



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Análisis de la degradación de suelos en la cuenca media
del río Chillón por erosión hídrica y el índice de sequía para
el periodo del 2000 al 2018**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Jesus Diego Condori Rivas (ORCID: 0000-0003-0057-8569)

ASESOR:

Mg. Alcides Garzón Flores (ORCID: 0000-0002-0218-8743)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático

LIMA — PERÚ

2019

Dedicatoria

Este trabajo de investigación solo va dirigido a las personas que tienen el compromiso de mejorar el país. Estas técnicas de alguna manera ayudan a darnos una idea de la realidad por la que pasamos y que es lo debemos hacer, y están en el camino de poder mejorarla. Las personas deben comprender, que estamos en la obligación de crear nuevos modelos.

“La verdadera fuerza de la naturaleza solo se puede escribir matemáticamente y mis sentidos también”.

Agradecimiento

Este trabajo de investigación se ha podido lograr con la ayuda de mis padres, que con su sacrificio constante transformaron en mí, una persona **consciente**.

“Lo difícil no es arriesgar”

Presentación

La tesis titulada “*Análisis de la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón por erosión hídrica y el índice de sequía para el periodo del 2000 al 2018*”.

La tesis fue titulada así, porque la importancia de estudiar el índice de sequía se viene al entender las condiciones atmosféricas, y la erosión hídrica; como el desgaste superficial del suelo, para tal efecto; fue preciso estimar el índice de costra, la salinidad, el grado de acidez y evaluar la cobertura del suelo. Los índices y los factores mencionados proporcionarán la base para evaluar la susceptibilidad a degradación. Así mismo, una resolución temporal de varios años ayudarán a predecir lo que está sucediendo. En este sentido estricto; se presentó a lo que viene referida degradación para la cuenca media del río Chillón. Cabe resaltar que el enfoque está predispuesto a la susceptibilidad, por lo que los LUC no entrarán tanto en detalle.

A su vez, este trabajo investigativo, viene dirigido a estudiantes de ciencias del suelo, ciencias agrícolas, ecología, geografía, y ciencias ambientales.

En el primer capítulo, se muestra una realidad concisa de nuestra zona de estudio, puntos críticos mencionados por INDECI y el cambio climático que ocurre a nivel mundial fue de sustento para desarrollar esta tesis. También en este capítulo se muestra las técnicas que han sido desarrollados por diversos autores, algunas de ellas sufrieron modificaciones con el paso del tiempo. Y en esencia se muestran los objetivos o misiones que se desean abordar en la tesis.

En el segundo capítulo, se muestra el tipo de diseño de la tesis; su metodología y fichas de recolección de datos. Los métodos de análisis son descritos para los factores de la erosión del suelo, para la calidad superficial del suelo, y para los índices de costra y sequía; las técnicas empleadas son desarrolladas a partir de los antecedentes en el primer capítulo y es la rigurosidad y la esencia del trabajo. Esta rigurosidad, recoge la geo estadística y entra en primer plano para el modelamiento, en esencia se escribe el factor R.

En el tercer capítulo, se muestran los resultados, tanto para el factor R, RUSLE, índice de sequía y finalmente para la degradación.

En el capítulo cuatro, se discute los resultados, en el quinto y sexto; la conclusión y recomendaciones respectivamente.

También se muestran las referencias junto con los anexos.

ÍNDICE

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Presentación.....	iv
ÍNDICE.....	v
Índice de Tablas.....	vii
Índice de Figuras.....	viii
Índice de Ecuaciones.....	ix
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
I.INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Realidad Problemática.....	3
1.2 Trabajos previos.....	6
1.2.1 Trabajos previos nacionales.....	6
1.2.2 Trabajos previos internacionales.....	7
1.3 Teorías relacionadas al tema.....	10
1.3.1 Degradación de suelos.....	10
1.3.2 Erosión de suelos.....	13
1.3.3 Estudios sobre Sequias.....	22
1.3.4 Vulnerabilidad y cambio climático.....	23
1.3.5 Algoritmos de la Teledetección.....	24
1.3.6 Conceptos previos.....	27
1.4 Formulación del problema.....	33
1.4.1 Problema General.....	33
1.4.2 Problemas específicos.....	33
1.5 Justificación del estudio.....	34
1.5.1 Justificación Teórica.....	34
1.5.2 Justificación metodológica.....	34
1.5.3 Justificación tecnológica.....	35

1.5.4	Justificación económica	35
1.6	Hipótesis.....	36
1.6.1	Hipótesis general	36
1.4.2	Hipótesis específica	36
1.7	Objetivos.....	37
1.7.1	Objetivo general	37
1.7.2	Objetivos específicos.....	37
II.	MÉTODO.....	38
2.1	Diseño	39
2.1.1	Metodología de la Degradación de suelos	40
2.2	Variables de Operación	42
2.3	Población y Muestra	44
2.3.1	Población.....	44
2.3.2	Muestra.....	46
2.4	Técnicas de instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad...47	
2.4.1	Validación del instrumento.....	47
2.4.2	Técnicas de recolección	48
2.4.3	Cronograma.....	49
2.5	Métodos de análisis de datos.....	50
2.5.1	Calidad superficial del suelo	50
2.5.2	Análisis del Factor Suelo	51
2.5.3	Caracterización y modelado topográfico	53
2.5.4	Modelado de la agresividad climática	60
2.5.5	Análisis de la cobertura espacial y temporal	67
2.5.6	Análisis del estudio del índice de sequía	72
2.6	Aspectos Éticos	76
III.	RESULTADOS	77
3.1	Factor R.....	78
3.2	RUSLE.....	80
3.3	Índice de Sequía.....	81

3.4 Degradación de suelos	82
IV DISCUSIÓN	83
V CONCLUSIONES.....	85
VI RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS	89
ANEXOS.....	95
A:	95
B.	107
C:.....	109
D:.....	111

Índice de Tabla

TABLA 1. Lugares vulnerables por erosión hídrica	4
TABLA 2. Prácticas de manejo de RRNN. cuenca del río Chillón	10
TABLA 3. Degradación física	12
TABLA 4. Salinidad	12
TABLA 5. Rango de PH	12
TABLA 6. Erosión acelerada	13
TABLA 7. Textura de suelo	17
TABLA 8. Taxonomía del suelo.....	17
TABLA 9. Factores de prácticas de apoyo	20
TABLA 10. Clasificación para el factor de cobertura	21
TABLA 11. LUT07	24
TABLA 12. Bandas.....	32
TABLA 13. Operación	43
TABLA 14. Aspectos de validación	47
TABLA 15. Técnicas de recolección.....	48
TABLA 16. Cronograma	49
TABLA 17. Calidad superficial del suelo	50
TABLA 18. Textura y tipo de suelo.....	51
TABLA 19. Comparación HWSD, Soildgrids y los del campo	53
TABLA 20. Perfil longitudinal.....	58
TABLA 21. Estaciones de precipitación	60
TABLA 22. Clasificación de cobertura.....	68
TABLA 23. Resultados R	78

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Nomografía.....	16
FIGURA 2. Clasificación de textura	17
FIGURA 3. Sequía	22
FIGURA 4. Reducción y gestión de riesgos.....	23
FIGURA 5. Bandas	31
FIGURA 6 Curvas de la emitancia	32
FIGURA 7. Erosión hídrica.....	42
FIGURA 8. Zona de estudio.....	45
FIGURA 9. Puntos analizados	46
FIGURA 10. Textura y tipo de suelo (HWSD)	51
FIGURA 11. Textura del suelo (SoildGrids)	52
FIGURA 12. Factor k	53
FIGURA 13. Índice de costra	53
FIGURA 14. DEM y pendiente	54
FIGURA 15. Características morfométricas y muestra ridge	56
FIGURA 16. Morfología	57
FIGURA 17. Dirección, acumulación y red hidrológica	58
FIGURA 18. Red hidrológica de la cuenca media.....	59
FIGURA 19. Factor LS para la cuenca media.....	59
FIGURA 20. Estaciones pluviométricas	60
FIGURA 21. Estaciones alrededor de la cuenca media	61
FIGURA 22. Comportamiento de las estaciones	61
FIGURA 23. Diagrama de cajas de las estaciones	62
FIGURA 24. Frecuencias de las estaciones	63
FIGURA 25. Tendencia.....	64
FIGURA 26. Precipitación de la cuenca media (2000 al 2011)	64
FIGURA 27. Precipitación durante algunos meses del 2018	65
FIGURA 28. Factor R de la cuenca media.....	66
FIGURA 29. Data de la cobertura espacial (LANDSAT)	67
FIGURA 30. GLOBALLANDCOVER.....	68
FIGURA 31. Año 2000. cobertura	69
FIGURA 32. Año 2009. cobertura	70
FIGURA 33. Año 2015. cobertura	70
FIGURA 34. Año 2018. cobertura	71
FIGURA 35. Factor C de la cuenca media.....	71
FIGURA 36. Índice de Sequía (2000- 2009)	72
FIGURA 37. Índice de Sequía (2009-2018)	73

FIGURA 38. Índice de Sequía (2000-2018)	74
FIGURA 39. Índice de Sequía para algunos meses del 2018.....	75
FIGURA 40. Resultados R.....	79
FIGURA 41. RUSLE	80
FIGURA 42. Degradación 2000-2018	82

Índice de ecuaciones

ECUACIÓN 1. Factores RUSLE.....	13
ECUACIÓN 2. Energía cinética e intensidad de lluvia.....	14
ECUACIÓN 3. Primer factor erosividad.....	15
ECUACIÓN 4. Segundo factor erosividad	15
ECUACIÓN 5. Primer factor LS.....	15
ECUACIÓN 6. Primer factor K.....	16
ECUACIÓN 7. Primer factor P.....	19
ECUACIÓN 8. Primer factor C	20
ECUACIÓN 9 Tercer factor C.....	21
ECUACIÓN 10. Conversión a radiance	24
ECUACIÓN 11. Reflectividad	24
ECUACIÓN 12. Balance de energía.....	25
ECUACIÓN 13. Superficie del albedo	25
ECUACIÓN 14. Temperatura superficial	25
ECUACIÓN 15 Emisividad	25
ECUACIÓN 16. Para LANDSAT 8	25
ECUACIÓN 17. MSAVI	26
ECUACIÓN 18. WdVI	26
ECUACIÓN 19. Emitancia.....	31
ECUACIÓN 20. Segundo factor LS.....	41
ECUACIÓN 21. Índice de Sequía.....	41
ECUACIÓN 22. Muestra.....	46
ECUACIÓN 23. Convolución.....	55

RESUMEN

No existe afectación en la salinidad (192.8), pH (6.66), ni del índice de costra.

Se analizaron los índices de vegetación para el año 2000, 2009, 2015 y para algunos meses del 2018, afirmando que es necesario un reajuste.

Se analizaron 4 meses para el año 2018, destacando que la sequía viene después del mes de julio. Para el propósito se concordó que la precipitación es escasa para septiembre – octubre.

Las precipitaciones analizadas desde el 2000 al 2018 fue variando, llega a una disminución de 200 mm para la zona alta (como Huaros) y otra para el resto.

El modelo RUSLE mostró ser un buen indicador para la erosión hídrica. Las áreas de mayor preocupación se estiman en 11.673%, es decir, para las zonas de Lachaqui, Arahua, Huamantanga y sobre todo la carretera Lima-Canta.

Los puntos críticos de INDECI más esta investigación realizada dan crédito al modelo RUSLE que evaluó como crítico a partir de los 38 tn/ha/año.

Los resultados de sequía con respecto al 2015, hay un incremento (parte baja, Carabaylo) y disminución (Canta, Lachaqui, etc) para el 2018. Para 2000 al 2018 y para 2009 al 2015 se evidenció un incremento bastante fuerte.

Durante el año 2000 al 2018, un 92.2% informó una constancia permanente en el índice de sequía (<.25), un 70.0% (.25 -.5), un 21.6% (.5-.75), y 0.0% (>.75).
Existiendo un incremento del cambio de 81.04 km², 7.48, un decremento de: 79.14 km², y 5.68 respectivamente.

Palabras claves: GIS, Teledetección, ICTV, RUSLE, Degradación de suelos.

Abstract

There is no effect on salinity (192.8), pH (6.66), or the scab index.

The vegetation indices for the year 2000, 2009, 2015 and for some months of 2018 were analyzed, stating that a readjustment is necessary.

4 months were analyzed for the year 2018, highlighting that the drought comes after the month of July. For the purpose it was agreed that precipitation is scarce for September - October.

The rainfall analyzed from 2000 to 2018 varied, reaching a decrease of 200 mm for the upper area (such as Huaros) and another for the rest.

The RUSLE model proved to be a good indicator for water erosion. The areas of greatest concern are estimated at 11,673%, that is, for the areas of Lachaqui, Arahua, Huamantanga and especially the Lima-Canta highway.

The critical points of INDECI plus this research carried out give credit to the RUSLE model that it evaluated as critical from 38 tn / ha / year.

The results of drought compared to 2015, there is an increase (lower part, Carabayllo) and decrease (Canta, Lachaqui, etc) for 2018. For 2000 to 2018 and for 2009 to 2015 a fairly strong increase was evidenced.

During the year 2000 to 2018, 92.2% reported a permanent constancy in the drought index (<.25), 70.0% (.25 -.5), 21.6% (.5-.75), and 0.0% (> .75). There is an increase in the change of 81.04 km², 7.48, a decrease of: 79.14 km², and 5.68 respectively.

Palabras claves: GIS, Remote sensing, ICTV, RUSLE, Land degradation.

I. INTRODUCCIÓN

El suelo es el mayor regalo que ha brindado la naturaleza. Está catalogado como un sistema complejo y visto comúnmente desde una perspectiva edafológica.

En él, prima la sostenibilidad, y la economía del país (FAO, 2015). Es por ello, que este trabajo de investigación se basa en el análisis de la degradación para la prevención de riesgos como deslizamientos, avalanchas, huaicos, sequías, etc.

Sin embargo, el cambio climático, la topografía, la agresividad climática y la composición química son algunos factores que hacen compleja su cuantificación.

En este sentido, resulta importante prevenir la degradación, ya que se puede presentar de manera concisa en cualquier parte territorial. Antes de abordar el tema, es necesario comprender: ¿Que es una degradación? ¿Que implica una erosión? ¿Cómo la sequía interviene en la degradación? ¿Qué otros factores influyen en la degradación? ¿Y cómo podemos prevenirlo? Las interrogantes planteadas forman la base de este trabajo de investigación. Muchos autores como la FAO dan el respaldo que:

Para prevenirlo, es necesario, evaluar los parámetros que rigen del suelo, y que el manejo sustentable esté relacionado con la capacidad productora de la tierra. De modo que, las políticas, legislación y reglamentos del país deben estar muy bien sujetas a la conservación. (Bunning, McDonagh y Rioux 2016).

Mientras que la erosión y la sequía son fuentes primordiales para comprender la degradación y primordial para completar este trabajo investigativo a base de la teledetección y GIS. Se ha decidido determinar el índice de costra, la salinidad y el grado de acidez para enfatizarlo o descartarlo.

Como misión de este trabajo, es informar la tendencia de degradación que existe en la cuenca media del río Chillón por medio de erosión y sequía, y analizar el cambio de cobertura para los meses de septiembre-octubre de los años: 2000, 2009, 2015 y 18.

