se estima que la áreas agrícolas afectadas y perdidas por este evento equivalen a un total de 692 has (Motta, 2017). La siguiente tabla muestra las áreas afectadas y perdidas por cultivo en el distrito de Huarney a causa del exceso de lluvias y el desborde del río (Tabla 11). Debido a los impactos en la infraestructura tales como los canales y bocatomas, posiblemente las áreas de cultivo siguieron siendo afectados después del evento debido a la falta de captación de agua. La Figura 7 muestra claramente la situación del sector agrícola durante el evento El Niño Costero del 2017.

TABLA 11: ÁREAS AFECTADAS/PERDIDAS POR CULTIVO

Cultivos	Área afectada/perdida (has.)
Esparrago	356
Palto	56
Maíz amarillo duro	30
Sandia	25
Tomate	20
Mango	5
Ají escabeche	4
Frejol	4
Plátano	4
Maracuyá	3
Papaya	1
Total	0

Fuente: (Motta, 2017)



FIGURA 7: A. DESBORDE DEL RÍO Y ÁREAS DE CULTIVO PERDIDAS/AFECTADAS. ÁREAS DE CULTIVO AFECTADAS. C. CAUCE ANTIGUO DEL RIO (PARTE BAJA DE LA IMAGEN) Y ÁREAS DE CULTIVO PERDIDOS. D. ÁREAS DE CULTIVO EN PROCESO DE DESMORONAMIENTO. E. CANAL Y BOCATOMA DESTRUIDO

Fuente: (Motta, 2017)

La situación siete meses después del evento climático refleja la magnitud de los impactos. Los estragos se reflejan en la productividad de la agricultura y la pérdida de tierras utilizadas para el cultivo. La geomorfología del valle ha cambiado de manera sustancial, sobre todo en términos de la extensión del cauce del río y la formación de terrazas y las superficies destinadas a cultivos agrícolas. La Figura 8 muestra el contexto del área de estudio meses después del devastador incidente de El Niño Costero 2017.



FIGURA 8: ÁREAS AGRÍCOLAS AFECTADAS SIETE MESES DESPUÉS DE LAS INUNDACIONES.

Fuente propia: setiembre de 2017



6. Metodología

La metodología utilizada en esta investigación está claramente definida en dos fases. Por un lado, la primera fase trató el trabajo de campo que estuvo comprendido de dos visitas al área de estudio. La primera donde se tuvo el primer contacto con el valle del río Huarmey, se observaron los impactos y se estableció un plan de muestreo. La segunda visita fue más prolongada y con un trabajo más extenso dado que se tomaron las muestras de suelo y se levantaron los perfiles topográficos correspondientes a los transectos previamente definidos. Por otro lado, la segunda fase trató del trabajo de gabinete que se distinguió por dos procesos: el trabajo de laboratorio donde se hicieron los análisis de los parámetros físicos y químicos de las muestras de suelo recogidas en campo. El otro proceso constó de la elaboración de los perfiles topográficos y del procesamiento de imágenes satelitales para ubicar y cuantificar las áreas agrícolas afectadas y los cambios en la dinámica fluvial. La Figura 9 resume claramente la estructura y el desarrollo de la metodología implementada.



FIGURA 9: RESUMEN - ESTRUCTURA METODOLÓGICA

6.1. Reconocimiento y delimitación del área de estudio

6.1.1. Definición de transectos y puntos de muestreo

Una vez identificadas las áreas afectadas en campo por la crecida del río en la pre-salida de campo que se realizó el 7 de setiembre del 2017, se procedió a establecer un plan de muestreo con el fin de tomar muestras representativas que abarcaron transversalmente el valle, incorporando las distintas geomorfologías tales como la llanura aluvial y las terrazas y tomando en cuenta las áreas agrícolas afectadas y no afectadas. Para cumplir con dicho objetivo y teniendo en cuenta la distribución heterogénea de los componentes, se seleccionó el muestreo en transectos. Este tipo de muestreo consiste en establecer uno o más transectos a lo largo del área de estudio y tomar las muestras a intervalos según las unidades de áreas afectadas y no afectadas por la inundación. Para esta investigación, se trazaron tres transectos perpendiculares al cauce del río. Asimismo, se tomó en cuenta las geoformas identificadas a lo largo de dichos transectos para la recolección de las muestras, para lo cual fue indispensable realizar un perfil cualitativo de los transectos.

Una vez identificados estos transectos en el campo, se prosiguió a levantar el perfil cualitativo de dichos transectos y tomar las muestras de suelo a lo largo de estos. Asimismo, se tomaron muestras de apoyo representativas de áreas afectadas y no afectadas que no correspondían a los transectos determinados

6.2. Toma de muestras de suelo

La salida de campo para la toma de muestras de suelo se llevó a cabo el 22 y 23 de setiembre del 2017. A medida que se iba recorriendo los transectos determinados, se recogieron las muestras de suelo según las distintas superficies afectadas y no afectadas. Una vez elegido el punto de muestreo, se tomaban las coordenadas utilizando un GPS y se anotaba una descripción del lugar sobre el tipo de cultivo, tipo de suelo y el estado del área en términos de la afectación por la inundación. Luego, utilizando una pala, se extraía una muestra de suelo subsuperficial a una profundidad de 15 centímetros. Esta muestra fue colocada en una bolsa de plástico (ziploc) donde se anotó el número de la muestra y las coordenadas del punto (Figura 10). Asimismo, se tomaron fotografías de los puntos de muestreo para tener un mejor registro del área de estudio. Las muestras tomadas fueron después analizadas en el laboratorio química ambiental de la PUCP para determinar los parámetros físicos y químicos de cada muestra.



FIGURA 10: TOMA DE MUESTRA DE SUELO A UNA PROFUNDIDAD DE 15CM Y COLOCADA EN BOLSA ZIPLOC

6.3. Levantamiento del perfil topográfico cualitativo de los transectos

Los perfiles topográficos pueden definirse como cortes transversales del terreno, que, para fines de esta investigación, se realizaron perpendicularmente al cauce del río. El objetivo de realizar estos perfiles fue conocer la variación horizontal del área de estudio, así como también obtener los rasgos geomorfológicos del valle y las alteraciones que el aumento del caudal del río generó durante el Niño Costero del 2017. Cabe resaltar que estos perfiles son de carácter cualitativo ya que la precisión y la exactitud no fueron alcanzadas completamente debido al factor tiempo y a la disponibilidad de instrumentos.

El método utilizado para el levantamiento de los perfiles fue el Método del Clinómetro. Para cumplir con este objetivo, se contó con una cinta métrica de 60 metros, un clinómetro y dos varillas de 1.5 metros. Para iniciar con el levantamiento, se tomó el punto GPS donde se colocó la primera varilla. La segunda varilla se colocó en el lugar donde terminaba la pendiente o había un cambio brusco en la topografía. La distancia entre las dos varillas se midió utilizando la cinta métrica que iba desde el extremo superior de la primera varilla al extremo superior de la segunda varilla (Figura 11). Para medir el ángulo de inclinación, se utilizó un clinómetro. Para dicha medición, se colocó el clinómetro sobre el extremo superior de primera varilla y se midió la inclinación con referencia al extremo superior de la segunda varilla (Figura 12). Terminada la lectura y con los resultados apuntados, se procedió a medir el siguiente punto. Para continuar, la primera varilla se desplazó por delante de la segunda y se midió nuevamente la distancia horizontal y la inclinación. La varilla que se queda atrás será siempre el punto desde donde se mide la

inclinación, que puede ser positiva o negativa. Una vez terminado todo el transecto, se marcó nuevamente el punto GPS.



FIGURA 11: MEDICIÓN DE DISTANCIA ENTRE LAS DOS VARILLAS UTILIZANDO CINTA MÉTRICA



FIGURA 12: MEDICIÓN DE INCLINACIÓN ENTRE LAS DOS VARILLAS UTILIZANDO UN CLINÓMETRO

6.4. Análisis muestras de suelo en laboratorio

6.4.1. Preparación de las muestras

La etapa de preparación de muestras consistió en dejar secar a temperatura ambiente las muestras que se encontraban en las bolsas ziploc. Una vez secas, se procedió a disgregar y moler el material contenido

en cada bolsa utilizando un mortero con pillón de porcelana, permitiendo así obtener partículas finas de cada muestra. Ya teniendo el material molido, la muestra se pasó por un tamiz de 2mm, con el fin de obtener las partículas correspondientes a la fracción fina de la muestra Figura 13. Una vez concluida esta etapa para cada muestra, estas fueron almacenadas dentro de bolsas ziploc para así evitar cualquier tipo de contaminación u alteración. Dado este procedimiento, las muestras de suelo estaban listas para los distintos análisis para determinar los parámetros físicos y químicos.



a) Secado a temperatura ambiente.



b) Moledura de muestra en mortero con pillón de porcelana.



c) Paso de muestra por tamiz de 2mm.

FIGURA 13: PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

6.4.2. Determinación de parámetros físicos

6.4.2.1. Textura

El método utilizado para determinar el parámetro de textura fue la norma ASTM Internacional D422-63 – Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, la cual fue adaptada para los fines de la investigación. Este método permite analizar el tamaño de las partículas de la muestra de suelo bajo el fundamento de la Ley de Stokes, el cual sustenta que la velocidad de sedimentación de las partículas es directamente proporcional a su tamaño (Jaramillo, 2002). Utilizando la herramienta del hidrómetro / ASTM 152H N°24-4640 (g/L), se procedió a calcular el proceso de sedimentación de los distintos tamaños de partículas que se encontraban en suspensión. Este método fue realizado por duplicado para cada una de las muestras con el fin de obtener resultados fiables.

Para contar con el material necesario, se preparó una solución de hexametáfosfato de sodio (NaPO_3) de 40g/L la cual es necesaria para que ocurra la disgregación de las partículas de arcilla en la muestra de suelo. La preparación consistió en disolver 40g de NaPO_3 con agua desionizada por 10 minutos, agitando

la mezcla manualmente con una bagueta. Una vez preparada esta solución, se pasó a una fiola y se enrasó con un volumen de 1 litro.

Ya teniendo la solución de hexametáfosfato de sodio (NaPO_3) de 40g/L lista, se pasó a pesar 80 gramos de muestra (por duplicado para cada muestra). Luego, se mezcló la muestra con 125ml de la solución de hexametáfosfato de sodio (NaPO_3) de 40g/L utilizando una bagueta por 15 minutos en un vaso de precipitado. Pasado este tiempo, se cubrió el vaso de precipitado con Parafilm® y se dejó reposando por 24 horas para que cumpla la función de dispersar las arcillas.

Pasadas las 24 horas, se removió la mezcla del vaso de precipitado para resuspenderlas y se vertió en una probeta de 1L, asegurando que no quedaran partículas en el vaso de precipitado. Luego, la probeta fue completada hasta el volumen de 1L con agua desionizada. Se colocó un Parafilm® para proseguir con la agitación y evitar la pérdida de solución. La agitación de la probeta, con el fin de homogenizar la suspensión, consistió en moverla de lado a lado hasta cerciorar que no quedaban partículas en el fondo de la probeta. Concluida la agitación, se colocó la probeta en la mesa, se retiró el Parafilm® y se inició el cronómetro. Al instante, se introdujo el termómetro para tomar las temperaturas correspondientes en los tiempos determinados. Tanto la lectura de la temperatura como la densidad utilizando un termómetro y un hidrómetro respectivamente fueron tomadas en intervalos de tiempo correspondientes a 40 segundos, 2 minutos, 5 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 1 hora y 2 horas. La Figura 14 muestra paso a paso el proceso del análisis de textura de las muestras de suelo.



a) Peso de 80 gramos de muestra



b) Mezcla de muestra con solución de hexametáfosfato de sodio.



c) Mezcla cubierta con Parafilm y dejada a reposar por 24 horas.



d) Mezcla en probeta completada hasta 1 litro con agua destilada.



e) Agitado de probeta para homogenizar la muestra.



f) Toma de medidas de densidad utilizando un hidrómetro

FIGURA 14: PROCEDIMIENTO PARA ANALIZAR LA TEXTURA DE SUELO

Adicionalmente a las lecturas obtenidas en el análisis de las muestras de suelo, se realizó un blanco. Este se usa como referencia dado que permite la calibración del hidrómetro. Se colocó dentro de la probeta 25 mL de la solución de hexametáfosfato de sodio 40 g/L y se completó hasta llegar a 1L con agua desionizada. Se introdujo el hidrómetro y se obtuvo una lectura de 4 g/L.

La toma de la temperatura es un cálculo muy importante ya que esta tiene la capacidad de afectar la lectura del hidrómetro que ha sido calibrado bajo ciertas condiciones (Medina , García, & Núñez, 2007). En este caso, este hidrómetro ha sido calibrado a una temperatura de 20°C. Por lo tanto, para cumplir con los estándares de dicha metodología se realiza una corrección por temperatura, la cual consiste en sumar 0.36 g/L por cada 1° C por arriba de los 20° C (Medina , García, & Núñez, 2007).

Con las lecturas registradas y teniendo en cuenta la corrección del error por temperatura, se prosigue a utilizar las siguientes fórmulas para calcular el porcentaje de las diferentes texturas en la muestra:

1. Corrección de lectura:

$$\text{Temperatura } ^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} * 0.36 = \text{Corrección de lectura CL g/L}$$

2. Cálculo de porcentaje de partículas:

$$\% \text{ Arena} = \frac{(\text{Lectura hidrómetro } 40s - \text{blanco}) + \text{Corrección de lectura}}{\text{masa seca}} \times 100$$

$$\% \text{ Arcilla} = \frac{(\text{Lectura hidrómetro } 2h - \text{blanco}) + \text{Corrección de lectura}}{\text{masa seca}} \times 100$$

$$\% \text{ Limo} = 100 - (\% \text{ Arena} + \% \text{ Arcilla})$$

Una vez calculados los porcentajes correspondientes a cada facción, utilizando el triángulo de texturas se pasó a determinar la clase textural de cada una de las muestras de suelo.