1.1 Realidad Problemática

La degradación del suelo es un problema que el ser humano ha estado enfrentando durante décadas pasadas. Sin embargo, este problema sigue siendo abarcado, pero no de la misma magnitud porque en la actualidad se cuenta con imágenes que ayudan a la planificación, monitoreo y evaluación (USDA, 2008)

Este problema, es abarcado como un sistema de transformación - población – producción e infraestructura. (CAPRADE, 2009)

Por lo que resulta: “evidente que los desastres no respetan las fronteras y pueden tener una dimensión transnacional, como ocurrió con el fenómeno de El Niño en la subregión andina en 1997-1998”. Trayendo consigo un efecto negativo en el sistema de transformación y afectación en las políticas macro-económicas y competitividad (CAPRADE, 2009).

La erosión hídrica es uno de los mayores fenómenos que contribuye a la degradación de suelos y en consecuencia afecta en gran medida la economía y la sostenibilidad en el país debido a la actividad agrícola (SENAMHI, 2017).

En el informe nacional del Perú, ANA hace mención que entre el año 2000 y 2010, el 80% de eventos de sequías reportados son de la vertiente del Pacífico y el 7% para el Atlántico. Por lo que estos registros son originados en primera instancia al fenómeno del niño, la niña y los cambios climáticos (ANA, 2013).

El 54% de la superficie del Perú es inducida por el hombre y representado como degradación moderada, severa y muy severa. Y que esta degradación puede ser por erosión hídrica y deterioro químico (citado por MEF, 2013)

De ahí la importancia de buscar nuevos modelos que ayuden a regularizar la degradación. La metodología estadounidense USLE fue un trabajo en campo experimental, midiéndose en parcelas unitarias de 72.6 pies de largo con una pendiente alrededor del 9%, mantenido en barbecho continuo. USLE como RUSLE2 es para guiar la planificación de la conservación y el control de la erosión, estimando tasas de erosión anual por salpicadura de las gotas de lluvia en

función de las condiciones específicas del lugar, estructurado con algoritmos y grandes demandas de base de datos (USDA, 1997).

Esta aplicación de la metodología estadounidense RUSLE 2 puede estimarse con mapas temáticos de teledetección, así mismo utilizar el GIS.

Las mejoras tecnológicas de teledetección han variado notoriamente en las últimas décadas. Facilitando una progresión muy buena, tanto en la cantidad como en la calidad de la información disponible para diferentes tipos de campos científicos (Chuvienco, 2002)

Como se mencionó, este estudio también ayudara a un estudio profundo de la desertificación y otras aplicaciones ambientales.

Ahora daremos a conocer algunas implicancias por las que pasa nuestro país:

Se ha elaborado un informe en el marco del plan de trabajo N°10-2018/INDECI/10.1 donde se evalúa el alto nivel de vulnerabilidad por exposición de los puntos críticos en la cuenca del río Chillón. (INDECI, 2018)

Tabla 1. Lugares Vulnerables por erosión hídrica

N°	Distrito	Zona Crítica	Tipo de peligro	Nivel de Riesgo
1	Canta	Piscigranja Aconchinchan	Erosión fluvial	Alto
2	Canta	Sector Acarhuay	Erosión fluvial	Alto
3	Canta	Sector Pinchi	Reptación	Alto
4	Canta	Ingreso carretera a Lachaqui	Deslizamiento	Alto
5	Canta	A 400 m de la carretera a Lachaqui	Deslizamiento	Alto
6	San Buenaventura	Carretera Lima-Canta	Deslizamiento de detritos	Alto
7	San Buenaventura	Sector tierra Amarilla	Deslizamiento de detritos	Alto
8	Santa Rosa de Quives	Carretera Lima-Canta	Deslizamiento de detritos	Alto
9	Santa Rosa de Quives	Carretera Lima-Canta	Deslizamiento de detritos	Alto
10	Santa Rosa de Quives	Hacienda Huanchuy	Deslizamiento de detritos	Alto

Fuente: INDECI,2018.

El informe técnico N 033-2018-INDECI/10.1; verifica puntos críticos perteneciente a la cuenca del río chillón. Muchos de estos, se ven reflejados en la erosión hídrica y caracterizados por el tipo. A continuación, algunas características esenciales:

- En puntos, como el puente Trapiche se producen un aumento del caudal y las viviendas mal planificadas o aledañas a la vertiente corren riesgos.
- En un segundo caso, existe un deslizamiento de tierras y piedras debido a las intensas lluvias registradas en las estaciones; para este caso sería bloqueando carreteras como es el caso del sector Aconchinchán en la carretera Lima-Canta.
- Muchos de los puntos críticos mencionados, siguen esta secuencia, ya sea por erosión o inundación. De ahí la importancia de evaluar un modelo destinado para la planificación y conservación del suelo.

Sin embargo, una de las desventajas de Perú, es que no constituye un modelo en sí, sino más bien como una referencia bibliográfica de otros países. Existen muchas alteraciones en las mediciones reales del territorio debido al tipo de clima o posición geográfica. Por lo tanto, esta referencia investigativa debe correlacionarse con un estudio más detallado del lugar a un futuro.

1.2 Trabajos previos

1.2.1 Trabajos previos nacionales

ZUÑIGA, (2017), en su tesis titulado *Determinación de la pérdida de suelos en la cuenca aportante del embalse aguada blanca-Arequipa, aplicando USLE y técnicas geoespaciales*. Universidad Nacional Agraria La Molina, para optar el grado de Magister en Gestión integral de cuencas hidrográficas. Perú. Metodología: Ecuación universal de pérdida de suelos. La base ha sido determinar la pérdida de suelo, en la cuenca aportante del embalse Aguada Blanca aplicando el método USLE y técnicas geoespaciales; estableciendo los diferentes niveles de erosión bajo dos modelos, el primero denominado MC78, debidamente calibrado y basado en el método USLE y NDVI de imagen satelital 2014 y el segundo modelo denominado MC80 basado en USLE e imágenes Landsat del 2001. Con métodos afines se determinó el mapa del modelo retrospectivo, con la erosión de la cuenca aportante y su relación con la sedimentación del embalse bajo tres fases; el primero concerniente al mapa de erosión ocurridas entre el 2002 al 2006, el segundo alusivo a la erosión 2006 - 2010 y el tercero del 2010 – 2015; de manera similar se formuló el modelo prospectivo, con actividades de conservación.

Por su parte JUMBO, (2018), en su tesis *Estimación cualitativa de la erosión hídrica vinculada al cambio de uso del suelo en la subcuenca Catamayo, Ecuador*. Universidad Nacional Agraria La Molina, para optar el grado de Magister en Ciencias ambientales. Perú. Metodología: Para la pérdida de suelo ha utilizado el modelo RUSLE para el modelamiento geoespacial y un análisis multitemporal (1997, 2017, 2037), es decir; el año 2037 funciona como una predicción utilizando el módulo Land Change Modeler del Idrisi. Así mismo para completar el modelo se basó de submodelos socio-económico, físicos y de conflicto de uso. Se analizó la correlación, empleando el índice Cramer, el coeficiente Kappa, Moran y la regresión lineal. Como resultado se tuvo una erosión muy fuerte, es decir; 407.53 t/ha/año para la subcuenca del río Catamayo.

1.2.2 Trabajos previos internacionales

Galilea, (2016). *Erosión de suelos y laderas en el espacio agrícola de La Rioja. Aplicación y cartografía del modelo Rusle*. Universidad de La Rioja. Para optar el grado de tesis doctoral. Metodología: Ecuación de pérdidas de suelos (RUSLE) y SIG. Como resultado, se obtuvieron los valores de pérdidas de suelos con un 66.64%, 31% y 2.27% presentes en una tasa de erosión baja $x < 2 \text{ Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, valores para el límite 2-12 $\text{Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ y valores altos $x > 12 \text{ Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ respectivamente. De igual manera se calcularon datos cuantitativos para las plantaciones de cereales, para la remolacha azucarera, para campos de girasol y en la mayoría donde abarca la erosión potencial.

Ganasri y Ramesh (2016). En su artículo científico titulado: Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. Nos menciona que el modelo RUSLE proporciona un enfoque cuantitativo, y estima la erosión del suelo y el rendimiento de sedimentos. RUSLE es integrado con GIS para la cuenca Nethravathi, ubicada en la parte suroeste de la India. Los resultados indicaron una pérdida de suelo potencial anual estimada en 473.339 t/año y es comparable con el sedimento medido para el 2002 y 03.

Fang, Yuan, Zhang et al (2019). En su artículo científico titulado: Integrated study on soil erosion using RUSLE and GIS in Yangtze River Basin of Jiangsu Province (China). Nos da a conocer que el modelado es justificado al GIS y al sensoramiento remoto. Así mismo, gracias a esta metodología se puede discutir sobre las características de distribución espacial y proponer las medidas de conservación a lo largo del río Yangtze, en la provincia Jiangsu. Los resultados mostraron una cantidad total de pérdida de 6.5 millones (t a^{-1}) aprox. Y se discutieron sobre los tipos de erosión que ocurrieron durante todo el trayecto de la cuenca.

Belayneh, Yirgu y Tsegaye (2019). En su artículo científico titulado: Potential soil erosion estimation and área prioritization for better conservation planning in Gumara watershed using RUSLE and GIS techniques. Nos menciona que el análisis cuantitativo y su variación espacial de la erosión juega un papel importante y la finalidad del trabajo investigativo es identificar las áreas de puntos relevantes y priorizar las medidas de conservación para la cuenca Gumara

utilizando GIS, RUSLE y técnicas de sensoramiento remoto. El resultado dio a conocer que la erosión hídrica resultó ser un problema crítico para la cuenca, llegando hasta $442.92 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. La alta intensidad se evidenció a las altas pendientes y al uso o cobertura del suelo. La severidad informó una extensión de 3814 ha de la subcuenca como muy severo. Por lo que es necesario una fuerte intervención para la cuenca ya que amenaza la producción agrícola “su sostenibilidad”.

Teng et al, (2019). En este artículo científico titulado: *Modelling and mapping soil erosion potential in China*. Nos mencionan que ha sido posible mapear las zonas con potencial erosivo mediante la integración de las imágenes satelitales, observaciones y muestras de campo basadas en ecuación universal de pérdidas de suelos (RUSLE, por sus siglas en inglés). En medida, este modelado ha sido validado con técnicas estadísticas. Este informe investigativo muestra un estudio comparable a la erosión por escorrentía como una herramienta útil para la protección ecológica. Además, este modelo está basado en el método del bosque aleatorio, regresión de pesos geográficos y el cokriging. Los resultados de los análisis muestran que más del 60% del territorio en China se encuentra influenciado por la erosión de suelos de forma limitada con una tasa promedio menos de $0.1 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Y que otras áreas no utilizadas y bosques muestran riesgo de erosión.

Fayas et al, (2019). En su artículo científico titulado: *Soil loss estimation using RUSLE model to prioritize erosion control in KELANI river basin in Sri Lanka*. Nos mencionan que la utilización del modelo de ecuación de pérdidas (Rusle, por sus siglas en inglés) por GIS, puede ser para el estudio de erosión en áreas agrícolas y para comprender la variabilidad espacial de severidad de erosión para mejorar el manejo de uso de tierra. Para realizar esta investigación, se apoyó de un modelo digital de elevación, datos de lluvia de 20 años en 14 estaciones pluviométricas, uso del suelo, cobertura, mapas y factores de cultivo. El promedio representativo anual estimado de pérdida de suelos para la cuenca del río Kelani varió de cero a $103.7 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Identificando aproximadamente que el 70% del área de la cuenca se clasificó como una erosión de baja a moderada. Lo que indica que se debe tomar medidas de control para garantizar un ecosistema sostenible en la cuenca.

Por lo tanto, este análisis RUSLE se mejorará junto con los análisis de erosión en tiempo real, como una medida de monitoreo.

Mekonnen et al (2018). En su artículo científico titulado: Land use and land cover changes and the link to land degradation in Arsi Negele district, Central Rift Valley, Ethiopia. Este trabajo de investigación nos menciona que la información sobre el uso de la tierra y el cambio de cobertura es fundamental para su comprensión y así, desarrollar políticas y estrategias eficaces para revertir la degradación. Para tal propósito, se evaluó el alcance de LUCC y el índice de vegetación. Se utilizaron imágenes satelitales para detectar el cambio en el área. Se realizaron correlaciones entre el índice de vegetación con la estación seca y temperatura. La matriz de confusión mostró un 87% de precisión con un coeficiente kappa de 0.84. Los resultados dieron a conocer que la dinámica de la vegetación varía con la precipitación y la temperatura. El propósito de este trabajo fue ayudar a diseñar direcciones futuras de gestión.

Jiao et al, (2018). En su artículo científico titulado: A new multi-sensor integrated index for drought monitoring. El trabajo investigativo nos mencionará que los índices de sequía pueden ser estimados mediante sensores remotos de manera integral y criterios múltiples para los métodos de combinación y que la mayoría de los índices destacados no representan adecuadamente la variabilidad espacial. El propósito de esta investigación se refleja en que generar nuevos marcos para generar un nuevo índice aplicable en diferentes regiones climáticas. Se utilizó diversos satélites como el MODIS, TRMM, AMSR-E.

García et al, (2019). En el artículo científico titulado: Comparison of meteorological and satellite-based drought indices as yield predictors of Spanish cereals. Este trabajo investigativo hace mención que es necesario medir la precisión de las sequías para el desempeño de los agro-sistemas. Por lo cual, fue necesario utilizar las técnicas del índice de precipitación estandarizado, el índice de condición de vegetación y el índice de condición de temperatura para diferentes temporadas. Los resultados que mostraron, concluyeron que los modelos basados en satélites son más eficaces y ofrece un mayor rendimiento en la explicación (70%) para todos los cultivos y su anomalía (40%).

1.3 Teorías relacionadas al tema

Los puntos críticos del informe técnico que se dio a conocer revelaron que la erosión de laderas y fluvial son los fenómenos más frecuentes en la cuenca.

En la parte de Huamantanga, Arahuy, Canta y San Buenaventura se verificaron que existe ocupación agrícola. También se pudo verificar que existen algún tipo de manejo de conservación de suelos por la presencia de terrazas.

A continuación, una tabla descriptiva del manejo de suelos:

Tabla 2. Prácticas de manejo de RRNN. Cuenca del río Chillón. Adaptado

DISTRITO	PRÁCTICA	2017	2018	2019	TOTAL (%)
ARAHUAY	REFORESTACIÓN	0.225	0.45	0.45	1.125
LACHAQUI	ZANJAS DE INFILTRACIÓN	0.45	0.36	0.45	1.26
	MANEJO DE PRADERAS	1.665	1.44	1.44	4.545
	REFORESTACIÓN	0.9	1.35	0.675	2.925
CARHUA	ZANJAS DE INFILTRACIÓN	0.45	0.9	0.45	1.8
HUAROS	ZANJAS DE INFILTRACIÓN		0.45	0.45	0.9
PARIAMARCA	ZANJAS DE INFILTRACIÓN			0.45	0.45

Por cortesía de Agrorural (2019).