6.4.2.2. Humedad

Para calcular la humedad de las muestras de suelo, lo primero que se hizo fue registrar el peso del plato Petri en el cual se colocaría la muestra que luego pasaría a la estufa. Una vez medido el plato Petri vacío, se procedió a pesar 20gr de muestra seca. Cabe resaltar que este análisis se realiza por triplicado.

Una vez pesadas las muestras, estas se colocan en la estufa a una temperatura de 105°C por 24 horas, con el fin de que se evapore el agua capilar e higroscópica contenida en la muestra de suelo. Pasado el tiempo, estas fueron retiradas, dejadas a enfriar y luego fueron pesadas. Con los resultados del peso se calcula el peso perdido en base al peso antes y después de pasar por la estufa. La Figura 15 muestra los pasos que se realizaron para proceder con el cálculo de la humedad del suelo.



a) Pesado del plato Petri



b) Pesado de la muestra



c) Muestra en estufa a 105°C por 24 horas.

FIGURA 15: PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA HUMEDAD DEL SUELO

1. Componentes previo al paso por la estufa:

Peso A = Plato petri

Peso B = Muestra húmeda

Peso C = Plato petri + Muestra húmeda

2. Componentes posteriores al paso por la estufa

Peso D = Plato petri + Muestra seca a 105°C

3. Cálculo de porcentaje de humedad

$$\% \text{ Humedad} = 100 - \left(\frac{\text{Peso D}}{\text{Peso C}} \times 100 \right)$$

6.4.3. Determinación de parámetros químicos

6.4.3.1. Conductividad Eléctrica y Potencial de Hidrógeno (pH)

Para analizar los parámetros de Conductividad Eléctrica y pH se utilizó la relación de suelo: agua correspondiente a 1:1 en masa y volumen. Primero, se pesó 40g de muestra seca en la balanza analítica con precisión de 4 decimales y se midió 40 ml de agua destilada. Ambos componentes fueron mezclados por 15 minutos en un vaso 250mL utilizando una bagueta de vidrio. Pasado este tiempo, la mezcla fue vertida dentro de embudos de vidrio conteniendo papel filtro en su interior para así retener los sedimentos gruesos y solo permitir el pase de la solución de suelo. Esta solución fue recolectada en un vaso de precipitado de 250ml. Dentro de la solución, se introdujo el conductímetro y el medidor de pH con el fin de obtener estos resultados. La Figura 16 muestra el procedimiento que se llevó a cabo para analizar estos dos parámetros de las muestras de suelo.



a) Relación 1:1 suelo y agua destilada



b) Mezclado con una bagueta de vidrio por 15 minutos.



c) Vertimiento de mezcla en embudo de vidrio con papel filtro.



d) Recolección de solución en vaso de precipitado.



e) Introducción del conductímetro en la solución.



f) Introducción del medidor de pH en la solución.

FIGURA 16: PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y EL PH

La calibración del conductímetro consistió en un riguroso lavado del electrodo con agua destilada, luego se seleccionó la función de calibración y se introdujo dentro de una solución estándar de KCl, esperando la señal de "OK" en la pantalla (Figura 17). Ya con el instrumento listo, una vez conseguido una cantidad de aproximadamente 150ml de solución de suelo, se introdujo el conductímetro, previamente calibrado y se registró el valor una vez que este se estabilizó. Cabe resaltar que el instrumento utilizado tenía un rango de medición entre 0 a 3999 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0 a 3.999 dS/m), por lo que sería el máximo de lectura alcanzado.

De manera similar se prosiguió a calibrar el medidor de pH, esta vez utilizando un buffer de pH 4 y pH 7 los cuales solicita la función de calibración del instrumento (Figura 17). Una vez calibrado, se introdujo el instrumento en las soluciones donde previamente se había medido la conductividad eléctrica. Se esperó hasta que el valor se estabilice y se registró la lectura.



FIGURA 17: CALIBRACIÓN DEL CONDUCTÍMETRO Y MEDIDOR DE PH

6.4.3.2. Materia Orgánica

La metodología utilizada para calcular el porcentaje de materia orgánica en las muestras de suelo se basa en la norma ASTM Internacional D2974–87 – “Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils”. Los pasos a seguir consisten en pesar un crisol vacío en la balanza analítica (dicho crisol había sido secado a 105°C en la estufa para eliminar la humedad), registrar su peso y luego pesar 5g de muestra seca de suelo a 105°C. Este procedimiento fue realizado por triplicado para cada una de las muestras.

Luego, los crisoles con las muestras secas de suelo fueron colocados en la mufla a 440°C por 4 horas. A esta temperatura se volatiliza el carbono orgánico, permitiendo calcular la pérdida de ese componente dado que solamente queda carbonatos inorgánicos. Una vez terminado el tiempo, estas se dejaron dentro de la mufla para que se enfríen. Posteriormente fueron reiteradas y pesadas. La Figura 18 muestra los pasos que se realizaron para calcular el porcentaje de materia orgánica en las muestras de suelo.



a) Peso de la muestra seca en crisol b) Muestra seca en mufla a 440°C c) Peso de muestra luego de mufla.
por 4 horas

FIGURA 18: PROCEDIMIENTO PARA CÁLCULO DE MATERIA ORGÁNICA

Con las lecturas registradas se prosigue a utilizar las siguientes fórmulas para calcular el porcentaje de carbono orgánico en las muestras:

1. Componentes previo al paso por la mufla:

Peso A = Crisol

Peso B = Muestra seca a 105°C

Peso C = Crisol + Muestra seca a 105°C

2. Componentes posteriores al paso por la mufla

$$\text{Peso } D = \text{Crisol} + \text{Muestra seca a } 440^{\circ}\text{C}$$

3. Cálculo de porcentaje de carbono orgánico

$$\text{Peso de Materia orgánica (g)} = \text{Peso } C - \text{Peso } D$$

$$\% \text{ de Materia orgánica por gramo} = \frac{\text{Peso de materia orgánica (g)}}{5 \text{ gramos de muestra}} \times 100$$

6.4.3.3. Macronutrientes

Para obtener los resultados del contenido de macronutrientes en las muestras de suelo, se trabajó con el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) del Departamento de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Se solicitó el análisis de 18 muestras de suelo, las cuales correspondían a las 17 muestras recolectadas en campo más una adicional que se repetía como muestra control con la finalidad de corroborar la precisión y confiabilidad de los resultados. Se les entregó un aproximado de 500 g de muestra para los respectivos análisis. A continuación, se detalla el método utilizado por el LASPAF para determinar el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en las muestras de suelo.

- Nitrógeno

Para determinar el contenido de Nitrógeno Total en las muestras de suelo se utilizó el método de micro-Kjeldahl modificado. Este método permite transformar el nitrógeno orgánico presente en la muestra de suelo a sulfato amónico. Para que esto suceda, la muestra pasa por un proceso de digestión en el cual el carbón y el hidrógeno son sometidos a un proceso de oxidación para formar dióxido de carbono y agua. Asimismo, el sulfato es reducido a dióxido de azufre mientras que el amonio es liberado en forma de amoníaco. Dado que este último no puede escapar del ambiente ácido, este permanece en forma de sales. Luego se le agrega una solución de hidróxido, el amoníaco es destilado desde el ambiente alcalino y puede ser absorbido en ácido sulfúrico. En este sentido, hay una liberación del amoníaco y esto puede ser leído con un electrodo selectivo (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007).

- Fósforo

Para determinar el contenido de Fósforo extractable (ppm) el Método de Olsen y posterior colorimetría empleando reactivo sulfomolibdico. El método de Olsen utiliza como extractante una solución de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) 0,5 M moderadamente alcalina pH 8,5 que permite controlar la actividad de los iones de calcio y disminuir su concentración. Este reactivo permite extraer el fosfato de la superficie de los fosfatos de hierro y aluminio lo cual significa que es un óptimo extractante para suelos con diversos valores de pH (Zalba, Bravo, Amiotti, & Peinemann, 2002). Al disminuir las concentraciones de iones de calcio solubles en la solución, esto también favorece a la disolución de los fosfatos de calcio presentes. Asimismo, el fósforo disuelto y absorbido por los carbonatos y óxidos de hierro son removidos (Yakabi, 2014).

- Potasio

El método utilizado para determinar el contenido de Potasio fue el método de extracción empleando acetato de amonio y posterior espectrofotometría de absorción atómica. El potasio, es uno de los principales cationes intercambiables, por lo que puede ser absorbido por las partículas de arcilla o materia orgánica con cargas negativas (Yakabi, 2014). El método utilizado para determinar la capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables implica saturar la superficie de intercambio con un catión índice tal como el ion amonio ya que es un ion de fácil determinación, con baja presencia en el suelo y que no precipita al contacto con este medio. La concentración de acetato de amonio que se utiliza permite lograr la completa saturación de las superficies de intercambio en la muestra de suelo y permite mantener un valor determinado de pH (Fernández L. , y otros, 2006)

6.5. Análisis espacial-temporal de área afectada

6.5.1. Recolección de imágenes satelitales

Con el fin de identificar las áreas afectadas por las inundaciones causadas tras el desborde del río Huarmey durante el mes de marzo del 2017, se realizó un proceso de análisis espacial-temporal de las áreas agrícolas afectadas; tomando en cuenta que el día 16 de marzo se registró el principal desborde del río Huarmey, ocasionado inundaciones tanto en zona agrícola como urbana. Para lograr identificar las áreas agrícolas afectadas, se utilizó dos imágenes satelitales: una previa al evento de las inundaciones que corresponde a la fecha del 5 de marzo del 2017 y la otra posterior al evento que data del 14 de abril del 2017 (Tabla 12). Las imágenes fueron seleccionadas tomando en cuenta el criterio de menor porcentaje

de cobertura de nubes sobre el área de estudio dado que permite un mejor análisis visual del panorama. Las imágenes satelitales fueron obtenidas del satélite Sentinel-2 L1C, el cual se caracteriza por tener un escáner multi-espectral que permite tener tanto las longitudes de onda visibles como el infrarrojo, por lo que es posible combinar las bandas para monitorear los cambios en la vegetación (European Space Agency, 2017). De acuerdo a las características de las imágenes satelitales Sentinel 2, estas tienen una resolución espectral de 13 bandas, una resolución espacial que va desde 10 metros a 60 metros dependiendo de la banda, una resolución temporal de 5 días y resolución radiométrica de 12 bit (Tabla 13). Estas imágenes fueron descargadas del Sentinel Hub by Sinergies, un portal gratuito que permite descargar dichas imágenes que tienen una resolución espacial, multi-espectral, radiométrica y temporal adecuadas para cumplir con los objetivos de la presente investigación. Posteriormente, estas imágenes fueron abiertas en el programa ArcMap 10.4 para su pre-procesamiento y luego para ser trabajadas con el fin de cumplir los objetivos de esta investigación.

TABLA 12: IMÁGENES SENTINEL SELECCIONADAS

Fecha	Código	Cobertura de nubes
05/03/2017	S2A_MSIL1C_20170305T152631	15.09 %
04/04/2017	S2A_MSIL1C_20170414T152641	15.25 %

Fuente: Sentinel Hub by Sinergies

TABLA 13: CARACTERÍSTICAS DE IMÁGENES SATELITALES SENTINEL 2

Sensor	Resolución espectral	Resolución espacial		Resolución temporal	Resolución radiométrica
Sentinel-2 L1C	13 bandas	Banda 2,3,4 y 8	10m	5 días	12 bit
		Banda 5, 6, 7, 8a, 11 y 12	20m		
		Banda 1, 9 y 10	60m		

Fuente: (European Space Agency, 2017)

6.5.2. Pre-procesamiento de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales descargadas estaban compuestas por 13 bandas, cada banda corresponde a una longitud de onda distinta. A partir de la combinación de bandas es posible generar imágenes de “falso color” que permiten analizar un rasgo específico en las imágenes, en este caso, la vegetación. La radiación que refleja la vegetación en base a las longitudes de onda se conoce como la firma espectral. Esta firma, que se traduce en la selección de bandas, es la que permite distinguir este componente en las imágenes.

Para el análisis procedió a combinar las bandas 8, 4, 3 debido a que responde a la firma espectral de la vegetación. Se debe utilizar una banda de alta reflectancia (banda 8 – infrarrojo cercano), una banda de alta absorción (banda 4 – rojo) y una banda intermedia (banda 3 – verde) (Chuvieco, 1990). A partir de dicho procesamiento se obtuvieron imágenes donde la vegetación se ve representada por el color rojo y fue posible distinguir las áreas afectadas debido a la presencia y ausencia de este color en las imágenes previas y luego del fenómeno de la crecida del río.

6.5.3. Delimitación y cálculo de áreas afectadas

Para identificar las zonas afectadas, en primer lugar, se hizo un análisis visual de las dos imágenes. Primero se trabajó con la imagen previa al evento de la inundación a partir de la cual se identificaron las zonas “rojas” correspondientes a las áreas de cultivo. Estas fueron digitalizadas a partir de la creación de un nuevo shapefile en el cual se delinearón los polígonos de dichas áreas agrícolas. Luego, se procedió a trabajar con la imagen posterior al evento de inundación. Al igual que en la imagen previa, se delimitaron las zonas “rojas” correspondientes a las áreas agrícolas existentes posteriores al evento de la inundación. Pese a que existen técnicas de análisis digital, se eligió trabajar con el análisis visual debido a que, según Chuvieco (1996), este tipo de análisis permite utilizar criterios más complejos a diferencia del análisis digital que se basa exclusivamente en función a la intensidad radiométrica que presentan los píxeles de la imagen (Jahnsen, 2013). Cabe mencionar que los criterios utilizados para esta interpretación visual fueron: el tono, entendido como la intensidad de la energía que es registrada a través del sensor de las bandas seleccionadas, y, el color, en este caso los rojos (Chuvieco, 1990) (Fox, 2013).

Para calcular la dimensión de las áreas afectadas, se utilizó la herramienta de “Erase” del “Spatial Analyst”. Se insertó el shape de los polígonos de las áreas agrícolas previas al evento de la inundación correspondiente al 5 de marzo del 2017 como “Input” y en “Erase Feature” se insertó el shape de los polígonos posteriores al evento de la inundación correspondientes al 14 de abril del 2017. Como resultado, se obtuvo un nuevo shape con las áreas agrícolas que se habían perdido con las inundaciones entre estas fechas. Por último, utilizando la herramienta “calculate geometry” se procedió a calcular el área de los polígonos perdidos, los cuales representan la extensión de áreas agrícolas perdidas por causa de este evento.

6.5.4. Digitalización de los cambios en la dinámica de canales

Para identificar los cambios en la dinámica de los canales por causa de los eventos de inundación, se procedió a digitalizar dichos canales en sus estados previos y posteriores al evento de inundación. Esta

práctica permite visualizar las direcciones de la migración de canales y los patrones generados como resultado. Para lograr dicho fin, se procedió a digitalizar el canal del río identificado en la imagen satelital del 5 de marzo del 2017, creando un nuevo shape correspondiente al río en esta fecha. Una vez identificado y digitalizado el canal previo, se procedió a hacer el mismo ejercicio con la imagen satelital del 14 de marzo del 2017, posterior a la inundación. Ambos shapes correspondientes a las digitalizaciones previas y posteriores de los canales del río fueron sobrepuestos en un mismo mapa para poder identificar visualmente los principales cambios en la dinámica fluvial.



7. Resultados

A continuación, se presentan los resultados siguiendo la estructura de la metodología utilizada en esta investigación. Los puntos de muestreo y transectos son la base a partir de la cual se obtuvieron las muestras de suelo que fueron analizadas posteriormente en el laboratorio para determinar los parámetros físicos y químicos y, por otro lado, los transectos permitieron levantar el perfil topográfico del suelo y destacar las principales geomorfologías. Asimismo, las imágenes satelitales trabajadas entregaron la información para determinar las áreas agrícolas perdidas y los cambios significativos a nivel de la dinámica fluvial.

7.1. Puntos de muestreo y transectos

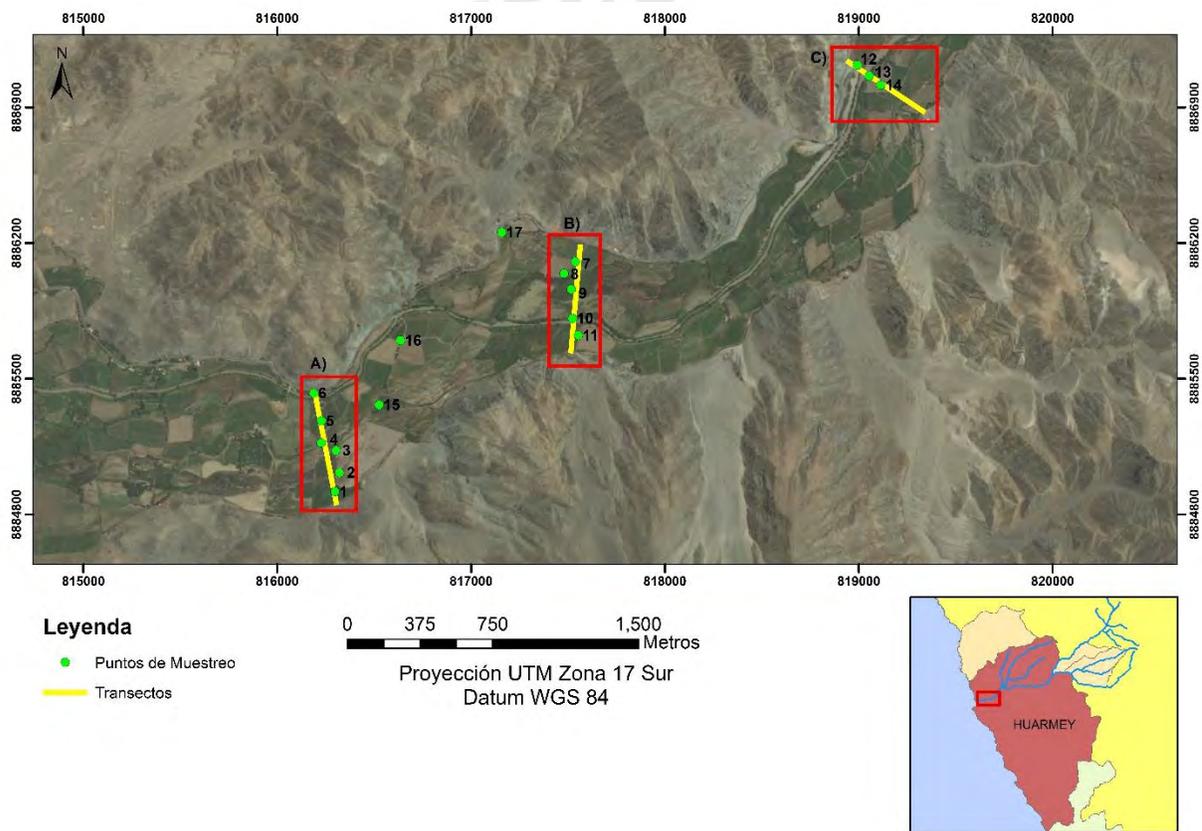


FIGURA 19: MAPA DE PUNTOS DE MUESTREO DE SUELO Y TRANSECTOS DE PERFILES TOPOGRÁFICOS CUALITATIVOS

El mapa de la Figura 19, muestra los puntos de muestreo de donde se obtuvieron las muestras de suelo analizadas posteriormente en el laboratorio. Estos puntos de muestreo, siguiendo el plan establecido en la metodología, se encuentran a lo largo de los transectos transversales al valle a partir de los cuales se levantó un perfil topográfico cualitativo. Las muestras del 1 al 6 corresponden al transecto A, las muestras del 7 al 11 al transecto B, del 12 al 14 al transecto C y finalmente las muestras 15 al 17 fueron muestras

complementarias y de apoyo. Tanto los transectos como los puntos de muestreo cubren áreas agrícolas que se mantuvieron luego de las inundaciones, así como también áreas agrícolas perdidas y/o afectadas por causa de este evento.

7.2. Resultados de laboratorio (características físicas y químicas del suelo)

7.2.1. Textura

La lectura del hidrómetro a distintos tiempos (ANEXO 1) permitió calcular el porcentaje de arena, limo y arcilla para cada muestra de suelo. El resultado final corresponde al promedio obtenido del duplicado de lecturas por muestra (Tabla 14). Los resultados en función a la clase textural de cada muestra de suelo fueron plasmados en el triángulo textural (Figura 20) con el fin de tener un acercamiento más ilustrativo a la distribución de las clases de suelo de cada muestra.

TABLA 14: CLASES TEXTURALES DE LAS MUESTRAS DE SUELO

Muestra	Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura	
1	49.7	19.2	31.2	Franco	Transecto A
2	42.6	16.1	41.4	Franco	
3	22.6	5.5	72.0	Franco Limoso	
4	20.3	4.8	74.9	Franco Limoso	
5	9.6	2.3	88.1	Limoso	
6	53.6	12.1	34.3	Franco arenoso	
7	48.0	11.3	40.8	Franco	Transecto B
8	23.0	3.8	73.3	Franco limoso	
9	13.0	5.2	81.8	Limoso	
10	49.8	7.1	43.1	Franco	
11	54.2	21.3	24.6	Franco arcillo arenoso	
12	11.5	3.0	85.5	Limoso	Transecto C
13	12.8	3.6	83.7	Limoso	
14	27.8	9.2	63.0	Franco limoso	
15	19.0	7.5	73.5	Franco Limoso	Muestras complementarias
16	46.5	9.4	44.2	Franco	
17	57.8	10.5	31.8	Franco arenoso	

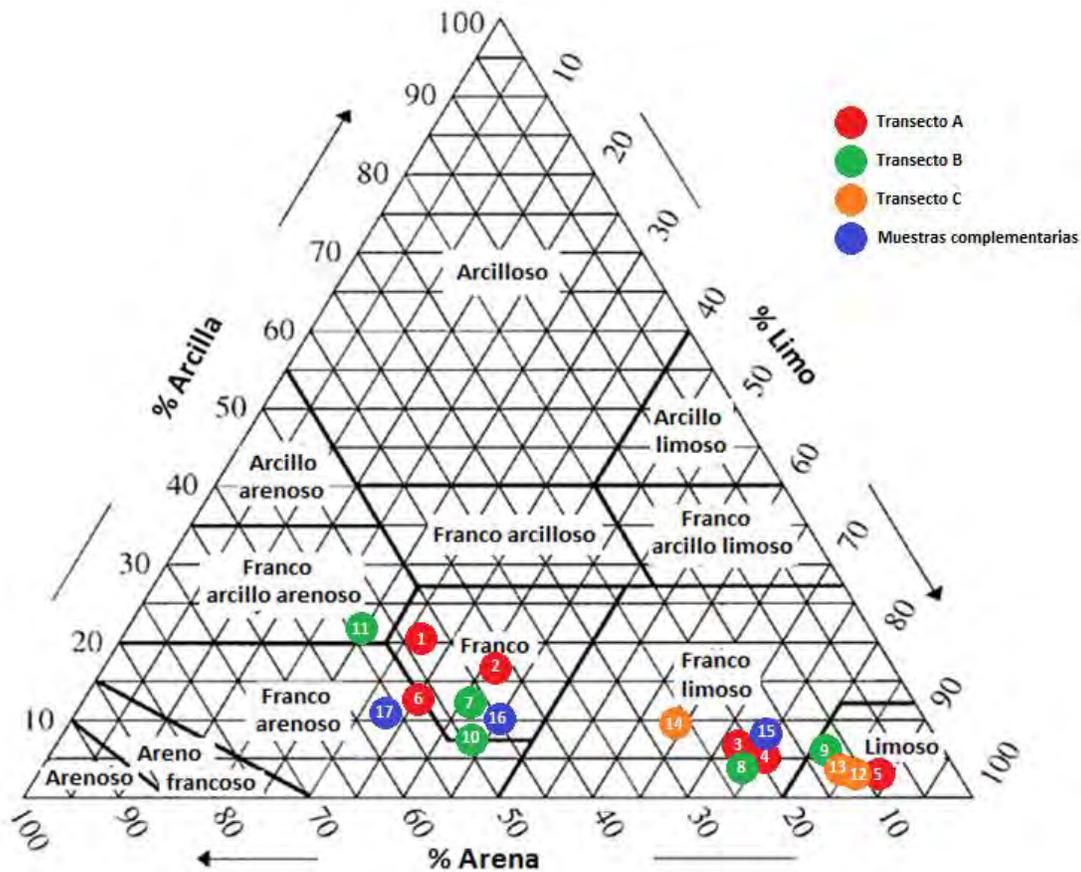


FIGURA 20: DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO EN TRIANGULO DE CLASES TEXTURALES

Como se puede observar, las clases de suelo presentes se distribuyen principalmente entre suelos Francos, Franco limosos y Limosos. 14 de las 17 muestras analizadas caen dentro de estas clases, sin embargo, también encontramos muestras como la 11 que corresponde a un suelo Franco arcillo arenoso y muestras como la 6 y 17 que corresponden a suelos Franco arenosos. Cabe resaltar que los porcentajes de arcilla en todas las muestras fue relativamente bajos, llegando a un máximo de 21.3% en la muestra 11. No es posible encontrar un patrón por transectos dado que el corte transversal del valle atraviesa distintas unidades geomorfológicas y grados de exposición variados a las inundaciones que pueden afectar el tipo de clase de textura en cada punto.

7.2.2. Potencial de Hidrógeno y Conductividad Eléctrica

Los valores del pH y CE en el suelo provienen del promedio obtenido del duplicado de lecturas por muestra (Tabla 15) (ANEXO 2). La desviación estándar para cada resultado del pH y CE refleja que no existe una variación significativa entre las lecturas obtenidas. Cabe resaltar que las pruebas de pH y CE se hicieron en la solución de suelo a temperaturas entre 20.6 y 22.3°C.

En general, el pH en la parte baja del valle del río Huarmey varía entre 7.08 y 8.10, lo cual corresponde a una clasificación, según la clasificación en el sistema del USDA, que va desde “neutro” hasta “medianamente básico”. El valor más bajo se encuentra en la muestra 14 y el más alto en la muestra 18. Es importante mencionar que el rango de valores presentados no es muy amplio ya que la clasificación “medianamente básico” es la predominante.

En cuanto a la Conductividad Eléctrica (Tabla 15), que permite determinar la salinidad del suelo, podemos ver que en general el suelo del área de estudio es “No salino” lo cual corresponde a niveles bajos de salinidad. Dado que las muestras 2, 7, 11 y 15 presentaron valores de conductividad eléctrica mayor a 3.99 dS/m, estas muestras fueron enviadas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) del Departamento de Suelos de la Facultad de Agronomía de la UNALM con el fin de tener un mayor alcance y obtener resultados más exactos. Estos resultados nos permiten ver que los suelos de las muestras 2, 11 y 15 son “extremadamente salinos”, desviándose de la clasificación común del área de estudio que en general, a partir de los resultados, presenta suelos “no salinos”.