1.3.1 Degradación de suelos

La degradación de suelos se mide cuantitativa y cualitativamente y es catalogada como el conjunto de procesos bajo la capacidad actual y potencial de decrecimiento de la calidad del suelo. Esta definición marcó un alto énfasis en los LUC y el riesgo de degradación. (FAO, 2018)

Así mismo, las amenazas más importantes de suelos para todo el mundo son: (Karlen y Rice 2015)

- † Erosión
- † Salinización
- † Acidificación
- † Desequilibrio de nutrientes
- † Sellado de superficies

- † Pérdida de materia orgánica.
- † Compactación
- † Pérdida de biodiversidad del suelo, entre otros.

Como se puede apreciar, estas interacciones son diversos y complejos. Siendo la degradación física, química o biológica. (FAO, 2018)

Además de estos indicadores, es importante entender que existen otros aspectos de degradación como el caso de la tenencia de la tierra y el índice de la vegetación. (Bunning, McDonagh y Rioux 2016).

Los enfoques para la degradación de la tierra van desde simples observaciones en el campo hasta la elaboración de modelos de simulación por computadora de procesos complejos. (FAO, 2018)

Los enfoques utilizados para las evaluaciones respectivas fueron:

- Observaciones de campo directo utilizando criterios o índices visuales.
- Evaluación de unidades de paisaje (sistemas terrestres) y calificación subjetiva.
- Método semi-cuantitativo paramétrico (cálculo de índices sobre factores)
- Sistema de clasificación y árboles de decisión (automatización informática).
- Modelado de simulación (modelado por computadora)

A continuación, se evidencia el enfoque más representativo:

Enfoque semicuantitativo paramétrico. El razonamiento de este enfoque: Un método relativamente rápido, económico y menos involucrado en las parcelas experimentales de campo a mediano y largo plazo, o la calibración y ejecución de modelos de degradación por computadora de datos y simulación basados en la experiencia.

- Enfocándose en la evaluación de una imagen del estado actual de la degradación de la tierra de manera rápida, económica y útil, con poca demanda de experiencia específica en modelado o procesos, o datos muy específicos.

- La premisa fundamental del enfoque es que la degradación de la tierra (D) es una función de: "agresividad climática" (C), resistencia del suelo a esa agresividad (S), factores topográficos (T), vegetación natural (V), uso de la tierra (L), y gestión del suelo (M). Por lo tanto, para el uso actual del suelo, $D = f(C, S, T, V, L, M)$. Manteniéndose constante V, L y M si es para la implementación de un LUC.

De la misma manera la degradación del suelo para la FAO sigue las iniciativas del modelo USLE previamente mencionado.

De manera coherente se presenta una tabla que involucran el cálculo de la degradación física de estudio:

Tabla 3. Degradación física

Degradación Física del Suelo				
Proceso	Clima	Suelo	Topografía	Factor Humano
Compactación, costras, sellado.	Erosividad de la lluvia (R) del USLE	Índice de costras: $CI = (Zf + Zc) / A$ $CI > 2.5$ costra intensa $CI < 1.5$ sin costras	Las tierras planas son más susceptibles	Maquinaria pesada sin cultivos de cobertura, formación de charcos.

Fuente: Tabla extraída y adaptado de la FAO, 2018.

Tabla 4. Salinidad

Nivel de salinidad del suelo	Grupo de tolerancia a la sal de la planta	Rango ECse (dS/m)
"no" salino	Cultivos sensibles	< 1
Ligeramente salino	Cultivos moderadamente sensibles	1 - 2
Moderadamente salino	Cultivos moderadamente tolerante	2 - 4.5
	Cultivos tolerante	4.5 - 8
Fuertemente salino	Cultivo muy tolerante	8 - 12
Muy fuertemente salino	Generalmente demasiado salino	>12

Nivel de salinidad	Indicadores visuales	Rango ECse
S0 (no salino)	No aparece vegetación afectada por salinidad y una amplia gama de plantas presentes	< 2 dS/m

Fuente: Land degradation Assessment in Drylands, 2016

Tabla 5. Rango de pH

Moderadamente ácido	5.6 – 6.0	Neutro	6.6 – 7.3
Ligeramente ácido	6.1 – 6.5	Ligeramente alcalino	7.4 – 7.8

Fuente: USDA, consultado el 16 julio del 2019.

1.3.2 Erosión de suelos

La erosión viene a ser el desprendimiento, desgaste o movimiento superficial del material del suelo; siendo natural o acelerado por actividad humana. Depende muy bien de las condiciones climáticas. (USDA, 2017)

Antes de ver los factores para el modelo, es importante entender los tipos de erosión que existen, para nuestro caso, involucra la erosión natural y la acelerada. A continuación, una tabla descriptiva de la erosión acelerada:

Tabla 6. Erosión acelerada

Tipo	Criterio
Por viento	Deflación por el viento
Por agua	Eliminación por agua corriente
Por lamina	Perdida de suelo, relativamente uniforme, sin canales.
Por rill	Canales pequeños, pueden ser borrados por labranza convencional
Por gully	Canales grandes, no pueden ser borrados por labranza
Por Tunel	Vacios subsuperficiales dentro del suelo que se agrandan con agua corriente (es decir, tuberías)

Fuente: USDA, 2017

Según USDA. Science Documentation. Revised Universal Soil Loss Equation 2, la ecuación de pérdida de suelo universal revisada, versión 2 (RUSLE2) se utiliza para guiar la planificación de la conservación y el control de la erosión.

Este modelo de erosión predice el promedio de pérdida de suelo anual en un periodo largo, asumiendo las variables mencionadas como principales para el efecto de erosión. Las variables empleadas son:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Dónde:

A = Viene a ser el promedio temporal y espacial de la tasa de pérdida de suelo por unidad de área, expresados en (ton*ha⁻¹*año⁻¹) de las unidades seleccionadas para el factor k y para R.

R = Llamado factor de erosividad expresado en: $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. Es el índice de erosión por lluvia y también asimila la escorrentía o flujo laminar que se produce durante ese periodo.

K = Normalmente llamada factor de erodibilidad del suelo, representa la tasa de pérdida de suelo por unidad de índice de erosión para un suelo específico. Estos valores fueron definidos por una parcela de 72.6 pies de largo y una pendiente uniforme del 9% en continuo barbecho.

L = Llamado factor de la longitud de la pendiente, también fue estimado para la misma parcela.

S = Factor de inclinación de la pendiente- El valor estándar fue asumido de 9% para las mismas condiciones mencionadas.

C = Factor del manejo de la cobertura- Es la tasa de la pérdida de suelo de un área con cobertura específica para un área idéntico con labranza continua.

P = Factor de práctica de apoyo o de conservación; es la relación de pérdida de suelo con una práctica de apoyo como contorneado, cultivo en franjas o terrazas a la pérdida de suelo con el cultivo en hileras rectas hacia arriba y hacia abajo de la pendiente.

Ahora, hablaremos un poco acerca del proceso constructivo de estas variables:

a. Factor R o erosividad: (Wischmeier 1959 y Smith 1958)

El, fue derivado por Wischmeier y Smith. Tiendo como principio básico la energía total de tormenta E con una intensidad máxima de 30 minutos I_{30} .

El, como tal se desarrolló por diversas ecuaciones:

Energía cinética y la intensidad de lluvia:

$$e_m = 0.119 + 0.0873 \log(i_m) \quad i_m \leq 76 \text{ mm h}^{-1} \quad \dots (1)$$

$$e_m = 0.283 \quad i_m > 76 \text{ mm h}^{-1} \quad \dots (2)$$

Dónde:

e_m es definida como la energía cinética expresada en $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$

La fórmula general directa para calcular la erosividad sabiendo la energía unitaria respectivamente es:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^j (EI_{30})_i}{N}$$

Dónde: N; viene a ser el periodo anual.

Estas ecuaciones han sufrido modificaciones y diversos autores dieron a conocer a cerca de ello. Para mayor información consultar el manual del USDA.

El factor erosividad de la lluvia es un índice que expresa la tasa como la máxima capacidad de lluvia para erosionar el suelo durante un intervalo de tiempo. A nivel nacional el Perú no cuenta con un registro de intensidad de lluvia (mm/h) para aplicar el método; sin embargo, se han formulado ecuaciones para estimar dicho cálculo: (citado por SENAMHI, 2017):

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 * 10^{(1.5 (\log)_{10} ((P_i^2)/p)-0.08188)}$$

Dónde: P_i = Viene a ser la precipitación mensual expresados en mm;

p = Viene a ser la precipitación anual expresados como mm.

- b. Factor L y S: Ambos factores pueden trabajarse conjuntamente y la fórmula fue interpretada como: (Wischmeier and Smith, 1978; McCool et al 1987)

$$(LS)_{wr} = \left[\frac{\lambda}{72.6} \right]^{0.5} (10.8 \operatorname{sen}\theta + 0.03) \quad s < 0.09$$

$$(LS)_{wr} = \left[\frac{\lambda}{72.6} \right]^{0.5} \left[\frac{\operatorname{sen}\theta}{0.0896} \right]^{0.6} \quad s \geq 0.09$$

Dónde el valor de LS_{wr} fue calculado a partir de cada segmento que representa la medida de la pendiente y la inclinación con que fue estimada. Para mayor información consultar el manual.

c. Factor K

El factor k se califica en una escala de 0 a 1, donde 0 indica suelos con menor susceptibilidad a la erosión hídrica y 1 al tipo de suelos que son altamente susceptibles a la erosión hídrica. (USDA, 2008)

Las propiedades del suelo, tanto físicas, químicas y mineralógicas afectan al valor K. La fórmula estimada se muestra a continuación: (Wischmeier and Smith, 1978):

$$K = [2.1 * 10^{-4}(12 - OM)M^{1.14} + 3.25(s - 2) + 2.5(p - 3)] \div 100$$

Dónde;

P = permeabilidad; S = clases para la estructura; MO = Materia Orgánica; M = (% modificada de limo o el tamaño de fracción de 0.002-0.1 mm) * (% lima + % arena)

A continuación, se muestra una nomografía donde se evaluaron el factor:

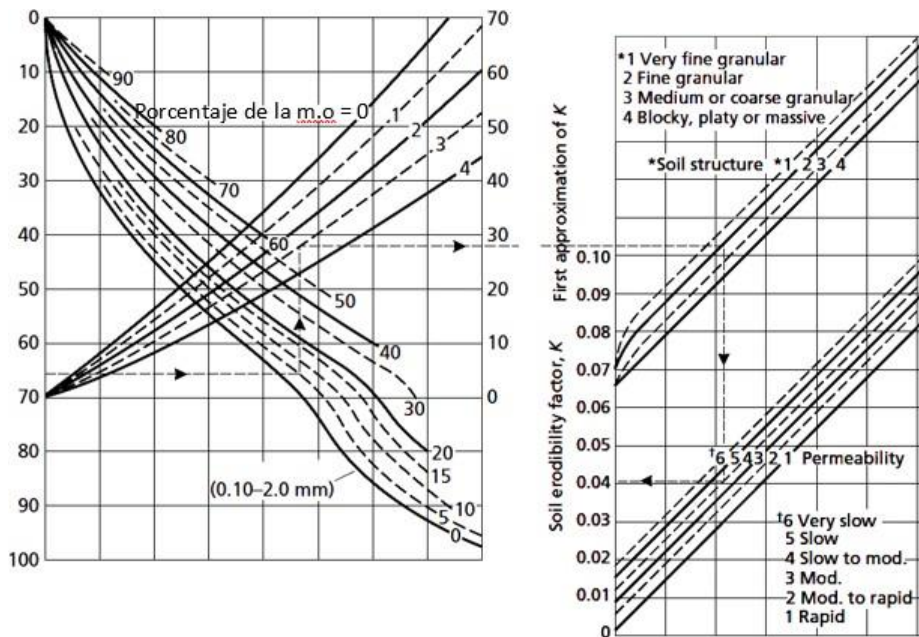


Figura 1. Nomografía. Fuente: USDA, 2008

Experimentalmente se corrobora que los suelos más erosionables pertenecen a texturas intermedias (fracción de limos más abundante), considerando que los suelos con un porcentaje de arcillas superior al 30% son poco erosionables (González del Tánago, 1991).

A continuación, se muestra la Figura 2 y la tabla 7 generado por USDA para la interpretación de los valores de K (citado por SENAMHI, 2017).

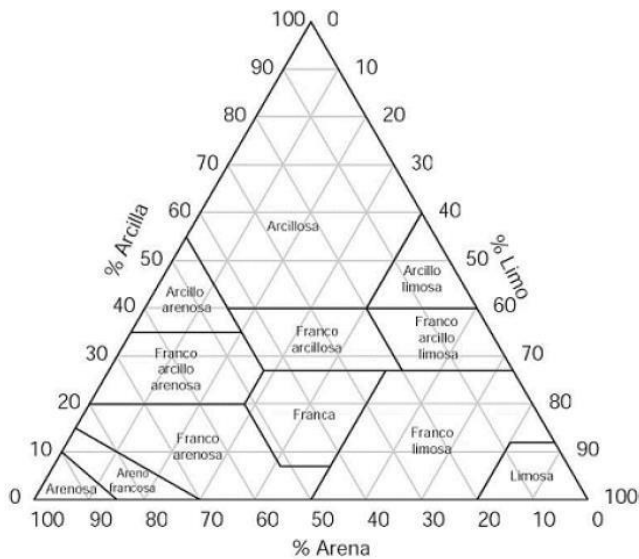


Figura 2. Clasificación de textura.

Tabla 7. Textura de suelo

Nombres de suelos (Textura general)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase Textural	N°	Textura
Suelos francos (textura moderadamente fina)	0-45	0-40	40-100	Arcilloso	1	Fina
	0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso	2	
	45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso	3	
Suelos arcillosos (textura fina)	0-20	40-73	27-40	Franco limoso arcilloso	4	
	45-80	0-28	20-35	Franco arenoso arcilloso	5	
	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso	6	
Suelos francos (textura mediana)	0-20	88-100	0-12	Limoso	7	Media
	20-50	74-88	0-27	Franco limoso	8	
	23-52	28-50	7-27	Franco	9	
Suelo arenoso (textura gruesa)	86-100	0-14	0-10	Arenoso	10	Gruesa
	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso	11	
Suelos francos (textura mode. gruesa)	70-86	0-30	0-15	Arenoso Franco	12	

Tabla 8. Taxonomía del suelo.