TABLA 15: RESULTADOS DE PH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LAS MUESTRAS DE SUELO

Muestra	pH	S ±	Clasificación	CE (dS/m)	S ±	Clasificación	
1	7.81	0.05	Medianamente básico	0.46	0.00	No salino	Transecto A
2	7.90	0.11	Básico	>3.99 (*15.30)	0.00	Extremadamente salino	
3	7.73	0.09	Medianamente básico	3.68	0.00	Moderadamente salino	
4	7.30	0.02	Básico	0.96	0.01	No salino	
5	7.84	0.01	Medianamente básico	0.30	0.00	No salino	
6	7.90	0.06	Básico	0.51	0.00	No salino	
7	7.76	0.04	Medianamente básico	>3.99 (*4.11)	0.00	Moderadamente salino	Transecto B
8	7.85	0.03	Medianamente básico	0.80	0.00	No salino	
9	7.74	0.07	Medianamente básico	0.56	0.00	No salino	
10	7.79	0.00	Medianamente básico	1.14	0.00	No salino	
11	7.27	0.04	Neutro	>3.99 (*15.44)	0.00	Extremadamente salino	Transecto C
12	7.75	0.02	Medianamente básico	1.04	0.00	No salino	
13	7.83	0.01	Medianamente básico	0.68	0.00	No salino	
14	7.08	0.08	Neutro	0.84	0.00	No salino	
15	8.01	0.01	Básico	>3.99 (*15.16)	0.00	Extremadamente salino	Muestras complementarias
16	7.72	0.09	Medianamente básico	1.08	0.00	No salino	
17	8.10	0.06	Básico	1.02	0.00	No salino	

(*) Resultados de los análisis realizados en Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) del Departamento de Suelos de la Facultad de Agronomía de la UNALM

7.2.3. Materia orgánica

Los porcentajes de materia orgánica en el suelo fueron obtenidos del promedio de las muestras por triplicado (ANEXO 3) (Tabla 17: Resultados de % de nitrógeno y ppm de potasio y fósforo calculado en el laboratorio de la Tabla 16). El contenido de materia orgánica de las muestras varía entre 0.84 y 3.23%, correspondientes a las muestras 9 y 2 respectivamente. Estos valores extremos se encuentran en el

transecto B (muestra 9) y transecto A (muestra 2). En general, el contenido de materia orgánica en los suelos de la parte baja del valle del río Huarmey varía entre “Bajo” y “Medio” de manera muy equitativa por transecto.

TABLA 16: RESULTADOS DE MATERIA ORGÁNICA

Muestra	% materia orgánica	S ±	Calificación	
1	2.62	0.095	Media	Transecto A
2	3.23	0.121	Media	
3	1.29	0.069	Baja	
4	1.63	0.068	Baja	
5	0.88	0.042	Baja	
6	2.91	0.082	Media	
7	2.30	0.074	Media	Transecto B
8	2.42	0.120	Media	
9	0.84	0.115	Baja	
10	1.53	0.135	Baja	
11	3.33	0.137	Media	
12	1.19	0.041	Baja	Transecto C
13	2.53	0.045	Media	
14	1.77	0.020	Baja	
15	1.58	0.027	Baja	Muestras complementarias
16	2.24	0.150	Media	
17	2.72	0.164	Media	

7.2.4. Nitrógeno, Potasio y Fósforo

La Tabla 17 muestra los resultados obtenidos en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) del Departamento de Suelos de la Facultad de Agronomía de la UNALM. El contenido de nitrógeno en las muestras de suelo se presenta en porcentaje (%), mientras que el contenido de potasio y fósforo en partes por millón (ppm).

El contenido de Nitrógeno en las muestras no varía mucho, encontrándose en un rango de 0.03 a 0.11%. Estos valores corresponden a una clasificación que va desde suelo “Extremadamente pobre” a “Medio”. En cuanto al contenido de potasio, la variación es más amplia, yendo desde 38 a 1024 ppm. Estos valores corresponden a una clasificación que va de “Bajo” a “Alto”. En el transecto C, todas las muestras presentaron una clasificación de “bajo” contenido de potasio. Por último, el contenido de fósforo se presentó en un rango de 8.2 – 51.6 y las clasificaciones variaron entre “medio” y “alto” contenido.

TABLA 17: RESULTADOS DE % DE NITRÓGENO Y PPM DE POTASIO Y FÓSFORO CALCULADO EN EL LABORATORIO DE LA UNALM

Muestra	Nitrógeno (%)	Clasif.	Potasio (ppm)	Clasif.	Fósforo (ppm)	Clasif.	
1	0.10	Medio	89	Bajo	14.1	Alto	Transecto A
2	0.11	Medio	426	Alto	16	Alto	
3	0.04	Pobre	212	Medio	8.9	Medio	
4	0.07	Medianamente pobre	122	Medio	31.8	Alto	
5	0.03	Extremadamente pobre	38	Bajo	9.3	Medio	
6	0.09	Medio	88	Bajo	13.9	Medio	
7	0.09	Medio	255	Alto	11.4	Medio	Transecto B
8	0.08	Medianamente pobre	74	Bajo	21.4	Alto	
9	0.05	Pobre	43	Bajo	8.2	Medio	
10	0.05	Pobre	68	Bajo	14.4	Alto	
11	0.11	Medio	1024	Alto	50.2	Alto	Transecto C
12	0.08	Medianamente pobre	67	Bajo	28	Alto	
13	0.03	Extremadamente pobre	49	Bajo	10.7	Medio	
14	0.09	Medio	94	Bajo	51.6	Alto	Muestras complementarias
15	0.07	Medianamente pobre	49	Bajo	11.1	Medio	

16	0.07	Medianamente pobre	109	Medio	15.5	Alto
17	0.11	Medio	155	Medio	25.3	Alto

7.3. Características físico-químicas del suelo y geomorfológicas de los transectos

Los siguientes tres mapas (Figura 21, Figura 22, Figura 23) muestran de manera gráfica los resultados de laboratorio de cada punto de muestreo y as características geomorfológicas de los transectos estudiados. Los transectos cortan de manera transversal el eje del río y permiten tener un acercamiento a la geomorfología del valle y, asimismo, a los suelos que lo componen.

Los resultados de laboratorio del transecto A (Figura 21) son muy heterogéneos, por lo que no es posible describir un patrón de las características físicas y químicas de los suelos en este sector. La muestra 4 cae sobre el río, sin embargo, para la fecha en que fue obtenida, este flujo de agua ya se había secado.

En cuanto a las características geomorfológicas, se puede observar tres niveles de terrazas, una superior, un nivel medio y una terraza inferior, correspondiente al nivel del lecho del cauce del río. En las terrazas superiores se ubican las áreas agrícolas que no fueron afectadas por el evento de las inundaciones. La terraza superior ubicada al centro del perfil es un punto clave ya que permite evidenciar la erosión causada por el Fenómeno El Niño del año 1997/98 que se ubica al margen derecho del valle en un nivel medio de terraza y hacia el lado izquierdo de esta terraza, se puede evidenciar el nuevo lecho del cauce del río formado por el reciente evento El Niño Costero 2016/17. En ambas depresiones, se encuentran áreas agrícolas perdidas. Sin embargo, actualmente no se hallan cultivos en nuevo lecho del cauce del río al margen izquierdo del valle debido a la remoción de gran cantidad de sedimento, la presencia de cursos de agua y el terreno irregular con la presencia alternada de barras y cauces, formando un patrón entrelazado.

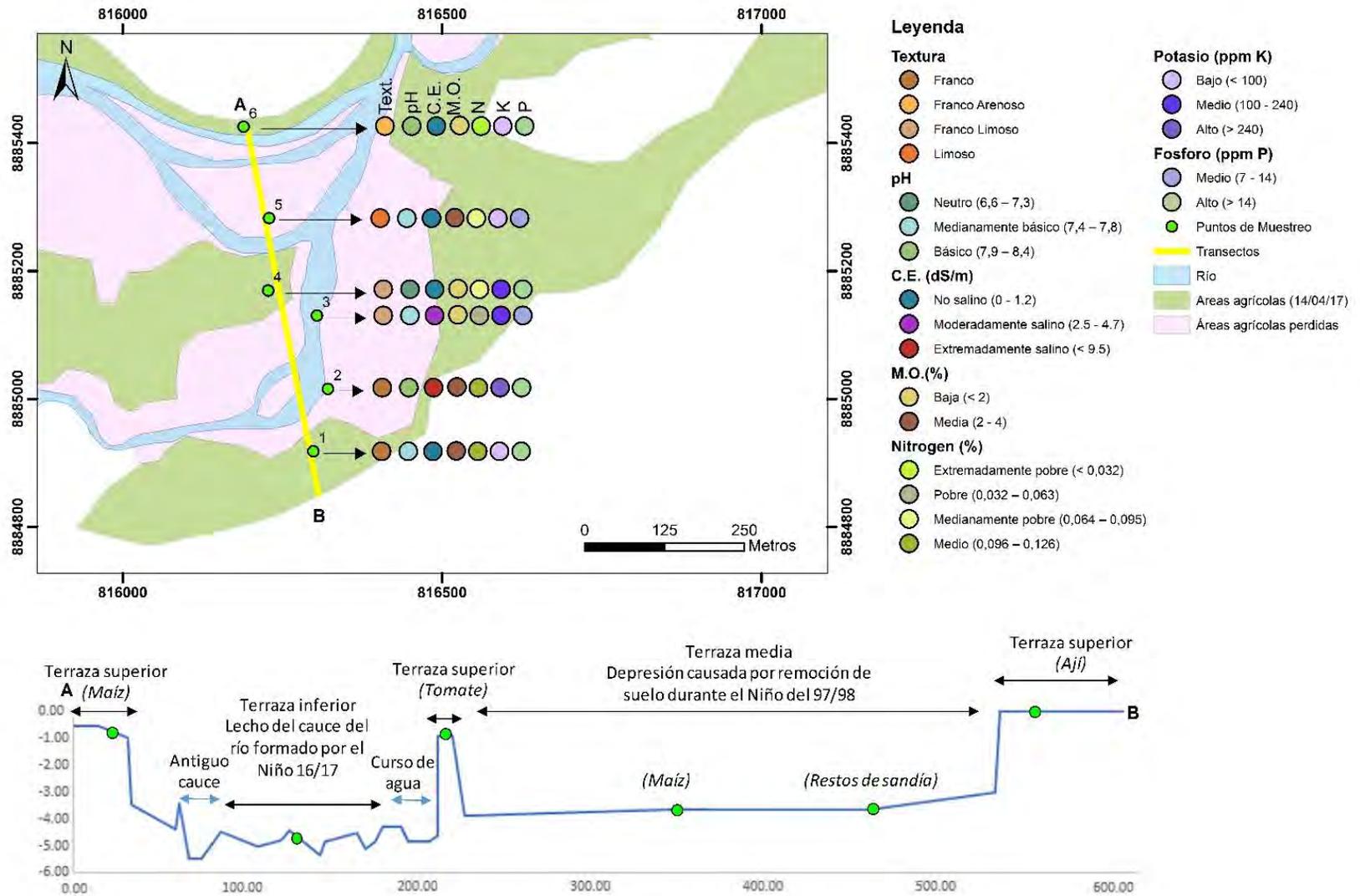


FIGURA 21: TRANSECTO A - MAPA DE PUNTOS DE MUESTREO CON RESULTADOS DE LABORATORIO Y PERFIL TOPOGRÁFICO DEL TRANSECTO

Al igual que en el transecto A, los resultados de laboratorio del transecto B (Figura 22) son muy heterogéneos, por lo que no es posible describir un patrón de las características físicas y químicas de los suelos en este sector. Cabe resaltar que las muestras 7, 8 y 11 corresponden a áreas agrícolas que se mantuvieron luego de las inundaciones mientras que el resto no fueron áreas agrícolas previas a las inundaciones.

Lo que más resalta de estos resultados son los rasgos geomorfológicos identificados en el transecto. En este caso se puede observar un perfil más complejo, con tres niveles de terrazas, más simétrico y con cauces a distintos niveles. El antiguo cauce del río se encontraba entre la terraza superior y media. Sin embargo, actualmente los cursos de agua se encuentran en la depresión formada por el evento El Niño Costero del 2016/17, en un nuevo nivel producto de la erosión donde se encuentra el lecho del cauce en el nivel de terraza inferior. Este nuevo lecho del cauce presenta partículas más finas como lo sería el limo en la muestra 9.



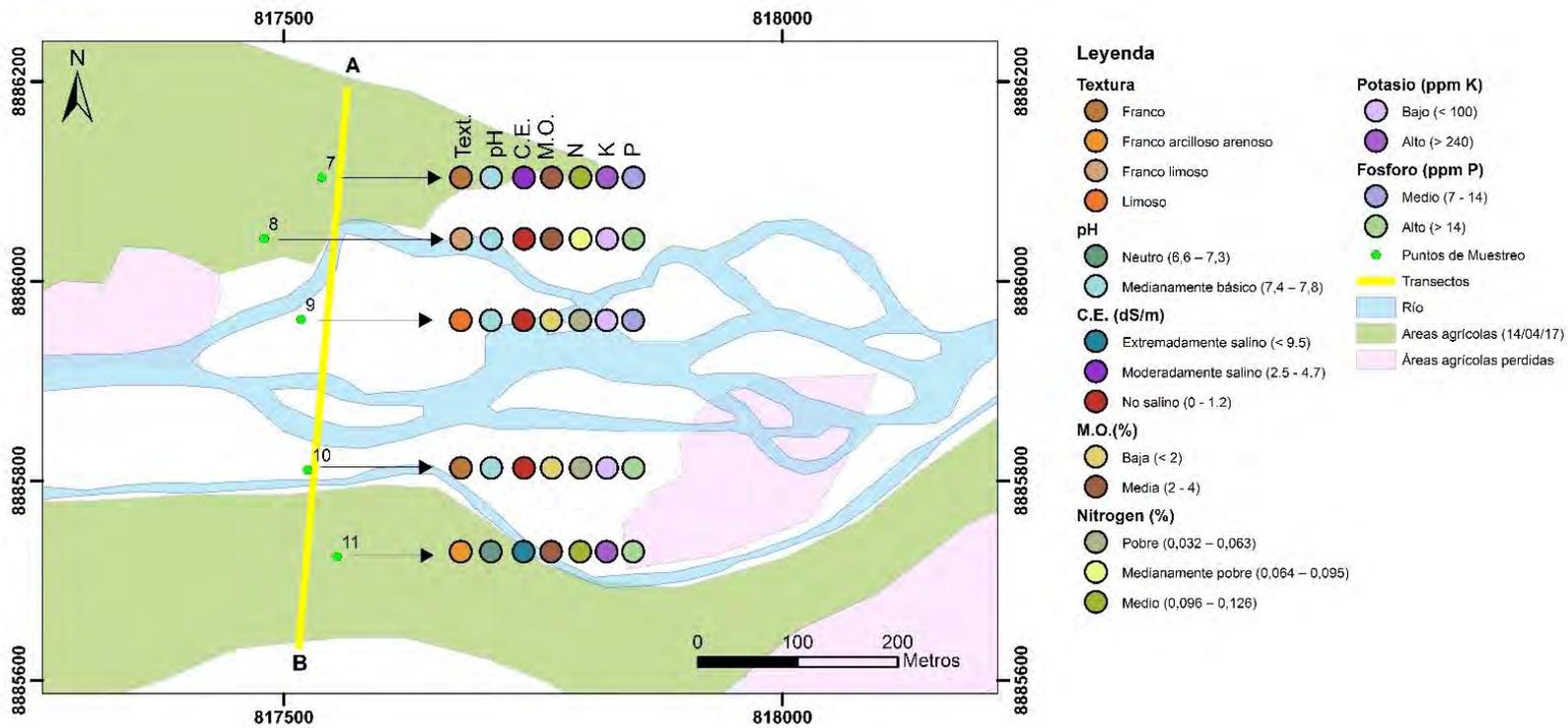


FIGURA 22: TRANSECTO B - MAPA DE PUNTOS DE MUESTREO CON RESULTADOS DE LABORATORIO Y PERFIL TOPOGRÁFICO DEL TRANSECTO

En el transecto C (Figura 23) se presentan 3 puntos de muestreo. El número 12 se ubica en una zona de sedimentos depositados por el río que habían sido removidos por maquinaria luego del evento de las inundaciones. Este punto de muestreo se ubica sobre tierras agrícolas perdidas. La muestra número 13 se ubica en una terraza de nivel medio donde se encontraron cultivos de maíz que habían sido afectados por las inundaciones. Finalmente, el punto de muestreo número 14 se ubicaba en una terraza superior, donde se encontraron cultivos de espárrago.

Es interesante resaltar que las tres muestras en este transecto presentan niveles de conductividad eléctrica y potasio similares, mientras que, en términos de niveles de nitrógeno, estos son diferentes. Por otro lado, las muestras 12 y 13 muestran mayores similitudes en términos de textura y pH. En cuanto a la materia orgánica, la muestra 12 y 14 presentan valores bajos mientras que la muestra 13, se encuentra en nivel medio. Y en términos del contenido de fósforo, se presentan valores altos en las muestras de los extremos, 12 y 14, y valor alto en la muestra 13.

En cuanto al perfil topográfico, encontramos que el margen izquierdo del río es más accidentado. El perfil presenta tres niveles de terrazas, siendo el tercer nivel, donde se cultivan espárragos, el más extenso. Por otro lado, también se puede apreciar dos cursos de agua. El primero se ubica a la margen izquierda del valle, al pie de una pendiente de pronunciada inclinación. A la otra orilla de este canal encajonado se encontraron sedimentos depositados producto de la erosión en zonas más altas de la cuenca. Estos sedimentos habían sido movidos por máquinas. El otro curso de agua estaba ubicado en el nivel de terraza inferior correspondiente al lecho del río. En este lecho se pudo encontrar unidades geomorfológicas tales como barras las cuales explican la dinámica fluvial en este espacio.

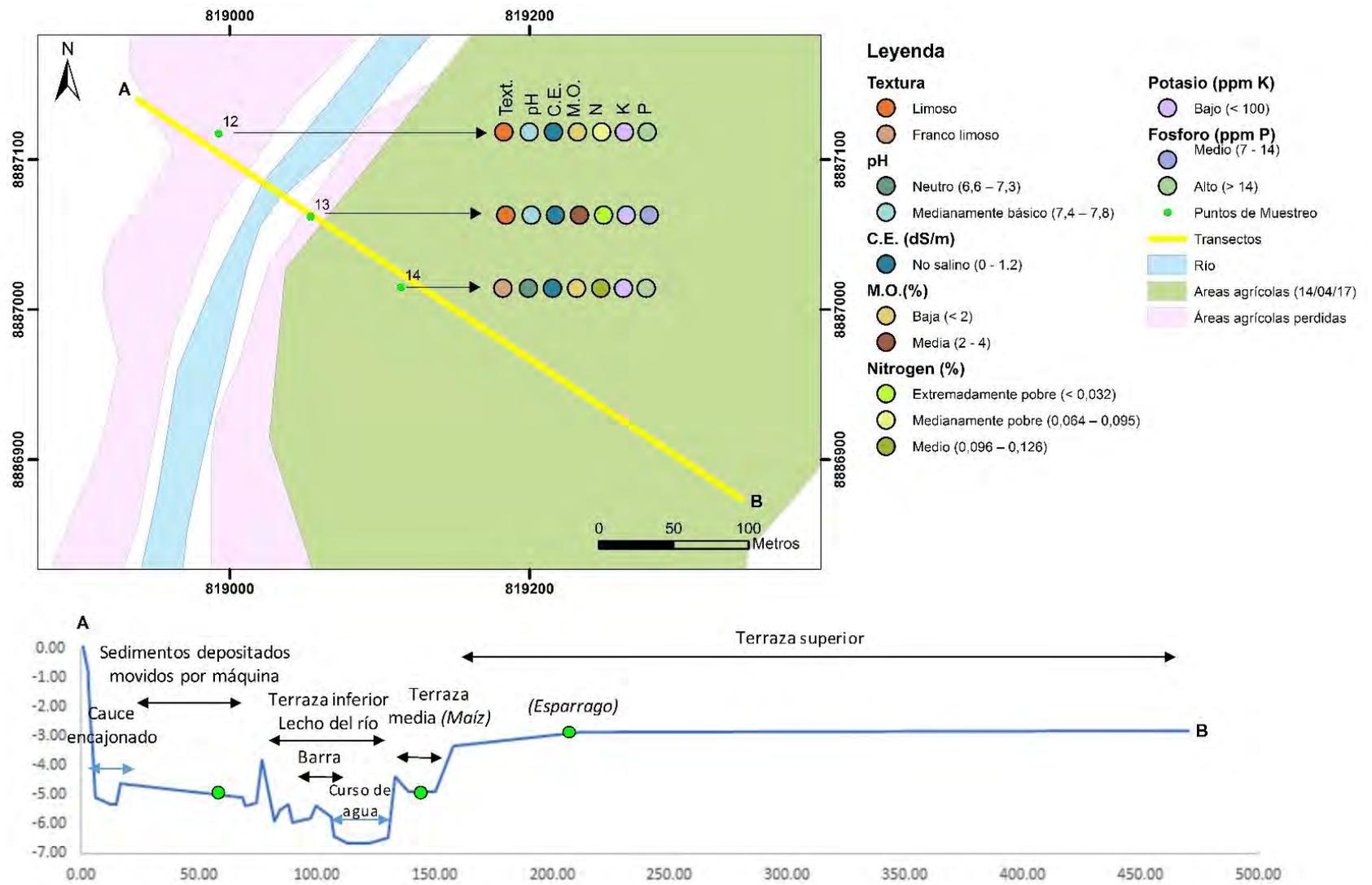


FIGURA 23: TRANSECTO C - MAPA DE PUNTOS DE MUESTREO CON RESULTADOS DE LABORATORIO Y PERFIL TOPOGRÁFICO DEL TRANSECTO

7.4. Áreas agrícolas perdidas y dinámica fluvial

La Figura 24 está dividida en tres mapas. El mapa A) corresponde a las áreas agrícolas previas al evento de la inundación basadas en la imagen satelital del 5 de marzo del 2017. La extensión de estas áreas agrícolas equivale a 693 ha. A continuación, le sigue el mapa B) que corresponde a las áreas agrícolas posteriores al evento de la inundación basada en la imagen satelital del 14 de abril del mismo año, las cuales tienen una extensión de 848 ha. Al tener ambas áreas de cultivo, previas y posteriores al evento, se procedió a hacer una comparación de dichas áreas, permitiendo finalmente, generar el mapa C) que presenta las áreas agrícolas perdidas como resultado de dicho evento, equivalentes a un total de 155 ha de áreas agrícolas perdidas. Estas áreas perdidas se encuentran ubicadas principalmente en las márgenes del río, cerca de los canales que se han formado debido al evento El Niño Costero 16/17. La Tabla 18 muestra la extensión de las áreas agrícolas previas y posteriores al evento de la inundación y la extensión de terreno agrícola perdido como resultado.

Es interesante resaltar que en el mapa C) hay un fragmento de área agrícola perdida que no está en contacto directo con el canal del río. Esto se debe a que esta área fue afectada por la activación de una quebrada que desemboca a la parte baja del valle del río Huarmey. Esta área agrícola se ubica en el cono aluvial de dicha quebrada, por lo que el flujo de agua y material transportado causaron la pérdida de dicho terreno agrícola.

TABLA 18: HECTÁREAS AGRÍCOLAS PREVIAS Y POSTERIORES AL EVENTO DE LA INUNDACIÓN Y HECTÁREAS AGRÍCOLAS PERDIDAS COMO RESULTADO

Mapa	Estado de áreas agrícolas	Fecha	Hectáreas
A)	Áreas agrícolas previas a la inundación	05/03/17	848
B)	Áreas agrícolas posteriores a la inundación	14/04/17	693
C)	Áreas agrícolas perdidas	14/04/17	155

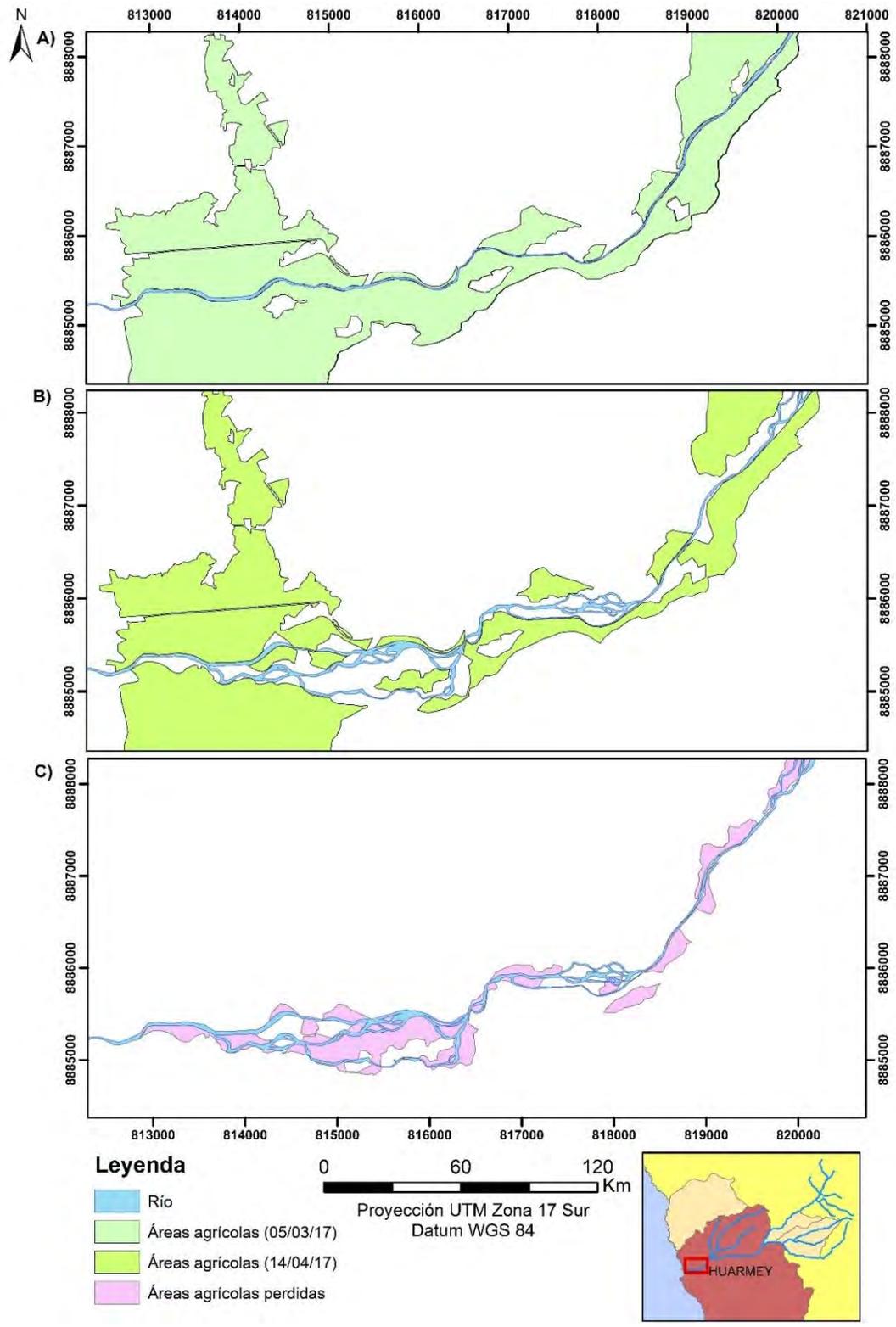


FIGURA 24: MAPA DE ÁREAS AGRÍCOLAS. A) ÁREAS AGRÍCOLAS PREVIAS AL EVENTO EL NIÑO COSTERO, B) ÁREAS AGRÍCOLAS POSTERIORES AL EVENTO EL NIÑO COSTERO, C) ÁREAS AGRÍCOLAS PERDIDAS POR EL EVENTO EL NIÑO COSTERO

La Figura 25 muestra un mapa con los canales del río previo y posterior al evento El Niño Costero 16/17. El río previo a la crecida es representado por la línea rosada mientras que el río posterior a la crecida es representado por la línea azul. Ambas líneas se basan en las imágenes satelitales correspondientes a las fechas del 5 de marzo y 14 de abril del año 2017 respectivamente.