Unidades de suelo de acuerdo a la clasificación de Grupos de Suelos de Referencia (GSR)	Textura
---	---------

Cod	Tipo de suelo	Breve descripción	Gruesa	Media	Fina
AC	ACRISOLES	Muy ácido. Suelos fuertemente meteorizados con baja saturación con bases en alguna profundidad.	0.026	0.04	0.013
AL	ALISOLES	Suelo con baja saturación con bases en alguna profundidad	0.026	0.04	0.013
AN	ANDOSOLES	Suelos negros de paisajes volcánicos, se desarrollan en eyecciones o vidrios volcánicos bajo casi cualquier clima.	0.026	0.04	0.013
AR	ARENOSOLES	En la zona seca hay poco desarrollo del perfil. Los Arenosoles en los trópicos perhúmedos desarrollan horizontes eluviales álbicos	0.013	0.02	0.007
CL	CALCISOLES	Suelos con sustancial acumulación de calcáreo secundario. Los Calcisoles típicos tienen un horizonte superficial pardo pálido	0.053	0.079	0.026
CM	CAMBISOLES	Suelos con por lo menos un principio de diferenciación de horizontes en subsuelo evidentes por cambios en la estructura y color	0.026	0.04	0.013
CH	CHERNOZEM	Suelos negros ricos en materia orgánica. Horizonte superficial mólico pardo oscuro a negro	0.013	0.02	0.007
DU	DURISOLES	Suelos fuertemente meteorizados con una capa dura de sílice secundaria (horizonte petrodúrico) o nódulos de sílice secundaria (horizonte dúrico)	0.053	0.079	0.026
FR	FERRALSOLES	Suelos rojos y amarillos tropicales con alto contenido de sesquióxidos.	0.013	0.02	0.007
FL	FLUVISOLES	Suelos desarrollados en depósitos aluviales. Perfiles con evidencia de estratificación; débil diferenciación de horizontes	0.026	0.04	0.013
GL	GLEYSOLES	Suelos con signos claros de influencia del agua freática. Evidencia de procesos de reducción con segregación de compuestos de Fe	0.026	0.04	0.013
GY	GIPSISOLES	Suelos con acumulación de sulfato de calcio, con o sin carbonatos, concentrada en el subsuelo. Horizonte superficial de color claro	0.053	0.02	0.007
HS	HISTOSOLES	Suelos de turba y pantanos. La mineralización es lenta y la transformación de restos vegetales a través de la desintegración bioquímica crea una capa superficial de moho	0.053	0.02	0.007
KS	KASTANOZEMS	Suelos pardos oscuros ricos en materia orgánica. Los Kastanozems tienen un perfil similar a los Chernozems pero el horizonte superficial rico en humus es más delgado	0.026	0.04	0.013
LP	LEPTOSOLES	Suelos someros, finos. Los Leptosoles son suelos azonales y particularmente comunes en regiones montañosas.	0.013	0.02	0.007
LX	LIXISOLES	Suelos con diferenciación pedogenética de arcilla (migración de arcilla) entre el suelo superficial con menor y el subsuelo con mayor contenido de arcilla	0.013	0.02	0.007
LV	LUVISOLES	Diferenciación pedogénica del contenido de arcilla	0.026	0.04	0.013
NT	NITISOLES	Suelos tropicales rojos, profundos, bien drenados con un horizonte subsuperficial arcilloso nítico que tiene elementos estructurales de bordes planos o nuciformes	0.013	0.02	0.007
PH	PHAEZOZEMS	Suelos ricos en materia orgánica. Los Phaeozems son muy parecidos a Chernozems y Kastanozems pero están más intensamente lixiviados	0.013	0.02	0.007
PL	PLANOSOLES	Suelos con un horizonte superficial de textura gruesa abruptamente sobre un subsuelo denso y de textura más fina, típicamente en tierras planas	0.053	0.079	0.026
PT	PLINTOSOLES	Fuerte meteorización con segregación subsecuente de plintita a la profundidad de fluctuación del agua freática o drenaje superficial impedido	0.026	0.04	0.013
PZ	PODZOLES	Suelos con un horizonte iluvial spódico debajo de un horizonte subsuperficial con apariencia de ceniza y cubierta por una capa orgánica	0.053	0.079	0.026
RG	REGOSOLES	Suelos débilmente desarrollados en material no consolidado, que no tienen un horizonte mólico o úmbrico, no son muy someros	0.026	0.04	0.013
LX	SOLONCHAKS	Suelos salinos. Desde débil a fuertemente meteorizados, muchos Solonchaks tienen un patrón de color gléyico a cierta profundidad	0.053	0.04	0.013
LV	SOLONETZ	Suelos con alto contenido de Na y/o Mg intercambiables	0.053	0.079	0.026
UM	UMBRISOLES	Suelo superficial oscuro. Horizonte superficial úmbrico o cámbico con baja saturación de bases	0.026	0.04	0.013
VR	VERTISOLES	Suelos muy arcillosos, que se mezclan, con alta proporción de arcillas expansibles. Estos suelos forman grietas anchas y profundas cuando se secan	0.053	0.079	0.026

Fuente: citado por SENAMHI, 2017

d. Factor P

Recoge la influencia que tienen las prácticas de apoyo de suelos sobre las tasas de erosión, realizando para trabajos culturales o disponiendo la vegetación siguiendo curvas de nivel, en fajas o en terrazas para cortar las líneas de flujo laminar. Esta P consiste en disminuir la longitud efectiva del declive (Van Doren et al. 1950):

$$P_b = a(s_m - s_c)^b + P_{mb} \quad s_c < s_m$$

$$P_b = c(s_c - s_m)^d + P_{mb} \quad s_c \geq s_m$$

$$P_b = 1.0 \quad s_c \geq s_e$$

Dónde:

P_b = Es el valor de base para el contorno del factor P.

s_m = Es la pendiente (expresado como el seno). En dónde el contorneado tiene su mayor eficacia.

s_c = Es la pendiente (expresado como el seno). Para lo cual se desea un valor de P_b .

s_e = Es la inclinación de la pendiente (expresado como el seno) por encima del cual el contorneado es ineficaz.

P_{mb} = el valor mínimo de P para una altura de cresta dada con condiciones básicas.

Los coeficientes a, b, c y d varían con respecto a la altura de la cresta.

Con respecto a esta teoría, diversos autores proponen cálculos similares y de una manera eficiente:

Ya que esta tesis esta correlacionada a evaluar Las zonas más vulnerables o susceptibles en el espacio geográfico de la cuenca baja del Río Chillón y cuantificar la tasa efectiva de pérdida de suelo mediante el modelo más comercial y usado "RUSLE". Ha sido primordial utilizar el

sistema de información geográfica y teledetección para este propósito, facilitando de esta manera los cálculos.

Como mencionamos anteriormente, RUSLE viene hacer una ecuación matemática desarrollada en su primera instancia por Wischmeier y Smith, utilizados para la predicción. Inicialmente como un modelo netamente empírico. Para lo cual esta tesis seguirá el mismo criterio básico del modelo, pero modificado por otros autores para facilitar los cálculos utilizando el SIG y la teledetección.

Los términos de los factores provienen de las teorías relacionadas al tema ya explicadas.

Por lo cual algunos criterios de modificación se presentarán a continuación:

Factor de prácticas de conservación (P):

Tabla 9. Factores de prácticas de apoyo

Pendiente (%)	Contorno	Cultivo en franja	Terraza
0.0 - 7.0	0.55	0.27	0.10
7.0 - 11.3	0.60	0.30	0.12
11.3 - 17.6	0.80	0.40	0.16
17.6 - 26.8	0.90	0.45	0.18
26.8 >	1.00	0.50	0.20

Fuente: Kim, 2006, citados por SENAMHI, 2017.

e. Factor de manejo de cobertura C (Wischmeier and Smith 1978):

$$C = (SLR_1 EI_1 + SLR_2 EI_2 + \dots + SLR_n EI_n) \div EI_t$$

Dónde:

SLR_i es el valor para el periodo de tiempo i.

EI_i es el porcentaje para un año

n = es el número de periodos usados en la adición.

EI_t = es la suma de porcentajes de EI para el periodo de tiempo completo.

Tabla 10. Clasificación para el factor de cobertura

Código	Tipo	Contenido	Factor C
10	Tierra Cultivada	Las tierras utilizadas para la agricultura, horticultura y jardines	0.63
20	Bosque	Tierras cubiertas de árboles, con cubierta vegetal más del 30%	0.003
30	Pradera	Terrenos cubiertos de césped natural con una cubierta más del 10%	0.09
40	Matorral	Tierras cubiertas de arbustos con una cubierta de más del 30%	0.22
50	Humedal	Tierras cubiertas de plantas de humedales y cuerpos de agua	0
60	Cuerpos de agua	Las masas de agua en la superficie terrestre	0
70	Tundra	Hierbas y arbustos en las regiones polares	-
80	Las Superficies Artificiales	Tierras modificadas por las actividades humanas	0.09
90	Tierra Desolada	Tierras con cubierta vegetal inferior al 10%	0.5
100	Nieve y Hielo Permanente	Tierras cubiertas por la nieve permanente, y la capa de hielo	0

Fuente: SENAMHI, 2017

Factor C (Ma et al., 2001):

$$C = 1, \quad c = 0$$

$$C = 0.6508 - 0.3436 \lg c, \quad 0 < c < 78.3\%$$

$$C = 0, \quad c > 78.3\%$$

1.3.3 Estudios sobre Sequías

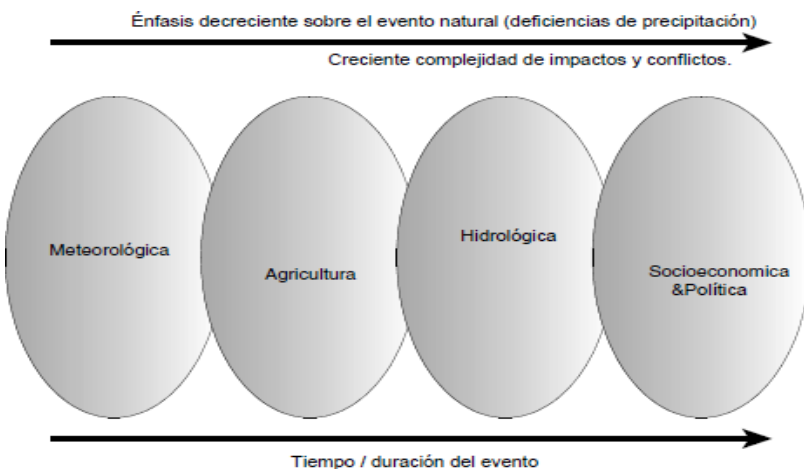
SENAMHI es el encargado de realizar estudios sobre sequías para el Perú debido a que cuenta con el grillado PISCO e “información espacializada de factores físicos, ambientales y socioeconómicos”. (SENAMHI, 2016).

SENAMHI considera que el SPI (creado por Mckee et al, 1993), es un buen indicador para evaluar la sequía, basado en el análisis bivariado de duración y sirve para darnos una representación de los periodos secos y húmedos anormales, cuantificado por la precipitación para diferentes escalas. (SENAMHI, 2016)

La debilidad de usar este índice es que no considera la evapotranspiración. (Trenberth et al., 2014)

Dentro del marco teórico de sequía encontramos:

Figura 3. Sequía



Dimensiones naturales y sociales de la sequía. (Fuente: Centro Nacional de Mitigación de la Sequía, Universidad de Nebraska, Lin-coln, Nebraska, EE. UU.)

Wilhite, 2005. Nos menciona que la sequía meteorológica abarca un periodo considerable o largo. Mientras que la hidrológica, socioeconómica y agrícola se relacionan con los aspectos humanos o sociales, resaltando la interacción entre las características naturales de un evento y las actividades humanas dependiendo de la precipitación para proporcionar suministros adecuados de agua y para satisfacer las demandas sociales y ambientales.

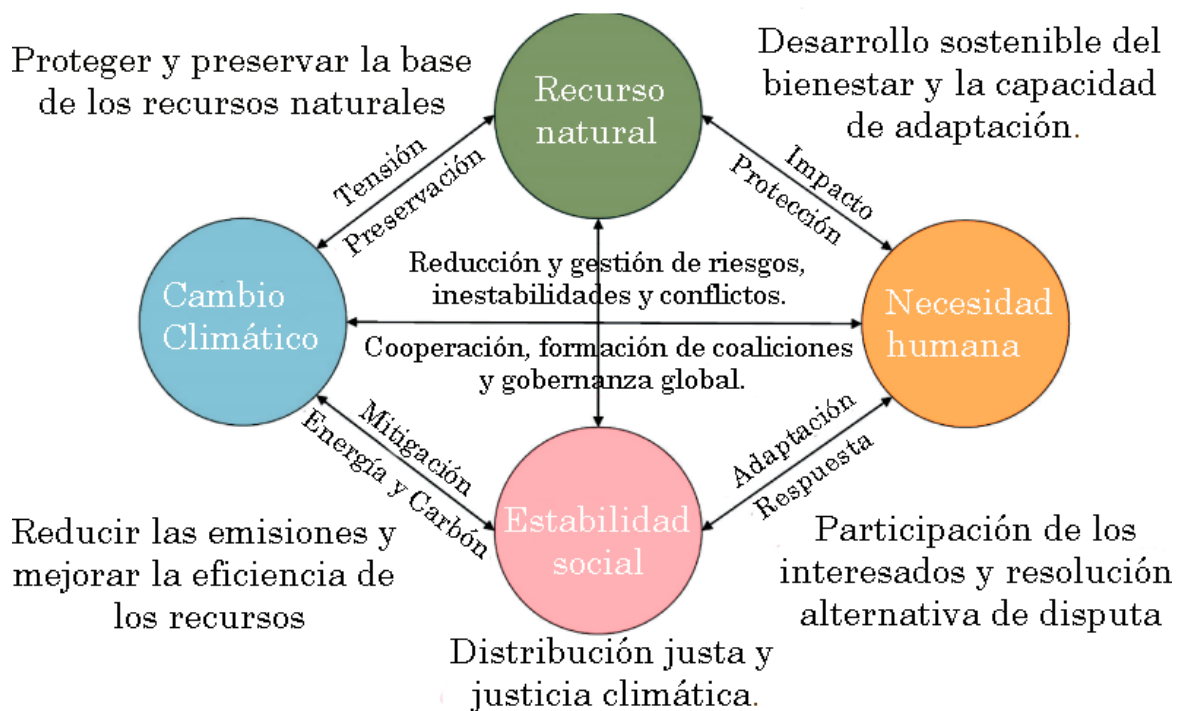
1.3.4 Vulnerabilidad y cambio climático

Como menciona (Letcher, 2008; PICC, 2018), el cambio climático está acelerando y va formando parte de nuestras vidas cotidianas. La rigurosidad por la que ocurre es severa y se ve reflejado en los niveles preindustriales y en las vías globales relacionadas a las emisiones de gases de efecto invernadero como respuesta ante la amenaza del cambio climático.

La vulnerabilidad y el cambio climático “como un sistema conglomerado”. La magnitud de los riesgos potenciales del cambio climático debe estar sujeto a una nueva arquitectura de gobierno global, tal que mida la seguridad preventiva, una política ambiental sostenible y una política de desarrollo. (Scheffran, 2011)

A continuación, una gráfica, que muestra la vulnerabilidad y cambio climático.

Figura 4. Reducción y Gestión de Riesgos



Estrategias para la seguridad climática dentro del marco de evaluación integrado, Scheffran, 2011.

Scheffran, 2011, nos dice que las respuestas sociales y humanas son muy dependientes de la vulnerabilidad y el cambio climático.

1.3.5 Algoritmos de la Teledetección

Conversión a radiance:

Durante la calibración, los valores Q se convierte en valores de radiancia absoluta utilizando puntos flotantes de 32 bit. Estos valores, se escalan a valores de 8 bit que representan los números digitales calibrados. Las conversiones de números digitales calibrados requieren el conocimiento de factores reescaldados originales. La siguiente relación contempla lo mencionado (Chander et al., 2007):

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{max\lambda} - L_{min\lambda}}{Q_{cal_{max}} - Q_{cal_{min}}} \right) (Q_{cal} - Q_{cal_{min}}) + L_{min\lambda}$$

o

$$L_{\lambda} = G_{rescale} * Q_{cal} + B_{rescale}$$

Tabla 11. LUTO7

Coeficiente de ajuste del modelo de ganancia L5 TM			
Banda	a (0)	a (1)	a (2)
1	0.2901	0.1399	1.209
2	0.1246	0.1045	0.6305
3	0.0839	0.2386	0.9028
4	0	0	1.082
5	0	0	8.209
7	0	0	14.695

Representa la ganancia promedio de banda de las bandas TM. Los coeficientes a (0) y a (2) están en unidades de w/m2/sr.um y los a (1) en 1/año.

Dónde: G = ganancia y B = compensación.

Reflectividad, citado por Chuvieco, 2002

$$p_k = \frac{D\pi((L_{sen,k} - L_{a,k})/t_{k,0})}{E_{0,k} \cos\theta_i t_{k,i} + E_{d,k}}$$

Algoritmo del balance de energía superficial para tierra:

Conocido también como SEBAL, la implementación de este algoritmo es para estimar la temperatura superficial. SEBAL evalúa los componentes del balance de

energía a partir de satélites multiespectrales. Para su implementación es necesario tener información sobre la reflectance en las bandas visible, infrarrojo cercano e infrarrojo medio, así como la emisión en la térmica.

Balance de energía: (Bastiaanssen et al., 1998):

$$R_n - G - H = \lambda ET$$

Dónde: R_n es la densidad de flujo de la radiación entrante (Wm); G es la densidad de flujo del calor del suelo (wm^2); H es la densidad de flujo del calor sensible; λET es la densidad de flujo de calor latente.

Superficie del Albedo: (Li et al., 2005):

$$\alpha = (\alpha_{TOA} - \alpha_{path_radiance}) / \tau_{sw}^2$$

Dónde α_{TOA} es el albedo en el techo de la atmosfera; τ_{sw}^2 es la transmisión y $\alpha_{path_radiance}$ es el atmosférico.

Temperatura Superficial: (Bastiaanssen et al., 1998):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} * K_1}{R_c} + 1\right)}$$

Dónde los valores K_1 y K_2 son extraídos de la meta data tanto de Landsat 5, 7 y 8. ϵ_{NB} es la emisividad de la superficie de la banda estrecha: R_c es la radiancia termal corregida desde la superficie.

Para estimar la emisividad, se propuso (citado por Emami et al., 2016):

$$\epsilon_{NB} = 0.97 + 0.00331 * IAF; NDVI > 0 \text{ y } IAF < 3$$

Los valores constantes de 0.98 y 0.99 son correspondientes a $NDVI > 0$, $IAF \geq 3$ y $NDVI < 0$, respectivamente.

Para landsat 8 (Emami et al., 2016):

$$\epsilon_{NB10} = 0.969781 + 0.004100 * IAF; NDVI > 0 \text{ y } IAF < 3$$

Los valores constantes de 0.98173200 y 0.99085700 son correspondientes a $NDVI > 0$, $IAF \geq 3$ y $NDVI < 0$, respectivamente.

$$E_{NB11} = 0.976116 + 0.003106 * IAF; \text{NDVI} > 0 \text{ y } IAF < 3$$

Los valores constantes de 0.98425133 y 0.98985167 son correspondientes a NDVI > 0, IAF >=3 y NDVI < 0, respectivamente.

MSAVI: Huete (1988) Un índice de vegetación que es básicamente una versión de SAVI donde el factor L se ajusta dinámicamente

$$L = 1 - (2 * pendiente * NDVI * WDWI)$$

donde WDWI es la Vegetación de Diferencias Ponderadas de Clevers (1988) que es funcionalmente equivalente a PVI y se calcula como sigue

$$WDVI = NIR - (SLOPE * RED)$$

1.3.6 Conceptos previos

Clima:

Para muchos autores existe una ligera desviación respecto a la definición del clima, sin embargo, puede estar catalogado como “la probabilidad estadística de ocurrencia de los distintos estados de la atmósfera” tales como el viento, humedad, temperatura, etc. Esto ocurre si es medido durante un periodo cronológico y en un lugar o región determinada. (Pita, 2011)

Compactación:

La compactación ha sido interpretada como la humectación o secado y entre otros procesos que hacen que la erosión del suelo disminuya con el tiempo; ya sea después de una alteración mecánica afectando la acumulación de biomasa y el efecto de biomasa sobre el flujo superficial (USDA,2008).

Pérdida de suelo:

La definición adecuada es el rendimiento de sedimento de una trayectoria de flujo terrestre uniforme dividida por la longitud de trayectoria de flujo terrestre; Se usa de forma general como la eliminación neta de sedimentos de un segmento de trayectoria de flujo terrestre. (USDA,2008)

Erodabilidad:

Para Rusle se considera dos efectos importantes que se conceptualiza en la erodibilidad del suelo, uno basado en propiedades inherentes del suelo y otro basado en manejo de cobertura; el efecto de erodibilidad del suelo inherente representado por el valor del factor K determinado empíricamente por la erosión en parcelas unitarias; La parte relacionada con el manejo de cobertura está representada en los subfactores de manejo de cobertura. (USDA, 2008)

Textura del suelo:

Se refiere a la distribución de partículas primarias de arena, limo y arcilla en la masa del suelo sujeta a erosión. (USDA, 2008)

Nomografía:

Procedimiento matemático utilizado para calcular un valor de factor K, es decir, erodibilidad inherente del suelo. (USDA, 2008)

Planificación de conservación:

Un valor de erosión de planificación de conservación que otorga crédito parcial a la deposición como suelo salvado; El crédito es función de la ubicación en la trayectoria del flujo terrestre donde se produce la deposición (USDA, 2008)

Deposición:

Transfiere sedimentos de carga de sedimentos que son transportados por escorrentía a la superficie del suelo; la deposición neta hace que la carga de sedimentos disminuya con la distancia a lo largo de la trayectoria del flujo terrestre; depende de las características de sedimentos y del grado en que la carga de sedimentos excede la capacidad de transporte de sedimentos; Enriquece la carga de sedimentos en finos; calculada en función de la velocidad de caída de la clase de partículas del sedimento, tasa de escorrentía y diferencia entre carga del sedimento y la capacidad de transporte (USDA, 2008)

EI 30:

Tormenta de lluvia para el factor de erosividad. Representa el producto de energía de tormenta y intensidad máxima de 30 minutos. Esta energía está estrechamente relacionada con la cantidad de lluvia y en parte su intensidad (USDA, 2008).

Erosividad:

Catalogada como el índice de erosividad de lluvia en un lugar; estrechamente relacionado con la cantidad e intensidad de la lluvia; la erosividad mensual es la suma anual promedio de los valores individuales de erosividad de la tormenta en el mes; La erosividad anual es la suma promedio de los valores en el año; la cantidad de lluvia pluvial debe ser de ½ pulgada (12 mm) o más para que se incluya en el cálculo de la erosividad (USDA, 2008).

Energía de lluvia:

Calculado como la suma de productos de energía unitaria y la cantidad de lluvia en intervalos de tormenta donde se asume que la intensidad de lluvia es uniforme; la energía de tormenta está estrechamente relacionada con cantidad de tormenta de lluvia (USDA, 2008)

Topografía:

Se refiere a la inclinación a lo largo de la trayectoria del flujo terrestre y la longitud de la trayectoria del flujo terrestre (USDA, 2008)

Pendiente:

Se refiere a una trayectoria de flujo por tierra donde el suelo, la inclinación y el manejo de cobertura no varían a lo largo de trayectoria de flujo terrestre (USDA, 2008)

Sistema de teledetección:

Para el análisis, tratamiento e interpretación de las imágenes consta primordialmente de 6 secuencias, como se describe a continuación (Chuvieco, 2002):

- Fuente de energía, catalogada como el origen de la radiación electromagnética detectada por el sensor. Describiéndose como teledetección pasiva y teledetección activa.
- Cubierta terrestre, Representado como el tipo de cobertura, influenciándose además del resto como masas de vegetación, suelos, agua o construcciones humanas, que reciben la fuente energética, y lo reflejan o emiten de acuerdo a sus características físicas.
- Sistema sensor, Constituido por el sensor remoto y la plataforma. Se encarga de captar la energía procedente de las distintas coberturas, codificarla y grabarla o enviarla directamente al sistema de recepción.
- Sistema de recepción-comercialización, Una vez captado del sistema sensor, esta se acomoda y se graba en un formato apropiado, para distribuirlos mediante el internet o solicitándolos.

- Intérprete, Es el encargado de manejar la información adquirida y convertirlos convenientemente en mapas temáticos de interés, ya sea visual o digitalmente, para facilitar la evaluación del problema en estudio.
- Usuario final, es el encargado de analizar el documento como resultado final del intérprete, y promover medidas de contingencia para el bienestar de la comunidad.

El espectro electromagnético: (Chuvieco, 2002)

Espectro visible (0,4 a 0,7 μm). Es percibido por nuestros ojos, coincidiendo con las longitudes de onda en donde es mxima la radiación solar. Dentro de esta región se distinguen 3 bandas, tenemos al azul (A, 0,4-0,5 μm), verde (V, 0,5- 0,6 μm), y rojo (R, 0,6-0,7 μm).

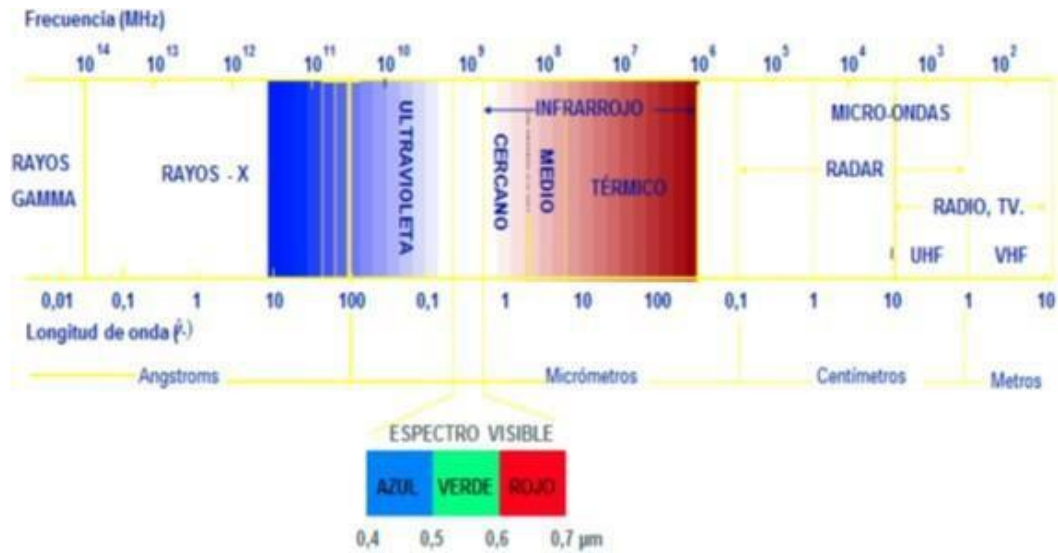
Infrarrojo cercano (IRC, O, 7-1,3 μm). Conocido como infrarrojo próximo, puesto que resulta de especial importancia por su capacidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.

Infrarrojo medio (1,3 a 8 μm). En esta zona encontramos los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de superficie terrestre. La primera banda se sitúa entre 1,3 y 2,5 μm , y se denomina infrarrojo de onda corta (Short Wave Infrared, SWIR). La segunda, comprendida principalmente en torno a 3,7 μm , se conoce propiamente como infrarrojo medio (IRM), siendo determinante para la detección de focos de alta temperatura.

Infrarrojo lejano o térmico (IRT, 8 a 14 μm), mide la porción emisiva del espectro terrestre, en donde se detecta el calor proveniente de la mayor parte de coberturas terrestres.

Micro-ondas (M, por encima de 1 mm), con gran interés por ser un tipo de energía bastante transparente a la cubierta nubosa.

Figura 5. Bandas (Chuvieco, 2002)



Emitancia radiativa espectral de un cuerpo negro:

$$M_{n,\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left\{ \exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1 \right\}}$$

Dónde:

$M_{n,\lambda}$: emitancia radiativa

h : constante de Planck ($6.626 \cdot 10^{-34} \text{ W s}^2$)

k , constante de Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23} \text{ W s}^2 \text{ K}^{-1}$) C,
velocidad de la luz;

λ , longitud de onda

T , temperatura absoluta de un cuerpo negro (en kelvin, k)

Figura 6. Curvas de la emitancia

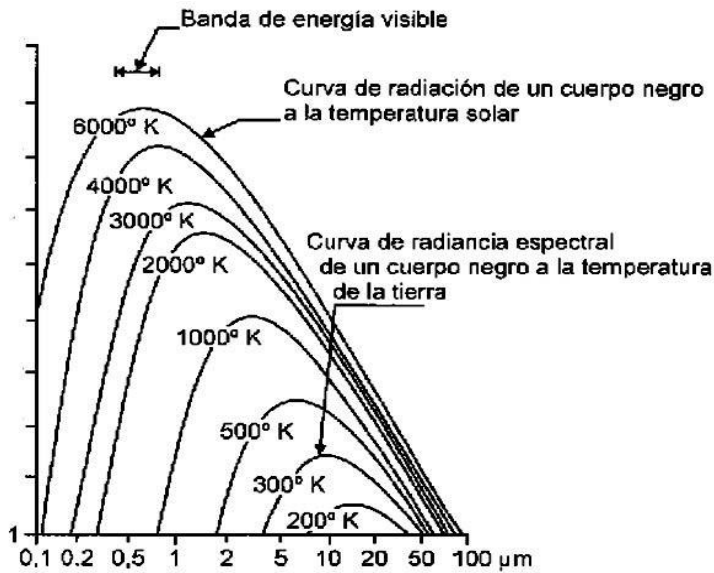


Tabla 12. Bandas.

Landsat 4,5	MSS	4 (0.5 - 0.6)	80	
		5 (0.6 - 0.7)	80	
		6 (0.7 - 0.8)	80	
		7 (0.8 - 1.1)	80	
		TM	1 (0.45 - 0.52)	30
			2 (0.52 - 0.60)	30
			3 (0.63 - 0.69)	30
Landsat 7	ETM+	4 (0.76 - 0.90)	30	
		5 (1.55 - 1.75)	30	
		6 (10.4 - 12.5)	120 ²	
		7 (2.08 - 2.35)	30	
		1 (0.450 - 0.515)	30	
		2 (0.525 - 0.605)	30	
		3 (0.630 - 0.690)	30	
		4 (0.775 - 0.900)	30	
Landsat 8	OLI	5 (1.550 - 1.750)	30	
		6 (10.40 - 12.50)	60 ²	
		7 (2.080 - 2.350)	30	
		8 (0.520 - 0.900)	15	
		1 (0.435 - 0.451)	30	
		2 (0.452 - 0.512)	30	
		3 (0.533 - 0.590)	30	
		4 (0.636 - 0.673)	30	
		5 (0.851 - 0.879)	30	
		6 (1.566 - 1.651)	30	
	7 (2.107 - 2.294)	30		
8 (0.503 - 0.676)	15			
TIRS	9 (1.363 - 1.384)	30		
	10 (10.60 - 11.19)	100 ²		
	11 (11.50 - 12.51)	100 ²		

Fuente: USGS, 2018.