Como se puede observar en el mapa, lo que ha ocurrido es que el río ha pasado de presentar un patrón rectilíneo, con baja sinuosidad a un patrón trenzado con múltiples canales de mayor sinuosidad. El canal antiguo se ha mantenido luego de las crecidas, sin embargo, se han formado nuevos canales con patrón trenzado que divergen y convergen del canal antiguo. Asimismo, se puede observar que ha ocurrido un cambio en la sinuosidad del río luego de las crecidas, respondiendo al nuevo patrón trenzado y con multiplicidad de canales.

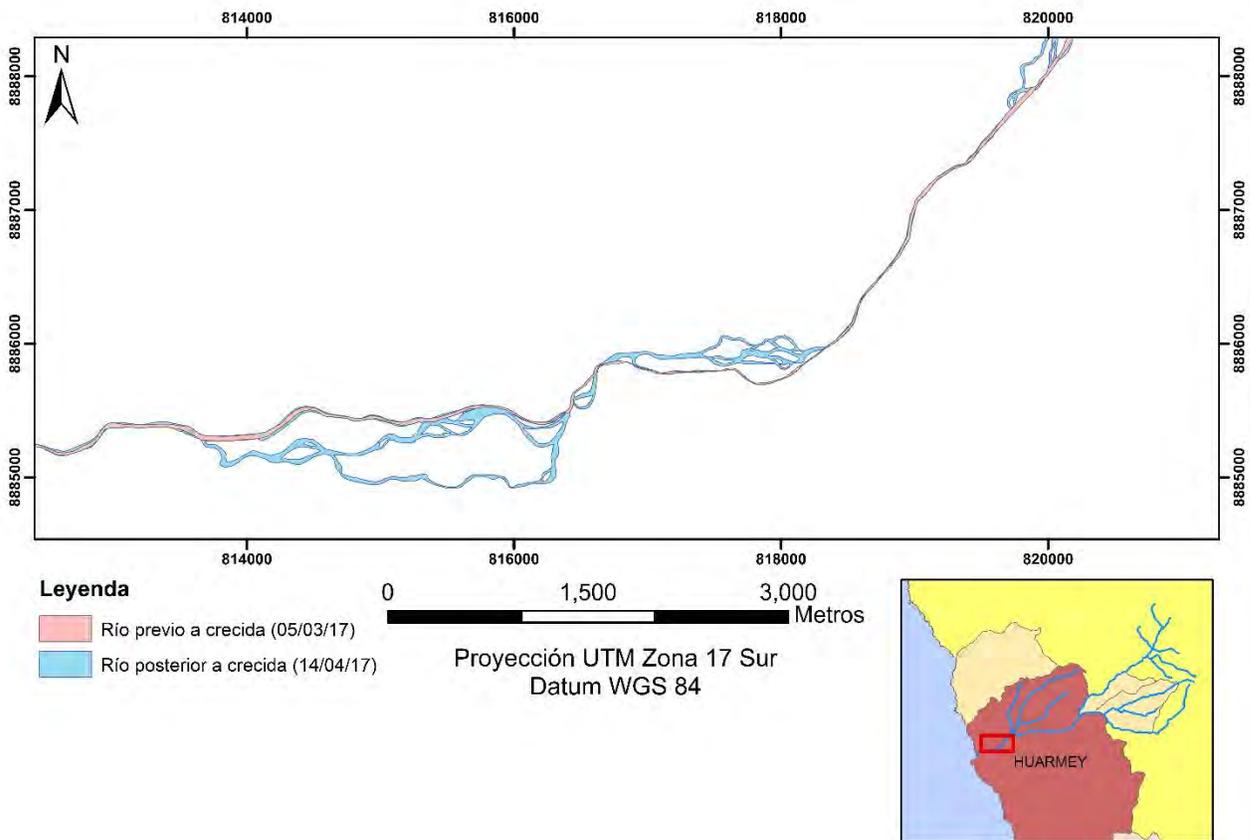


FIGURA 25: CAMBIOS EN LA DINÁMICA FLUVIAL. CANAL DEL RÍO PREVIO Y POSTERIOR AL EVENTO DEL NIÑO 16/17

8. Discusión

La presente tesis tenía como intención responder acerca de los impactos que tuvieron las crecidas del río Huarmey durante el Niño Costero 2016/2017 en las características físico-químicas del suelo y en la extensión de las áreas agrícolas en la parte baja del valle. En términos de los impactos en las características físico-químicas del suelo, no fue posible hacer una comparación debido a la ausencia de datos sobre estas características previas al evento El Niño Costero 2016/2017. Frente a esta limitación, se buscó comparar los impactos en las características de las áreas agrícolas que se mantuvieron luego de las inundaciones y aquellas que habían sido perdidas. Sin embargo, los resultados de los mapas en las figuras 21, 22 y 23, no permiten identificar un patrón que caracterice estas condiciones. Los resultados del análisis de las muestras de suelo fueron muy heterogéneos y probablemente las diferencias en las características se deban a otros motivos tales como pertenecer a las distintas unidades geomorfológicas (diferentes niveles de terrazas o lecho del río) y/o factores humanos como el manejo agrícola requerido por los cultivos (riego o uso de fertilizantes y pesticidas, entre otros). Pese a que la información obtenida sobre las características del suelo no permite identificar los impactos sobre este, los resultados obtenidos son una base importante para futuras investigaciones en esta área de estudio. Estos resultados son un punto de partida para investigar impactos en las características del suelo no solo por eventos como las inundaciones sino también para el monitoreo de la calidad de los suelos.

De un modo general, los suelos del sector bajo del Valle del Río Huarmey presentan textura principalmente Franca o Franco Limosa, con pH que varía entre “neutro” y “medianamente básico” y con cantidades “bajas” y “medias” de materia orgánica y como consecuencia niveles relativamente bajos de nitrógeno que varían entre “extremadamente pobre” y “medio”. Esta descripción de las características de suelo es similar a la descrita en la Reseña sobre los Suelos, Capacidad de Uso y Agricultura del Desierto Peruano de la Oficina Nacional De Evaluación de Recursos Naturales, cuando describen los suelos aluviales de los valles irrigados de la franja árida costera (Zamora, 1967). Asimismo, otras investigaciones sobre características de suelos en otros valles costeros al norte del Perú como el valle del Jequetepeque, muestran resultados similares en términos de pH y áreas con suelo franco, aunque predomine el arenoso (Fox, 2013) (Marchese, 2015). Por el lado de la salinidad, es evidente que en general los suelos son “No Salinos”, a diferencia de los suelos del valle del Jequetepeque que tiene suelos que van de “ligeramente salinos” a “extremadamente salinos” (Fox, 2013) (Marchese, 2015). Sin embargo, es interesante que la muestra 1, 11 y 15 hayan presentado resultados que corresponden a suelos “extremadamente salinos”. Estas muestras correspondían a suelos agrícolas que nos fueron afectados por las inundaciones. Por este

motivo, el alto contenido de sales podría ser atribuido al sistema de irrigación y drenaje de estas tierras tal como ocurre en la parte baja del valle del Jequetepeque donde la alta salinización se debe a las malas prácticas agrícolas (Marchese, 2015).

Por otra parte, los resultados de esta investigación permitieron identificar que los impactos más significativos que tuvieron las crecidas del río Huarmey durante El Niño Costero fueron a nivel geomorfológico. Estos cambios se manifestaron de manera evidente en términos de la extensión de áreas agrícolas perdidas, las unidades geomorfológicas resaltantes y los cambios en la dinámica fluvial. La fuerza con la que fluye el río cuesta abajo durante los eventos de crecida es tal que tiene la capacidad de erosionar gran cantidad de material proveniente del lecho del río, de las laderas y vertientes. En este caso, las fuerzas de resistencia que se generaron a partir de la fricción entre el flujo y los límites del canal fueron sobrepasadas y como resultado se produjeron grandes cambios en la geomorfología, teniendo al río como principal agente de erosión (De Blij & Muller, 1993) (Patton, Alexander, & Kramer, 1983).

La erosión generada durante las crecidas fue ampliamente dominada por el componente lateral. La erosión vertical fue responsable por el desgaste del lecho del río, profundizándolo y abriendo paso para un nuevo cauce principal. Sin embargo, la erosión lateral fue responsable por la pérdida de grandes extensiones de áreas agrícolas ubicadas en los márgenes del río. Esto se puede evidenciar claramente en la Figura 26 correspondiente al transecto A. Los márgenes del antiguo cauce del río durante la crecida fueron erosionándose lateralmente, sobre todo hacia el margen derecho hasta llegar al límite de la terraza superior. La dirección de la erosión fue principalmente hacia la derecha debido a que la curvatura exterior el río ejerce mayor presión contra los márgenes. Esto afirma que los márgenes del río están en constante exposición a ser debilitados y, por lo tanto, son más propuestos a la erosión (Charlton, 2008). Anteriormente, todo este material erosionado correspondía a suelo agrícola ubicado al nivel de terraza superior. Esta evidencia muestra claramente la magnitud y la fuerza de la corriente para erosionar el material consolidado de la terraza superior donde se encontraban tierras agrícolas.

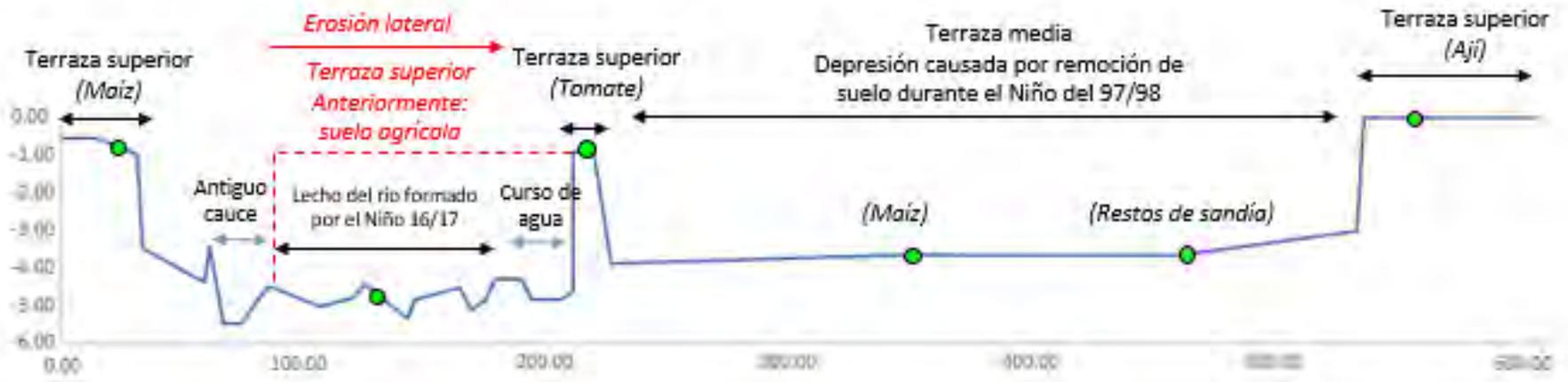


FIGURA 26: EVIDENCIA DE EROSIÓN LATERAL EN EL TRANSECTO A.

En este sentido, dada la erosión lateral, la unidad geomorfológica de las terrazas fue fuertemente afectada. Las terrazas superiores y medias perdieron extensión mientras que las terrazas inferiores o lechos del cauce del río se extendieron. Pese a que había presencia de vegetación agrícola en estas terrazas durante el evento de las crecidas, esta vegetación no logró del todo impedir la erosión debido a fuerza con la que bajaba el río.

Como resultado del proceso de erosión en la parte baja del valle del Río Huarmey debido a las inundaciones, gran cantidad de tierras agrícolas fueron afectadas. De acuerdo a las mediciones realizadas a partir de la delimitación de estas áreas agrícolas previas y posteriores al evento de las inundaciones en el área de estudio, se logró calcular que la extensión de áreas agrícolas perdidas corresponde a 155 hectáreas. Como se puede apreciar en los mapas de la Figura 24, las áreas agrícolas perdidas por el evento El Niño Costero 2016/2017 se ubicaban principalmente en los márgenes del río debido a la cercanía del flujo de agua y de los procesos de erosión que tuvieron lugar por causa de dichas corrientes. Además, dichos procesos permitieron la formación de nuevos canales que incrementaron la extensión de áreas agrícolas perdidas.

Adicionalmente, en ambas salidas de campo se tuvo la oportunidad de conversar con algunos agricultores de la zona, a quienes se les preguntó sobre la magnitud del impacto para ellos, quienes trabajan estas tierras agrícolas. Entre los principales comentarios, se destacaron aquellos referentes a la lentitud de respuesta por parte del Estado, siendo los mismos agricultores y sus familiares quienes se agruparon y comenzaron a crear barreras con sacos de arena para detener las inundaciones y pérdidas de terrenos agrícolas. Sin embargo, no todos tuvieron la misma capacidad de respuesta en ese momento. Además, cuando el caudal aumentó, muchas veces estos refuerzos no fueron lo suficiente para proteger las tierras. No había ni un plan para responder ante esta situación pese a que en El Fenómeno del Niño 97/98 ya habían sufrido una experiencia similar. Por otro lado, también se comentó que más allá de que varios de los terrenos hayan sido inundados y/o perdidos, muchos no han podido recuperarse debido a que los sistemas de irrigación (canales y bocatomas) fueron destruidos, complicando aún más la actividad agrícola. Finalmente, fue evidente que existe una preocupación generalizada por parte de los agricultores por que vuelva a ocurrir un evento de similar magnitud dado que no se han tomado las medidas necesarias de prevención y rehabilitación luego de este evento.