1.4 Formulación del problema

En perspectiva a la realidad problemática mencionada se planteó

1.4.1 Problema General

¿Será posible determinar la degradación de suelos por erosión hídrica y el índice de sequía en la cuenca media del río Chillón para el periodo del 2000 al 2018?

1.4.2 Problemas específicos

Problema específico 1

⊕ ¿Cómo se relacionan las características morfométricas con la degradación de suelos para la cuenca media del río Chillón?

Problema específico 2

⊕ ¿Cómo influye la cobertura con la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón para el periodo de 2000 al 2018?

Problema específico 3

⊕ ¿Cómo la agresividad climática se ha relacionado con la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón para el periodo de 2000 al 2018?

Problema específico 4

⊕ ¿Cómo influye el índice de costra con la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón?

Problema específico 5

⊕ ¿De qué forma el índice de sequía interviene en la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón para el periodo de 2000 al 2018?

Problema específico 6

⊕ ¿En qué forma los parámetros fisicoquímicos intervienen en la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón?

1.5 Justificación del estudio

El presente trabajo de investigación se realiza debido a la importancia que se le otorga al recurso suelo, parte fundamental para el desarrollo de la agricultura, ya que como se observa el principal problema que aborda la cuenca media, es la pérdida de suelo puesto que actualmente está siendo impactada de manera negativa por los factores naturales que se le rige y el cambio climático que acontece. Por lo que el propósito de esta investigación se realiza con la finalidad de proporcionar información para impulsar a una gestión integrada del suelo, y para que las autoridades competentes tomen medidas para prevenir la degradación. Esta degradación acontecida por erosión hídrica y sequía forma la base a la concientización y cuidado de este recurso básico, ya que actúa como un factor importante para el desarrollo sostenible.

1.5.1 Justificación Teórica

La teoría del modelo estadounidense se confrontó en un campo experimental. A través de un modelo matemático se efectuó algunas variables tomadas como las de mayor impacto para las evaluaciones. Debido a que la necesidad territorial analizada no era vasta se efectuó el sistema de información geográfica o teledetección.

El recurso suelo y su protección es fundamental para el desarrollo de diferentes actividades que el hombre desarrolla, puesto que el modelo es factible en EEUU, no existe la certeza que en Perú fuera lo mismo debido a las condiciones climáticas presentes o la topografía misma. Mas solo se presenta como una estimación no muy cercana a la realidad con la finalidad que en un futuro esto se puede revertir.

1.5.2 Justificación metodológica

En la observación de antecedentes o trabajos previos se pudo obtener los lineamientos de la metodología, que realizaron todos los autores mencionados, primordialmente en base científica siendo recomendados por muchos países para derivar estimaciones.

1.5.3 Justificación tecnológica

En la actualidad las tecnologías utilizadas para medir el cambio y detectar las zonas vulnerables en territorios grandes como cuencas se suele aplicar de manera factible el sistema de información geográfica o la teledetección para sus estudios temporales; así como mediciones de aparatos puntuales que ayuden a correlacionar y dar crédito a esta investigación.

1.5.4 Justificación económica

Como es sabido, la economía del Perú está ligado primordialmente al recuso suelo y esta pérdida se presente de manera constante en nuestro país por erosión hídrica (SENAMHI, 2017). Otro de los aspectos fundamentales fue mencionado en la realidad problemática en donde existe una deposición o inundación; incluso ha llegado a tener daños materiales por una mala planificación. Por eso surgió la necesidad de elaborar esta tesis, a fin de mejorar tanto el modelo y el país.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis general

Es posible determinar la degradación de suelos por erosión hídrica y el índice de sequía en la cuenca media del río Chillón para el periodo del 2000 al 2018.

1.6.2 Hipótesis específica.

Hipótesis específica 1

- ‡ Existe relación entre las características morfométricas y la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón.

Hipótesis específica 2

- ‡ Existe influencia entre la cobertura y la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón para el periodo de 2000 al 2018.

Hipótesis específica 3

- ‡ Existe relación con la degradación de suelos y la agresividad climática en la cuenca media del río Chillón para el periodo de 2000 al 2018.

Hipótesis específica 4

- ‡ Existe un grado de influencia con el índice de costra y la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón.

Hipótesis específica 5

- ‡ Existe un grado de influencia con el índice de sequía y la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón para el periodo de 2000 al 2018.

Hipótesis específica 6

- ‡ Los parámetros fisicoquímicos no marcan una influencia importante con la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

Determinar la degradación de suelos por erosión hídrica y el índice de sequía en la cuenca media del río Chillón para el periodo de 2000 al 2018.

1.7.2 Objetivos específicos

Objetivo específico 1

- † Determinar las características morfométricas que intervienen en la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón.

Objetivo específico 2

- † Determinar la cobertura en la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón para el periodo de 2000 al 2018.

Objetivo específico 3

- † Determinar la relación entre la agresividad climática y la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón para el periodo de 2000 al 2018.

Objetivo específico 4

- † Determinar el índice de costra en la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón.

Objetivo específico 5

- † Determinar el índice de sequía en la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón para el periodo de 2000 al 2018.

Objetivo específico 6

- † Determinar los parámetros fisicoquímicos para la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón.

II. MÉTODO

2.1 Diseño

La investigación es no experimental, se recoge datos en el campo de tipo cuantitativo y cualitativo. Se recopila información de fuentes importantes para su análisis, tratamiento e interpretación y se analizan algunos parámetros fisicoquímicos en el laboratorio. Empleando los softwares ArcGIS 10.3, ENVI 5.1, Minitab 18, IBM SPSS 25 y el Excel 2016 para evaluar las posibles zonas a susceptibilidad de degradación de suelos y buscar posibles soluciones para su recuperación. Este diseño se basa en una extrapolación de fuentes originales a través del modelo RUSLE.

A su vez este diseño comprende el análisis multivariante, el método paramétrico y el descriptivo.

Para el diseño se prevé utilizar la cobertura, textura, datos pluviométricos y parámetros fisicoquímicos.

También se utilizará capas temáticas de teledetección y GIS provenientes de los sensores remotos.

2.1.1 Metodología de la Degradación de suelos

De manera sustancial, se prevé evaluar la calidad del suelo, a través de:

- † Grado de acidez
- † Salinidad
- † Materia orgánica
- † Degradación física

Para evaluar la calidad del suelo se midió como muy superficial (USDA, 2017); es decir, se tuvo que ir al lugar y sacar 22 muestras de suelo a una profundidad no mayor de 10 cm para áreas que correspondían a pastizales, mientras que en zonas cultivadas pueden ser menos a 25 cm en diferentes partes de la cuenca media del río Chillón tomando evidencias de cobertura.

Presentare los datos extraídos de fuentes importantes:

- † Se recopilaron datos pluviométricos del SENAMHI desde 1992 hasta 2011.
- † Se utilizaron capas temáticas del NDVI, previamente a su tratamiento.
- † Se utilizaron los ND de los sensores, previamente a su tratamiento del Landsat 5, 7 y 8.
- † Para el factor L y S se aplicó un DEM derivados del satélite Alaska, utilizando el software arcgis 10.3 o superior a una resolución de 15m.
- † Se utilizaron capas temáticas de precipitación (CHIRPS) a 0.05°
- † Se utilizaron capas temáticas del HWSD de 30 arco por segundo.
- † Se utilizaron capas temáticas de SoilGrids V0.5.3 a 250m.
- † Se utilizaron capas temáticas del Globallandcover a 30m.

Ahora, presentaremos las ecuaciones con la que se desarrollará:

- † Factor erosividad: (citado por SENAMHI, 2017)
Se mencionó la ecuación
- † Factor L y S: (Desmet y Govers, 1996)

$$L_{i,j} = \frac{(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - A_{i,j-in}^{m+1}}{D^{m+2} * X_{i,j}^m * 22.13^m}$$

$$X_{i,j} = \text{sen } a_{i,j} + \cos a_{i,j}$$

$$m = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

$$\beta = \frac{\text{sen}\theta / 0.0896}{0.56 + 3 * (\text{sen}\theta)^{0.8}}$$

Dónde:

$A_{i,j-in}$ es el área contribuida en el área de celda (i,j) en m².

D, es el tamaño de celda expresado en metros.

$a_{i,j}$ es la orientación de la celda.

m, es la relación con β

β es la razón de rill/ interrill.

Theta, es el ángulo de pendiente en sexagesimales.

‡ Factor C: (Ma et al, 2001)

Los valores de estimación provienen de la ecuación ya mencionada.

‡ Índice de Sequía (Wan et al., 2004):

$$VTCI = (LST_{NDVI \text{ max}} - LST_{NDVI \text{ i}}) / (LST_{NDVI \text{ max}} - LST_{NDVI \text{ i min}})$$

Donde $LST_{NDVI \text{ i max}} = a + b \text{ NDVI i}$ y $LST_{NDVI \text{ i min}} = a' + b' \text{ NDVI i}$

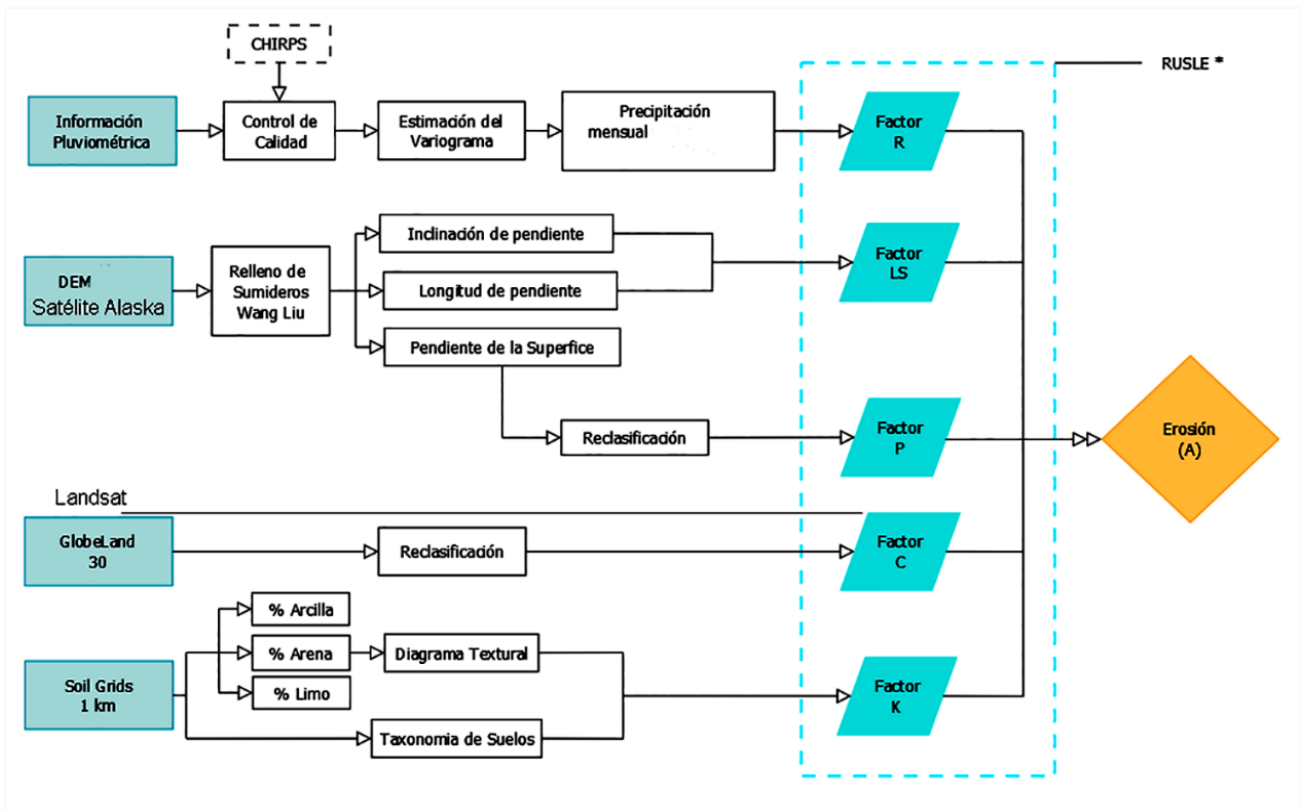
Dónde $LST_{NDVI \text{ i máx.}}$ y $LST_{NDVI \text{ i min}}$ son las temperaturas máximas y mínimas de la superficie terrestre de los pixeles que tienen el mismo valor NDVI i para una región, respectivamente.

A saber:

Las imágenes satelitales reciben un tratamiento, así como su corrección para la interpretación.

El método que se utilizó, consta de la corrección atmosférica y radiométrica. Se evaluó por el método FLAASH. Del mismo modo se ubicaron los GCP para la geométrica, se eliminaron los artefactos (MINAM, 2014).

Figura 7. Erosión Hídrica (SENAMHI, 2017)



2.1.2 Variables de Operación

⊕ Independientes: Erosión hídrica y el índice de sequía de suelos en la cuenca media del río Chillón para el periodo de 2000 al 2018.

⊕ Dependiente: Degradación de suelos en la cuenca media del Río Chillón para el periodo de 2000 al 2018.

Tabla 13. Operación

Análisis de la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón por erosión hídrica y sequía para el periodo de 2000 al 2018					
Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad/escala
Degradación del suelo en la cuenca media del río Chillón	La degradación de suelos se mide cuantitativa y cualitativamente y es el conjunto de procesos bajo la capacidad actual y potencial de decrecimiento de la calidad del suelo. Marca un alto énfasis en los LUC y el riesgo de degradación. (FAO, 2018)	Se estimarán las ecuaciones, así como la interpolación adecuada para el proceso. Los formatos se elaboran en raster y otros para el cálculo correspondiente. Así mismo mediante las normas internacionales se estimarán los parámetros fisicoquímicos en el laboratorio para los resultados de dichos parámetros.	Parámetro Fisicoquímico	PH	Grado de acidez
				Conductividad	S/m
				C orgánico	%
			Índice de costra (IC)	Z _{f,c}	%
Arcilla	%				
Erosión hídrica y Sequía del suelo en la cuenca media del río Chillón	La erosión viene a ser el desprendimiento, desgaste o movimiento superficial del material del suelo; siendo natural o acelerado por actividad humana. Depende muy bien de las condiciones climáticas. (USDA, 2017)	Para determinar y desarrollar los factores empleados, se hizo énfasis de un seguimiento o modelo matemático denominado RUSLE. Primordialmente se acentúa como una extrapolación para su desarrollo competente. (USDA, 2008) La información con que se trabajo ha sido tantos derivados de imágenes satelitales, del sistema de información geográfica y datos puntuales del SENAMHI.	Factor Topográfico	Factor L	Sin dimensional
				Factor S	Sin dimensional
			Erodabilidad	Factor K	MJ ⁻¹ .mm ⁻¹ .Ton.h
			Erosividad	Factor R	MJ.mm. ha ⁻¹ .h ⁻¹ .año ⁻¹
			Practicas	Factor P	Sin dimensión
			Cobertura	Factor C	Sin dimensión
			Sequía	Índice de Sequía	Grado de sequia

2.2 Población y Muestra

2.2.1 Población

La cuenca media del río Chillón tiene una extensión de 605.066 km² y un perímetro de 418.96 km aproximadamente. Con coordenadas UTM y DATUM: WGS-1984 para el centroide de 309765.61m E y 8716980.86m N. Los datos mencionados se calcularon utilizando el sistema de información geográfica.

Para el estudio mencionado, el perímetro se estableció de acuerdo a sus altitudes, ya que la cuenca del río Chillón varía desde 50 hasta 5150 msnm según cartas nacionales del Instituto Geográfico Nacional.

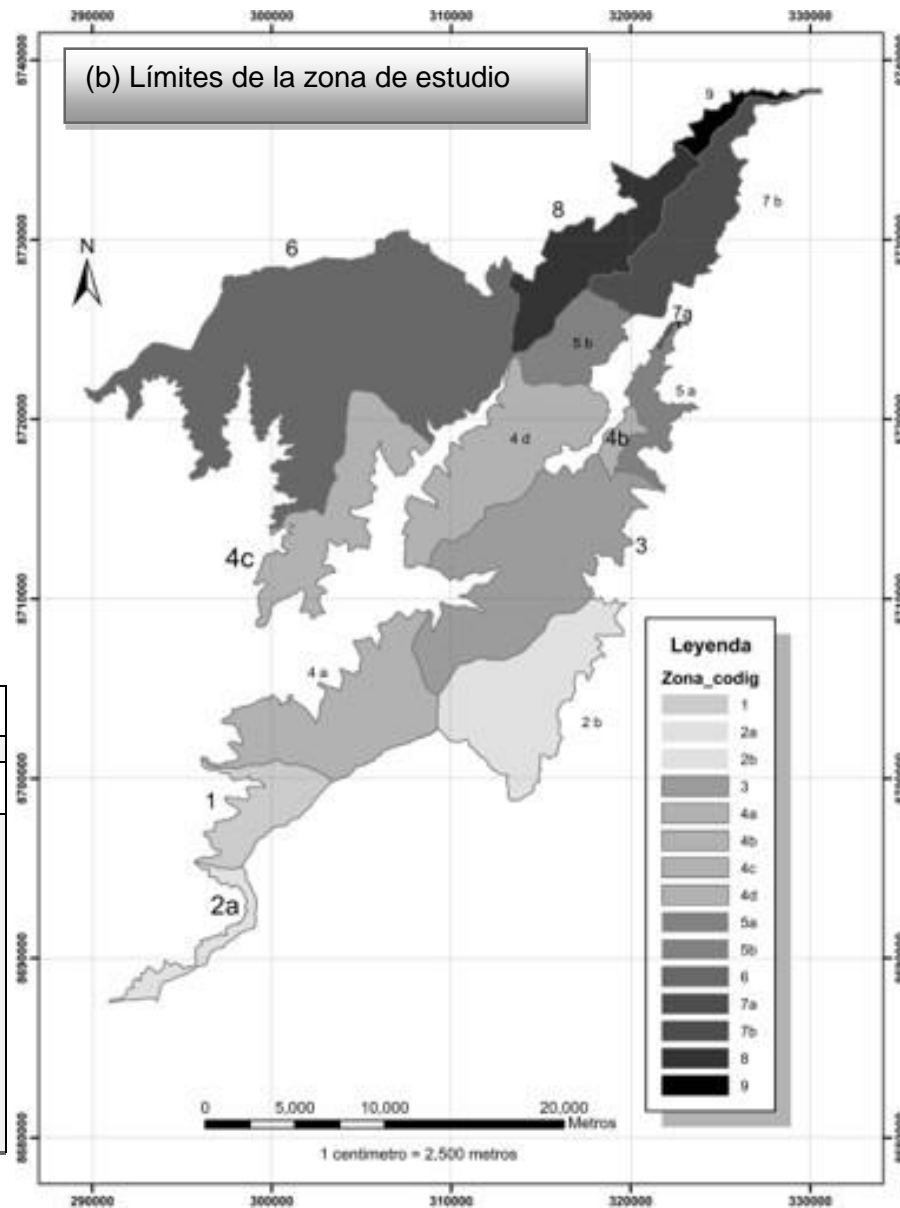
Pero en nuestro caso, la cuenca media correspondió aprox. desde 1653 a 3630 msnm.

Presentando entre pendientes bajas y pronunciada desde 0 hasta 65.2 grados aproximadamente.

Esta población consta de datos o factores para emplear el modelo RUSLE como; topografía, precipitación, coberturas, prácticas de conservación, textura del suelo, y tipo de suelo. Además, corresponden al estudio de sequías y a análisis fisicoquímicos

Los límites territoriales que contemplan esta investigación fue tomadas del IGN.

A continuación, una gráfica y una tabla descriptiva de los lugares que contemplan la población:



Zona	Cód.	Nombre del distrito	MIN (msnm)	MAX (msnm)	Área (km ²)	Perímetro (km)	Nombre Provincia
1		CARABAYLLO	1722	2747	20.861	32.980	Lima
2	a	SAN ANTONIO	1710	2417	9.571	34.961	Huarochiri
	b		2105	3561	52.640	43.578	
3		ARAHUAY	1697	3609	81.423	66.145	Canta
4	a	SANTA ROSA DE QUIVES	1653	3392	54.083	52.015	
	b		2649	3481	4.261	11.420	
	c		1680	3005	39.701	60.126	
	d		1719	3630	52.419	46.501	
5	a	LACHAQUI	2710	3540	12.780	35.096	Canta
	b		1814	3573	19.606	20.078	
6		HUAMANTANGA	1658	3549	176.175	120.053	
7	a	CANTA	3290	3494	0.570	5.847	Canta
	b		2148	3541	38.743	47.358	
8		SAN BUENAVENTURA	1809	3534	36.449	44.634	
9		HUAROS	2853	3501	5.786	22.481	

(c) Altitud y Áreas para la zona de estudio

Figura 8. Zona de estudio

2.2.2 Muestra

Las muestras que se recolectaran para los análisis, corresponden a las zonas de: Huamantanga, San Buenaventura, Huaros, Arahua y la carretera Lima – Canta.

Para el cálculo muestral se utilizará:

$$n = \frac{z^2 * s^2}{L^2 + \frac{(s * z)^2}{N}}$$

Debido a que N es grande.

Se utilizará la varianza de la arcilla con una confianza del 95% y para un error del 1.5.

$$n = \frac{1.96^2 * 2.88^2}{1.5^2 + \frac{(2.88 * 1.96)^2}{605}}$$

n= 9; por lo tanto, se deberá recolectar más de 9 muestras debido a que no se recolecto la información requerida. La recolección fue por el aleatorio simple.

A continuación, los puntos de muestreo para la cuenca media:

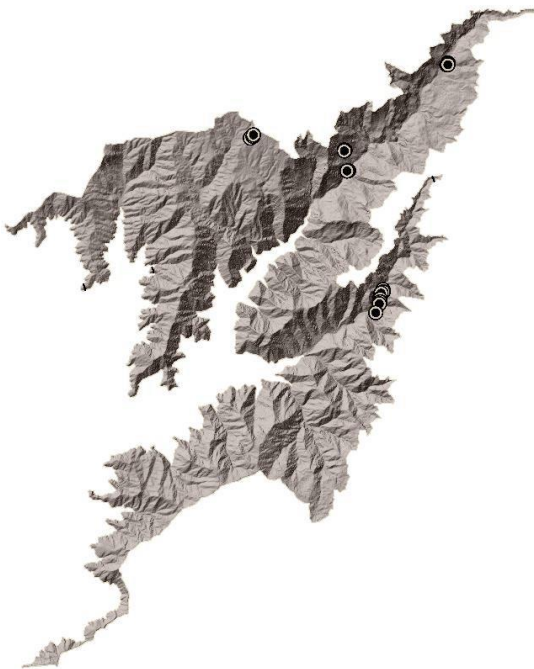


Figura 9. Puntos analizados

2.3 Técnicas de instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.3.1 Validación del instrumento

I. DATOS GENERALES

- I.1. Apellidos y Nombres:.....
- I.2. Cargo e institución donde labora:.....
- I.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación:.....
- I.4. Autor(A) de Instrumento:.....

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	Inaceptable						Poco aceptable			Aceptable			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales.													
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método Científico.													

TABLA 14.

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación

- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

%

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI No..... Telf:.....

2.3.2 Técnicas de recolección

Ficha Técnica N° 1				Ficha Técnica: N3							
Imágenes satelitales e informaciones disponibles				Recolección de muestras							
Nombre del lugar de estudio:				N° de Día	N° muestra	Parametro			Coordenadas:		
Departamento:		Provincia:				pH	M.O	Salinidad			Textura
Sistema de coordenadas:				13	D1						
Área: (km²) y Perímetro: km					D2						
Adquisición de los datos:					D3						
					D4						
					D5						
				15	D6						
					D7						
					D8						
					D9						
					D10						
				20	D11						
					D12						
					D13						
					D14						
					D15						
				21	D16						
					D17						
					D18						
					D19						
					D20						
					D21						
					D22						
Observaciones:				Fecha: A partir del 13 de Abril del 2019							

Fecha: Lima, ___ de _____ del 20__

Firma del responsable.

Especialista N°1 _____ Especialista N°2 _____ Especialista N°3 _____

Apellidos: _____ Apellidos: _____ Apellidos: _____
C.I.P.: _____ C.I.P.: _____ C.I.P.: _____

Ficha Técnica N° 2				Ficha Técnica N° 4		
Precipitación				Tipo de cobertura		
Nombre del lugar de estudio:				Adquisición de datos:		
Departamento:		Provincia:		Cód.	Tipo de cobertura	Coordenadas:
Sistema de coordenadas:				D1		
Adquisición de los datos:				D2		
				D3		
				D4		
				D5		
				D6		
				D7		
				D8		
				D9		
				D10		
				D11		
				D12		
				D13		
				D14		
				D15		
				D16		
				D17		
				D18		
				D19		
				D20		
				D21		
				D22		
Observaciones:				Observaciones:		

Fecha: Lima, ___ de _____ del 20__

Firma del responsable.

Firma del responsable.

Especialista N°1 _____ Especialista N°2 _____ Especialista N°3 _____

Apellidos: _____ Apellidos: _____ Apellidos: _____
C.I.P.: _____ C.I.P.: _____ C.I.P.: _____

TABLA 15.

2.3.3 Cronograma

ACTIVIDADES	Meses	1*	2*	3*	4*	5	6	7	8*	9*	10*	11*
	Semanas	1234	5678	91111	11111	11112	2222	2222	2333	3333	3334	444
		012	3456	7890	1234	5678	9012	3456	7890	123		
Redacción, alteración del título												
Esquema del proyecto de inv.												
Elementos del proyecto de inv.												
Objetivos y justificación de inv.												
Definición de variables de operación												
Revisión general por “ especialistas ”												
Elaboración de instrumentos												
Corrección del proyecto de inv.												
Datos del SENAMHI												
Descarga y proceso de datos DEM												
Permisos para Globeland												
Datos Landsat												
Elaboración del factor C												
Datos para el tipo de suelo												
Proceso del factor de erodabilidad												
Procesamiento para la precipitación												
Modelado R												
Puntos de muestreo (viaje)												
Procesamiento para IC												
Integración RUSLE												
Análisis de la cobertura												
Parámetros del suelo (Lab. UCV)												
Procesamiento para ICTV												
Toma de decisión												
Aplicar un “sándwich” a las capas												
Resultados, discusión, y el resto.												

TABLA 16. *Nota:* * Los avances de la tesis en los periodos de la UCV.

2.4 Métodos de análisis de datos

A continuación, se mostrará todos los procesos del análisis. Es importante resaltar que el factor p ha sido estimado como 1, de acuerdo a la metodología descrita previamente y mediante los conceptos promulgados por USDA (2017).

2.4.1 Calidad superficial del suelo

A continuación, dos tablas descriptivas sobre el proceso:

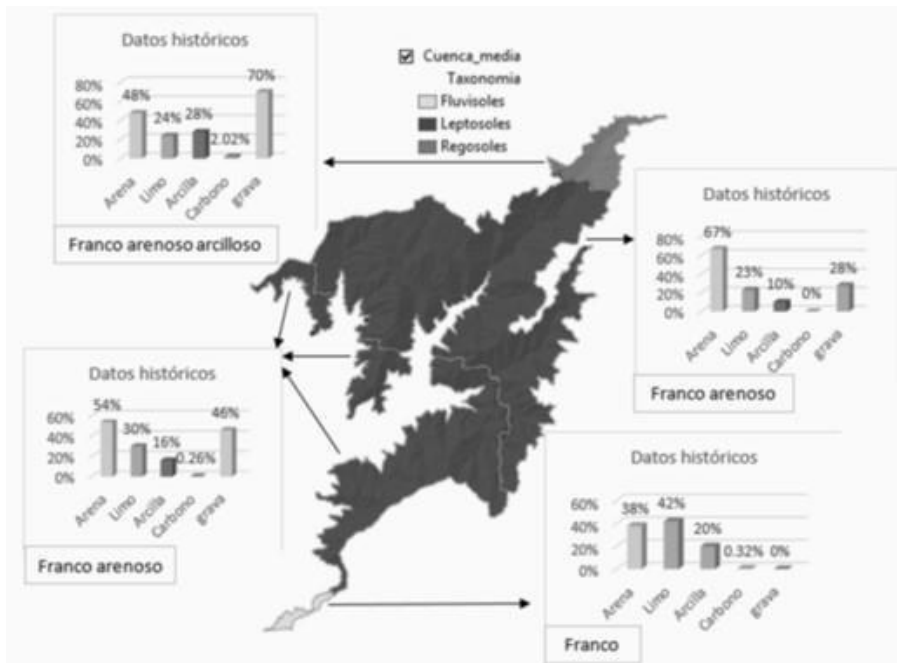
Tabla 17. Calidad superficial del suelo

Código de muestra	pH	Conductividad (uS/cm)	Textura del suelo	Materia orgánica
D1	6.11	250	Arcilloso limoso	
D2	6.73		Arenoso franco	19.7383
D3	6.99	291	Arenoso franco	16.3483
D4	6.42	271	Arcilloso limoso	18.4508
D5	6.87	312	Arenoso	
D6	7.09		Arcilloso limoso	11.0841
D7	6.59	296	Franco arenoso	04.5578
D8	7.94	105.4	Arcilloso limoso	04.0947
D9	6.50	333	Arcilloso arenoso	03.9367
D10	5.58	62	Arcilloso arenoso	07.9922
D11	4.92	247	Arcilloso arenoso	03.4417
D12	6.68	73.9	Arenoso	20.3525
D13	5.28	33	Franco arenoso arcilloso	05.9010
D14	5.25	32.9	Franco arenoso	06.9444
D15	7.5	204	Arcilloso limoso o arcilloso	05.9715
D16	6.8	200	Franco arenoso	
D17	7.25		Arenoso franco	01.3015
D18	7.25		Arcilloso arenoso	07.4827
D19	7.29	221	Franco arenoso arcilloso	06.6457
D20	7.28	277	Arcilloso arenoso	10.7580
D21	7.00	68.4	Arcilloso arenoso	07.8258
D22	7.33		Arenoso franco	04.5724

Los valores del grado de acidez y salinidad del suelo, tomadas en campo muestran un valor óptimo para el suelo.