Queda claro que la dinámica fluvial de la parte baja del valle del río Huarmey ha cambiado de manera significativa luego del evento de las inundaciones durante el Niño Costero 2016/2017. Tal como se evidencia en la Figura 25, el río pasó de presentar un patrón relativamente lineal con un solo canal a un

patrón entrelazado en el cual se pudo distinguir numerosos canales convergiendo y divergiendo del antiguo canal. Asimismo, existencia de canales entrelazados está asociada a la presencia de unidades tales como barras, estructura que pudo ser apreciada en el perfil topográfico del transecto C. Estos canales fueron visualizados en las imágenes satelitales previas y posteriores al evento de las inundaciones, sin embargo, durante la salida de campo realizada en setiembre del 2017, varios de estos canales ya se habían secado.

La dinámica fluvial caracterizada por un patrón de canales trenzados presenta cambios en su apariencia. Este cambio de apariencia no se debe a una migración de canales en un sistema de meandros dado que el comportamiento de los canales de la parte baja de los valles de la costa del Pacífico peruano, al cual corresponde el Río Huarney, presentan un patrón de canales entrelazados. Este sistema de canales entrelazados se rige fundamentalmente por la estacionalidad del río, por el régimen hídrico de crecidas y estío (Charlton, 2008). Por lo tanto, cuando hay periodos de crecida, y uno de tal magnitud como el ocurrido durante el evento El Niño Costero 2016/2017, el caudal aumenta, cubriendo toda la llanura de inundación y transportando gran cantidad de sedimentos debido al volumen de agua y la fuerza con la que fluye. Muchos de estos sedimentos provienen de las partes altas del valle, con contribuciones adicionales de la erosión de los márgenes que van siendo erosionados (Charlton, 2008). A medida que va disminuyendo el caudal, la carga de sedimentos se va depositando en el cauce, quedando el lecho del río cubierto por una capa gruesa de sedimentos. Durante el proceso de disminución del caudal, el agua va buscando su camino (el que implique menor exigencia energética ya sea por la pendiente más favorable u otro factor), ocupando espacios entre los obstáculos que se van formando y emergiendo tales como barras y, por lo tanto, formando canales entrelazados. Es debido a la misma irregularidad del lecho que la dinámica implica que se van cerrando canales y abriendo otros, producto de la ruptura de diques, lo cual se conoce como avulsión. Los canales entrelazados son altamente dinámicos, con cambios frecuentes en la posición y ubicación de los canales. La baja estabilidad de este patrón entrelazado de acuerdo a la clasificación presentada por Schumm en 1981 (Gutiérrez Elorza, 2008) permite entender la dinámica de reordenamiento de canales. Este reordenamiento de canales por donde fluye el agua implica que estos serán propensos a procesos erosivos que puedan desgastar sus márgenes y posiblemente impactar las tierras agrícolas aledañas.

Como se puede observar en esta investigación, dentro del lecho del río hay varios canales, algunos más principales que otros debido a su amplitud y/o presencia en el tiempo. Tal como se puede evidenciar en el transecto B (Figura 22), el cauce antiguo y principal se encontraba en el margen derecho del perfil.

Posiblemente el canal antiguo fue abandonado debido a que la erosión vertical abrió un cauce más profundo por el cual el agua podía fluir con menor exigencia energética.



9. Conclusiones y Recomendaciones

En conclusión, esta investigación permite identificar que los impactos de las crecidas causadas por El Niño Costero 2016/2017 se manifestaron principalmente y de manera significativa en la geomorfología de la parte baja del valle del Río Huarmey. El río se comporta como el principal agente en el proceso erosivo, erosionando grandes extensiones de los márgenes donde anterior al evento de las inundaciones se encontraban terrenos agrícolas. Asimismo, la baja estabilidad del patrón entrelazado y la irregularidad del amplio lecho del río ponen en riesgo las áreas agrícolas que actualmente se encuentran próximos a ellos. Como resultado, la extensión de las áreas agrícolas ha disminuido y es posible que, con un evento de similar magnitud, estas pérdidas se multipliquen y se extiendan hacia otras áreas.

Ante la posibilidad de repetirse dicho evento, es indispensable que se tomen medidas con respecto a la gestión de riesgo de desastres ante inundaciones en el Valle del Río Huarmey que podrían variar desde la canalización del cauce principal considerando la magnitud de la descarga o hasta la plantación vegetación que fortalezca la estructura del suelo con el fin de impedir/disminuir la erosión de los márgenes del río. Para la toma de dichas decisiones es indispensable contar con mayor cantidad de información tales como la descarga del río, la cantidad de material transportado, la ubicación de los depósitos, entre otros.

Por otro lado, pese a que no se pudo estimar el impacto de este evento en la calidad de los suelos agrícolas, la información obtenida de las muestras de suelo queda como base para futuras comparaciones temporales y/o espaciales. Es recomendable que para futuros estudios de características físico-químicas del suelo se tomen muestras siguiendo un tipo de muestreo sistémico en rejilla con el fin de poder realizar una interpolación de los resultados y cubrir toda el área de estudio. Esta información dará mayores alcances a las características físico-químicas y los posibles cambios que puedan ocurrir en ellas.

Los perfiles topográficos de los transectos también son una base de información útil para verificar posibles cambios temporales y/o espaciales en las unidades geomorfológicas de la parte baja del valle del Río Huarmey. Para poder tener un levantamiento del perfil topográfico más detallado se recomienda que en vez de utilizar clinómetro se utilice un nivel digital topográfico para disminuir posibles errores y perfiles de mayor exactitud.

Finalmente, para futuros estudios e investigaciones, se recomienda trabajar con imágenes satelitales de mayor resolución con el fin de poder delimitar las áreas agrícolas y los canales del río de manera más exacta y precisa.

10. Bibliografía

- Akpoveta, V. O., Osakwe, S., Ize-Iyamu, O., Medjor, W., & Egharevba, F. (2014). Post Flooding Effect on Soil Quality in Nigeria: The Asaba, Onitsha Experience. *Open Journal of Soil Science*, 4, 72-80.
- Andina. (12 de Mayo de 2017). El Niño costero dejó pérdidas por S/ 76 millones en el agro de Áncash. *Andina*. Obtenido de <http://www.andina.com.pe/agencia/noticia-nino-costero-dejo-perdidas-s-76-millones-el-agro-ancash-666589.aspx>
- Andrades Rodriguez, M., & Martinez, M. (2001). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen*. La Rioja: Servicio de Publicaciones de la Universidad de la Rioja.
- Autoridad Nacional del Agua. (2007). *Evaluación de los Recursos Hídricos en las cuencas de los ríos Casma, Culebras y Huarmey. Inventario de Fuentes de Agua Superficiales en la Cuenca del Río Huarmey*. Casma.
- Bernstein, L. (1975). Effects of salinity and sodicity on plant growth. *Annual review of phytopathology*, 295-312.
- Bolaños Bozález, J. I. (2003). El Valle del Nilo: De la Geografía al Mito. *Cuadernos Geográficos*, 75-103. Obtenido de <http://www.redalyc.org/html/171/17103305/>
- Centro de Operaciones de Emergencia Nacional. (2017). *Boletín Informativo de Emergencias. Segundo Boletín N° 288*. Obtenido de <http://img.inforegion.pe.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2017/07/02.07.17-SEGUNDO-BOLETIN-N%C2%B0-288.pdf>
- Charlton, R. (2008). *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*. Londres y Nueva York: Taylor & Francis e-Library.
- Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de la Teledetección Espacial*. Madrid: Ediciones RIALP, S.A.
- Codrington, S. (2003). *Planet Geography*. Adelaide: Solid Star Press.
- Compañía Minera Antamina. (19 de Junio de 2014). Se impulsará importante proyecto de desarrollo productivo de espárragos en los distritos de Huarmey y Culebras. *Antamina*. Obtenido de

<http://www.antamina.com/noticias/se-impulsara-importante-proyecto-de-desarrollo-productivo-de-esparragos-en-los-districtos-de-huarmey-y-culebras/>

Cruz, B., Barra, E., Del Castillo, R., & Gutierrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13, 90-97.

De Blij, H. J., & Muller, P. O. (1993). *Physical Geograf'hy of the Gobal Environment*. John Wiley & Sons, Inc.

Diario La Industria. (4 de Abril de 2017). Niño Costero' afectó a 10 mil hectáreas en valle. *La Industria*.
Obtenido de <http://www.laindustria.pe/detallenoticias.php?codarticulo=5818>

Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). *Defining and Assessing Soil Quality*. En J.W. Doran et al. (ed) *Defining soil quality for a sustainable environment (3-21)* . Midison: Soil Science Society of America.

Enfield, D. (1989). El Niño, past and present. *Reviews of Geophysics*, 159-187.

Estudio Nacional del Fenómeno El Niño. (2017). Comunicado oficial ENFEN N° 03- 2017. *Estado del sistema de alerta: Alerta de El Niño Costero*. Lima. Recuperado el 1 de Mayo de 2017, de <https://www.dhn.mil.pe/Archivos/oceanografia/enfen/comunicado-oficial/03-2017.pdf>

European Space Agency. (2017). *Sentinel Online*. Obtenido de Sentinel-2: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2;jsessionid=165181F68E8CE2EC2C799AC2622FF1D8.jvm1>

FAO. (s.f.). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Obtenido de <http://www.fao.org/el-nino/en/>

Fernández, L., Rojas, N., Roldán, T., Ramírez, M., Zegarra, H., & Uribe, R. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*. Mexico D.F.: Instituto Mexicano del Petróleo.

Fernández, L., Rojas, N., Roldán, T., Ramírez, M., Zegarra, H., Uribe, R., . . . Arce , J. (2006). *Análisis físicos y químicos en suelo. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología.

Ferradas, P. (2000). El Fenómeno "El Niño" y los desastres: enfoque y estrategias. En C. Felipe, & J. Canziani, *Sepia VIII: Mesa Regional Impacto de "El Niño"*. *Investigaciones Arqueológicas en la*

- Costa Norte* (págs. 173-234). Lima: Seminario Permanente de Investigación Agraria (Sepia) / Centro de Estudios y Prevención de Desastres (Predes) / Lutheran World Relief.
- Fox, E. (2013). *Evaluación de pérdida de suelo por salinización en la parte baja de la cuenca del Jequetepeque: San Pedro de Lloc (1980 - 2003)*. Tesis de Licenciatura de Geografía y Medio Ambiente. Lima: PUCP.
- Galarza, E., & Kámiche, J. (2012). *Informe Técnico 1. Impactos del Fenómeno El Niño (FEN) en la economía regional de Piura, Lambayeque y La Libertad. Proyecto Seguros para la Adaptación al Cambio Climático*. Lima: Cooperación Alemana al Desarrollo – Agencia de la GIZ en el Perú.
- Goudie, A. (2003). *Encyclopedia of geomorphology*. London: Routledge .
- Ground Water International. (2008). *Huarmey drainage project, conceptual phase*. . Lima.
- Gutiérrez Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Madrid: Pearson Education.
- Gutierrez, M. (2013). *Geomorphology*. Boca Ratón: CRC Press. Taylor & Francis Group.
- He, Z., Yang, X., Baligar, V., & Calvert, D. (2003). Microbiological and Biochemical Indexing Systems for Assessing Quality of Acid Soils. *Advances in Agronomy*, 78, 89-138.
- Hughes, J. (1992). Sustainable Agriculture in Ancient Egypt. *History of Agriculture and the Environment*, 12-22. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/pdf/3743841.pdf?refreqid=excelsior%3A0ee7e8e62e517e3e33da58e51e31e827>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2007). *Nitrógeno total en agua por método de micro-Kjeldahl - electrodo de amoníaco*. Bogotá. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Nitr%C3%B3geno+Total+en+agua+M%C3%A9todo+Kjeldahl+Electrodo+de+Amoniaco.pdf/6eac7192-9d88-41cf-b4f0-7b5332467901>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática . (2012). *IV Censo Nacional Agropecuario 2012*.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2007). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2007*.

- Jahnsen, M. (2013). *Impacto de la represa Gallito Ciego en la pérdida de tierras de cultivo por salinización en la cuenca baja del río Jequetepeque 1980-2003. Tesis para optar el título de Licenciada en Geografía y Medio Ambiente.* . Lima: Pontificia Universidad Católica.
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a las Ciencias del Suelo.* Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Kaiser, D. E., Rosen, K. J., & Lamb, J. A. (2016). *Potassium for Crop Production.* Minnesota: University of Minnesota.
- Kalshetty, B., Giraddi, T., Sheth, R., & Kalashetti, M. (2012). River Krishna Flood Effects on Soil Properties of Cultivated Areas in Bagalkot District, Karnataka State . *Global Journal of Science Frontier Research Chemistry*, 23-28.
- Leytón, A. (2003). *Fertilidad del Suelo para la Agricultura Sostenible.* Huancayo: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- López, M. (22 de Marzo de 2017). El ABC del Niño costero: 5 preguntas para entender el fenómeno climático que afecta al Perú. *Mongabay*. Obtenido de <https://es.mongabay.com/2017/03/peru-nino-costero-desastres-inundacion/>
- López, M. (22 de Marzo de 2017). El ABC del Niño costero: 5 preguntas para entender el fenómeno climático que afecta al Perú. *Mongabay*. Recuperado el 1 de Mayo de 2017, de <https://es.mongabay.com/2017/03/peru-nino-costero-desastres-inundacion/>
- Marchese, A. (2015). *Estudio físico y químico de suelos agrícolas para la estimación del nivel de salinización en el sector bajo de San Pedro de Lloc. Tesis para optar el Título de Licenciado en Química.* Lima: PUCP.
- Mayhew, S. (2004). *Dictionary of Geography.* Oxford: Oxford University Press.
- Medina , G. H., García, C. J., & Núñez, A. D. (2007). El método del hidrómetro: base teórica para su empleo en la determinación de la distribución del tamaño de partículas de suelo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(3), 19-24.
- Medina, H., Garcia, J., & Nuñez, D. (2007). El método del hidrómetro: base teórica para su empleo en la determinación de la distribución del tamaño de partículas de suelo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Universidad Agraria de la Habana.*

- Melgarejo, V. (31 de Marzo de 2017). Niño Costero: Indundaciones generan pérdidas agrícolas por mas de S/ 850 millones en el Norte. *Gestión*. Obtenido de <http://gestion.pe/economia/nino-costero-inundaciones-generan-perdidas-agricolas-mas-s-850-millones-norte-2186210>
- Millar, C., Turk, L., & Foth, H. (1961). *Edafología: Fundamentos de la Ciencia del Suelo*. Continental.
- Ministerio de Agricultura. (2011). *Suelos*. Lima: Sector Agrario. Obtenido de <http://www.minag.gob.pe/portal/sector-agrario/recursos-naturales/suelo/clasificaci%C3%B3n>
- Motta, E. (2017). *Información del estado situacional de la provincia de Huarney - Sector Agropecuario*. Agencia Agraria Huarney. Huarney.
- Municipalidad Provincial de Huarney, Universidad Antonio Ruiz de Montoya. (2014). *Plan de desarrollo concertado de la provincia de Huarney (2014 – 2021)*. Huarney.
- National Geographic. (2014). La crecida del Nilo. *National Geographic España*. Obtenido de http://www.nationalgeographic.com.es/historia/grandes-reportajes/la-crecida-del-nilo_8421/4
- Olson, P. L., Legg, N. T., Abbe, T. B., Reinhart, M., & Radloff, J. K. (2014). *A Methodology for Delineating Planning-Level Channel Migration Zones*. *Shorelands and Environmental Assistance Program*. Washington: Washington State Department of Ecology.
- Patton, C. P., Alexander, C. S., & Kramer, F. L. (1983). *Physical Geography*. Barcelona: Vices-Vives.
- (2014). *Plan de Desarrollo Concertado de la Provincia de Huarney 2014-2021*. Huarney. Obtenido de <https://www.munihuarney.gob.pe/pdf/Plan%20de%20Desarrollo%20concertado%20provincial%20de%20Huarney%20al%202021.pdf>
- PNUD. (2012). *Índice de Desarrollo Humano departamental, provincial y distrital 2012*.
- Ponnamperuma, F. (1984). Effects of Flooding on Soils. En T. Kozlowski, *Flooding and Plant Growth* (págs. 9-45). Nueva York: Academic Press.
- Porta, J., López, M., & Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid: Mundi Prensa.
- Ritz, K., & Van der Putten, W. (2012). *The Living Soil and Ecosystem Services*. En Wall D. (Ed), *Soil Ecology and Ecosystem Services* (5-7). . Oxford: Oxford University Press.

- Shannon, H., & Motha, R. (2015). Shannon, H. D., & Motha, R. P. (2015). Managing weather and climate risks to agriculture in North America, Central America and the Caribbean. *Weather and Climate Extremes*, 50-56.
- Tarback, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física. Octava Edición*. Madrid: Pearson Educación S. A.
- United States Department of Agriculture. (1999). *Soil Quality Test Kit Guide*. Washington: Agricultural Research Services and Natural Resources Conservation Service - Soil Quality Institute. Obtenido de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044790.pdf
- Wells, L. (1990). Holocene history of the El Niño phenomenon as recorded in flood sediments of northern coastal Peru. *Geology*, 1134-1137.
- Yakabi, K. (2014). *Estudio de las propiedades edáficas que determinan la fertilidad del sistema de andenería de la Comunidad Campesina San Pedro de Laraos. Tesis de Licenciatura en Geografía y Medio Ambiente, Facultad de Letras y Ciencias Humanas*. . Lima: PUCP.
- Zalba, P., Bravo, O., Amiotti, N., & Peinemann, N. (2002). Métodos alternativos para determinar la disponibilidad-des de fósforo en suelos agrícolas. *Ciencias de Suelos*.
- Zamora, C. (1967). *Suelos, Capacidad de Uso y Agricultura del Desierto Peruano* . Lima.
- Zavaleta, A. (1992). *Edafología: El suelo en relación con la Producción*. Lima: A&B S.A.
- Zegarra, E. (2014). *El Fenómeno del Niño y la Agricultura Peruana*. Lima: GRADE. Obtenido de http://eduardo-sinfronteras.blogspot.pe/2014/04/el-fenomeno-del-nino-y-la-agricultura_5947.html

11. Anexos

ANEXO 1: RESULTADOS DEL HIDRÓMETRO

Muestra	Tiempos de lectura (t)						
	40"	2'	5'	15'	30'	60'	120'
1a	43	34	30	24	22	19	17
1b	43	34	31	26	24	23	21
̄1	43	34	30.5	25	23	21	19
2a	37	33	29	24	20	18	16
2b	38	33	29	24	20	19	17
̄2	37.5	33	29	24	20	18.5	16.5
3a	20	13	10	9	8	7	7
3b	23	15	12	11	10	9	9
̄3	21.5	14	11	10	9	8	8
4a	19	13	10	8	8	7	7
4b	20	14	11	9	9	8	8
̄4	19.5	13.5	10.5	8.5	8.5	7.5	7.5
5a	11	7	6	6	5	5	5
5b	12	9	8	8	7	7	7
̄5	11.5	8	7	7	6	6	6
6a	46	33	25	20	16	15	14
6b	47	34	25	19	15	14	13

76	46.5	33.5	25	19.5	15.5	14.5	13.5
7a	42	30	23	18	16	14	13
7b	42	30	23	18	16	14	13
77	42	30	23	18	16	14	13
8a	22	15	11	10	9	7	7
8b	22	16	12	11	10	7	7
78	22	15.5	11.5	10.5	9.5	7	7
9a	14	11	11	10	9	9	8
9b	14	11	10	9	9	8	8
79	14	11	10.5	9.5	9	8.5	8
10a	44	27	18	13	11	11	10
10b	43	25	17	12	11	10	9
710	43.5	26	17.5	12.5	11	10.5	9.5
11a	48	38	30	27	25	23	22
11b	46	37	30	25	23	21	20
711	47	37.5	30	26	24	22	21
12a	11	8	7	6	6	5	5
12b	14	11	10	8	8	7	7
712	12.5	9.5	8.5	7	7	6	6
13a	13	9	8	7	7	6	6
13b	14	10	9	8	8	7	7

13	13.5	9.5	8.5	7.5	7.5	6.5	6.5
14a	25	21	19	15	14	13	11
14b	26	21	18	15	3	12	11
14	25.5	21	18.5	15	8.5	12.5	11
15a	18	15	4	13	12	10	10
15b	20	17	15	13	12	11	10
15	19	16	9.5	13	12	10.5	10
16a	42	29	22	17	15	13	12
16b	40	27	20	15	14	12	11
16	41	28	21	16	14.5	12.5	11.5
17a	50	37	29	20	17	14	12
17b	49	37	28	21	17	14	12
17	49.5	37	28.5	20.5	17	14	12

ANEXO 2: RESULTADOS DEL MEDIDOR DE PH Y CONDUCTÍMETRO

Muestra	Código	pH	Temp (°C)	CE (μS/cm)	Temp (°C)
1	1a	7.84	21.3	0.455	21.2
	1b	7.77	21.5	0.459	21.4
	1	7.81		0.46	
2	2a	7.98	20.9	>4.0	21
	2b	7.82	21.4	>4.0	21

	2	7.90		>4.0	
3	3a	7.66	22.5	3.678	21.5
	3b	7.79	22.5	3.676	21.5
	3	7.73		3.68	
4	4a	7.31	21.4	0.968	21.6
	4b	7.28	21.3	0.960	21.6
	4	7.30		0.96	
5	5a	7.85	21.1	0.299	21.6
	5b	7.83	21.1	0.298	21.4
	5	7.84		0.30	
6	6a	7.85	21.8	0.517	22
	6b	7.94	22	0.510	21.8
	6	7.90		0.51	
7	7a	7.78	20.6	>4.0	21.8
	7b	7.73	20.9	>4.0	21.5
	7	7.76		>4.0	
8	8a	7.83	21.9	0.798	21.8
	8b	7.87	21.8	0.803	21.7
	8	7.85		0.80	
9	9a	7.79	21.8	0.559	21.7
	9b	7.69	21.8	0.555	21.8

	79	7.74		0.56	
10	10a	7.79	21.8	1.135	21.5
	10b	7.79	21.6	1.138	21.4
	710	7.79		1.14	
11	11a	7.3	21.3	>4.0	20.9
	11b	7.24	21.3	>4.0	20.8
	711	7.27		>4.0	
12	13a	7.73	21.3	1.039	21.3
	12b	7.76	22	1.035	22.3
	712	7.75		1.04	
13	13a	8.83	21.2	0.676	21.5
	13b	8.82	21.3	0.682	21.5
	713	8.83		0.68	
14	14a	7.02	22.2	0.841	21.9
	14b	7.13	22.1	0.836	21.8
	714	7.08		0.84	
15	15a	8	21.1	>4.0	21.5
	15b	8.01	21.1	>4.0	21.8
	75	8.01		>4.0	
16	16a	7.65	21.6	1.077	21.6
	16b	7.78	21.3	1.074	21.6

	7.72	1.08			
17	17a	8.14	21.4	1.018	21
	17b	8.06	21.7	1.012	21.1
	17	8.10	1.02		

ANEXO 3: RESULTADOS DE CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

Muestra	Código	Crisol (g)	Muestra seca a 105°C (g)	Crisol + Muestra seca a 105°C (g)	Crisol + Muestra seca a 440°C (g)	% MO	Σ
1	1a	21.9711	5.0058	26.9769	26.8512	2.514	2.623
	1b	28.6276	5.0018	33.6294	33.4951	2.686	
	1c	29.4093	5.0087	34.418	34.2845	2.67	
2	2a	28.6275	5.0077	33.6352	33.4802	3.1	3.234
	2b	29.409	5.0085	34.4175	34.2508	3.334	
	2c	21.9706	5.0043	26.9749	26.8115	3.268	
3	3a	38.4048	5.0006	43.4054	43.343	1.248	1.286
	3c	36.8985	5.0007	41.8992	41.837	1.244	
	3b	37.8911	5.0085	42.8996	42.8313	1.366	
4	4a	23.7767	5.0037	28.7804	28.6993	1.622	1.631
	4b	21.7981	5.0024	26.8005	26.7153	1.704	

	4c	21.861	5.0053	26.8663	26.7879	1.568	
5	5a	23.349	5.0011	28.3501	28.3085	0.832	0.881
	5b	22.2473	5.0025	27.2498	27.2048	0.9	
	5c	23.0404	5.0049	28.0453	27.9998	0.91	
6	6a	27.1484	5.007	32.1554	32.0137	2.834	2.913
	6b	21.4082	5.0022	26.4104	26.265	2.908	
	6c	27.5714	5.0065	32.5779	32.428	2.998	
7	7a	25.4151	5.0062	30.4213	30.3105	2.216	2.299
	7b	29.274	5.0049	34.2789	34.1628	2.322	
	7c	23.3959	5.0046	28.4005	28.2826	2.358	
8	8a	21.8012	5.0025	26.8037	26.6897	2.28	2.419
	8b	26.0579	4.9966	31.0545	30.9304	2.482	
	8c	26.2977	5.0071	31.3048	31.1801	2.494	
9	9a	26.0587	5.0003	31.059	31.0211	0.758	0.839
	9b	22.2381	5.0077	27.2458	27.1998	0.92	
	9c	38.8724	5.0017	43.8741	41.8246		
10	10a	28.6278	5.0012	33.629	33.5568	1.444	1.529
	10b	21.9699	5.0019	26.9718	26.8989	1.458	
	10c	29.4088	5.0048	34.4136	34.3294	1.684	
11	11a	26.2978	5.0071	31.3049	31.146	3.178	3.329
	11b	21.4082	5.0034	26.4116	26.2433	3.366	

	11c	27.5711	5.0005	32.5716	32.3994	3.444	
12	12a	29.8348	5.0058	34.8406	34.7831	1.15	1.195
	12b	31.3146	5.0016	36.3162	36.2561	1.202	
	12c	37.083	5.0042	42.0872	42.0256	1.232	
13	13a	22.5524	5.0073	27.5597	27.5255	0.684	0.716
	13b	23.2691	5.0073	28.2764	28.239	0.748	
	13c	27.4186	5.0049	32.4235	32.1162		
14	14a	23.2689	5.0013	28.2702	28.1809	1.786	1.771
	14b	22.5526	5.0014	27.554	27.4651	1.778	
	14c	21.8616	5.0033	26.8649	26.7775	1.748	
15	15a	23.3492	5.0033	28.3525	28.2749	1.552	1.583
	15b	22.2472	5.0017	27.2489	27.1691	1.596	
	15c	23.0404	5.0035	28.0439	27.9638	1.602	
16	16a	29.2745	5.0037	34.2782	34.1746	2.072	2.245
	16b	25.4156	5.0058	30.4214	30.3053	2.322	
	16c	23.3978	5.008	28.4058	28.2888	2.34	
17	17a	25.4154	5.0073	30.4227	30.2962	2.53	2.719
	17b	29.2748	5.0077	34.2825	34.1414	2.822	
	17c	23.3964	5.0074	28.4038	28.2635	2.806	