2.4.2 Análisis del Factor Suelo

Figura 10. Textura y tipo de suelo (HWSD)



Descripción general:

A continuación, se muestra una tabla detallada del mapa N,

Tabla 18. Textura y tipo de suelo

gridcode	Proporción territorial	Tipo de suelo	Clase textural
1	61.48%	Franco Arenoso Arcilloso	Fina
2	7.65%	Franco Arcilloso	Fina
3	25.03%	Franco	Media
4	5.84%	Franco Arenoso	Gruesa

Se extrajeron los valores k para la aplicación del factor.

Figura 11. Textura de suelo (SOILDGRIDS)

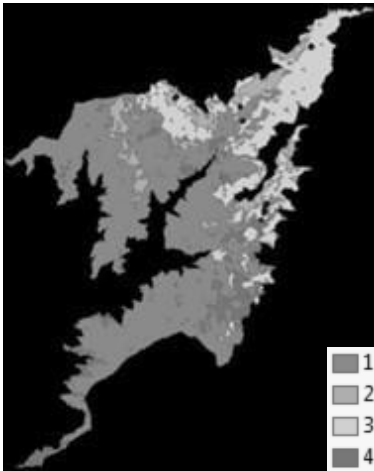


Tabla 19. Comparación entre las muestras del campo, HWSD y soilgrids.

Cód.	HWSD	Textura Soilgrids	Textura (campo)
D1	Franco arenoso arcilloso	Franco	Arcilloso limoso
D2	Franco arenoso arcilloso	Franco	Arenoso franco
D3	Franco arenoso arcilloso	Franco	Arenoso franco
D4	Franco arenoso arcilloso	Franco	Arcilloso limoso
D5	Franco arenoso arcilloso	Franco	Arenoso
D6	Franco arenoso arcilloso	Franco	Arcilloso limoso
D7	Franco arenoso	Franco Arenoso Arcilloso	Franco arenoso
D8	Franco arenoso	Franco Arenoso Arcilloso	Arcilloso limoso
D9	Franco arenoso	Franco	Arcilloso arenoso
D10	Franco arenoso	Franco	Arcilloso arenoso
D11	Franco arenoso	Franco	Arcilloso arenoso
D12	Franco arenoso	Franco arcilloso	Arenoso
D13	Franco arenoso	Franco	Franco arenoso arcilloso
D14	Franco arenoso	Franco	Franco arenoso
D15	Franco arenoso	Franco arenoso arcilloso	Arcilloso limoso
D16	Franco arenoso	Franco arenoso arcilloso	Franco arenoso
D17	Franco arenoso	Franco arenoso arcilloso	Arenoso franco
D18	Franco arenoso	Franco	Arcilloso arenoso
D19	Franco arenoso	Franco	Franco arenoso arcilloso
D20	Franco arenoso	Franco	Arcilloso arenoso
D21	Franco arenoso	Franco	Arcilloso arenoso
D22	Franco arenoso	Franco arenoso	Arenoso franco

Claramente se puede notar una desigualdad entre los 3 escenarios.

Es necesario utilizar más evidencias y otros tipos de tratamientos, tanto para las imágenes satelitales. Diferentes fuentes importantes como el SENAMHI, utilizan el soilgrids para predecir sus mapas. La discusión sobre este apartado se verá al finalizar los resultados. Se mostrarán dos mapas; uno para el factor K y el otro

para el índice de costra propuesto por la FAO.

Se utilizaron los valores k a partir de soilgrids y HWSD.

Figura 12. Factor K

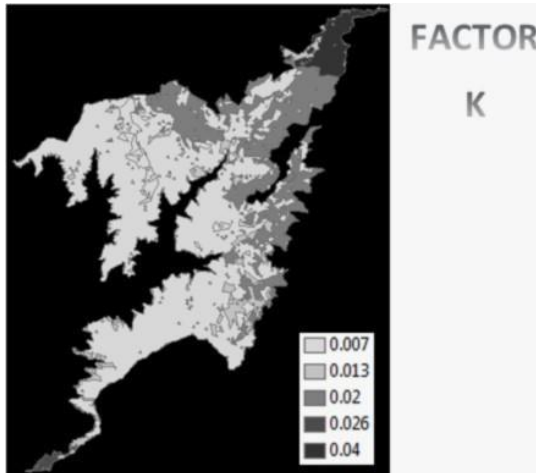
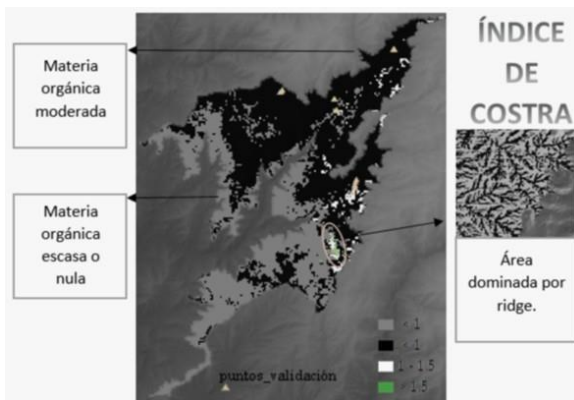


Figura 13. Índice de costra

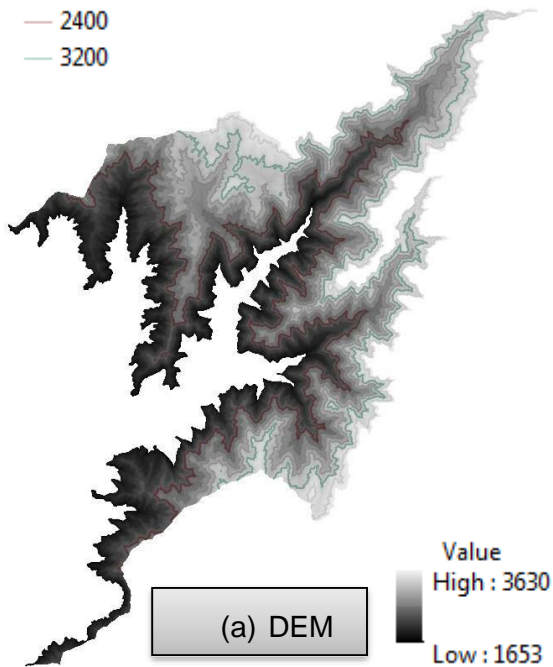


Los puntos de validación sirvieron para concordar la materia orgánica del campo con el soilgrids. Es preciso indicar que la correlación se estableció para las zonas de Huamantanga y Canta (por obrajillo). La zona marcada o de color verde (en Arahua) menciona que existe formación de costra en el suelo.

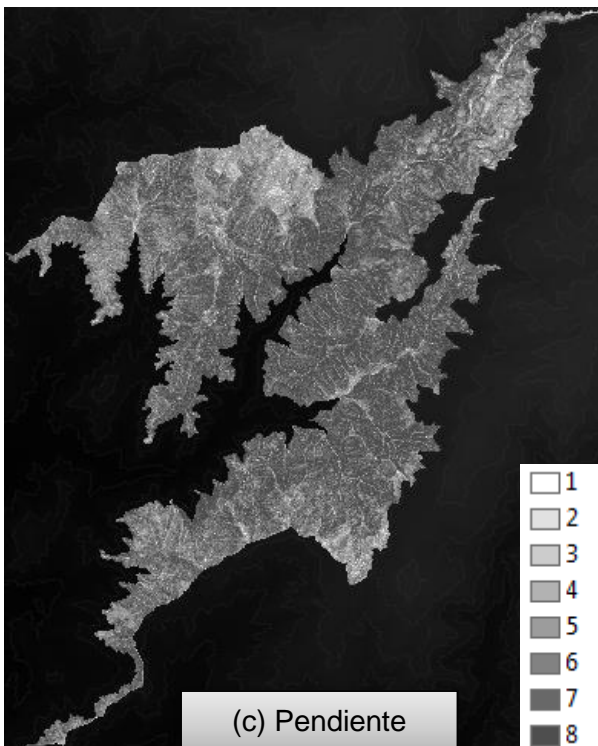
2.4.3 Caracterización y modelado topográfico

El modelo de elevación digital, fue descargado de Alos Palsar a través de su página oficial en donde se encuentran los DEMs desde el año 2006 hasta el 2011 ya corregidos topográficamente. A continuación:

Figura 14. DEM Y PENDIENTE



Granule information: ALPSR27			
	2496940	0016950	2496950
Acquisition Date:	2011-03-07	2011-02-18	2011-03-07
Path:	111	110	111
Frame:	6940	6950	6950
Absolute orbit:	27249	27001	27249
Spatial Resolution: 12.5			
Format: GeoTIFF			
Correction: terrain correction Hi-Res			
Ascending			
Beam mode: FBS			
(b). Adquisición del DEM			



Value	% de pendiente	Descripción del terreno	% de área
1	< 3	Llano	0.089
2	3-7	Suave	0.470
3	7-12	Mediamente accidentado	1.422
4	12-20	Accidentado	4.110
5	20-35	Fuertemente accidentado	13.520
6	35-50	Muy fuertemente accidentado	20.408
7	50-75	Escarpado	34.786
8	>75	Muy escarpado	25.196
(d). Rangos de pendientes, citados por MINAGRI, 2011.			

Naturalmente se aplicó un tratamiento posterior para evaluar sus características morfométricas, siendo:

Plano: Todos los puntos adquieren la misma elevación.

Pico: Punto que se encuentra en una convexidad local en todas las direcciones con respecto a los puntos circundantes.

Ridge: Punto que se encuentra en una convexidad local siendo ortogonal a una línea sin convexidad / concavidad.

Pass: Punto que se encuentra en una convexidad local que es ortogonal a una concavidad local.

Canal: Punto que se encuentra en una concavidad local siendo ortogonal a una línea sin convexidad / concavidad.

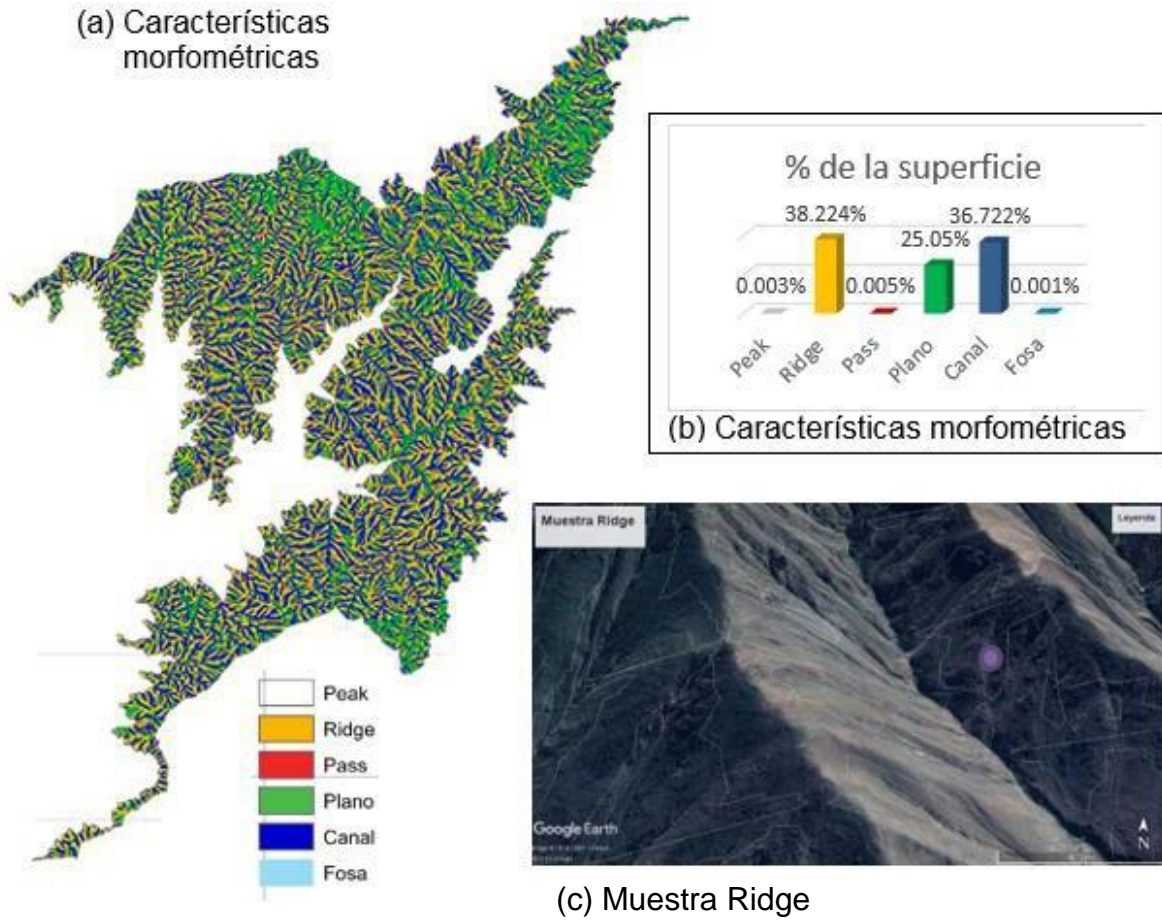
Fosa: Punto que se encuentra en una concavidad local en todas las direcciones.

Conocido como técnicas aplicado al kernel. En donde en primera instancia se encarga de evaluar la curvatura de la superficie y la pendiente, para ello se puede utilizar la convolución a través de la transformada de Fourier o buscando otros métodos.

La convolución primordialmente se basa en:

$$(h * g)(x) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)g(x - t)dt$$

Figura 15. Características morfométricas y muestra ridge

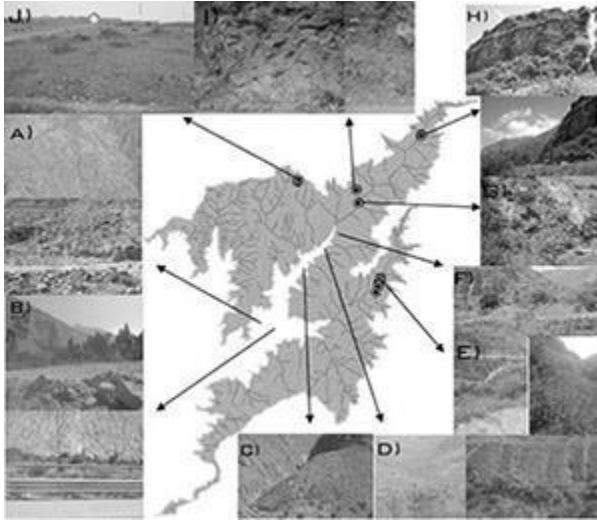


De esta forma podemos ver las zonas propensas a una erosión, marcan hasta un máximo de 38.22 % del territorio, tal como muestra la figura 15.

Esto nos da claramente las ubicaciones de las zonas que podrían ser susceptibles a una erosión.

En la figura 15 (c) es una imagen adaptado de google earth con fecha de adquisición 6/3/2017. En el cual el punto morado muestra una ubicación en la zona: con proyección UTM y WGS 1984 Zona 18 Sur 312993.64m E y 8713933.98m S y con elevación: 2319 m.

Figura 16. Morfología.



La Figura 16 contempla las zonas con cobertura vegetal y sin cobertura. Pudiéndose apreciar que las zonas bajas presentan suelos desnudos, mientras en la parte siguiente, cobertura.

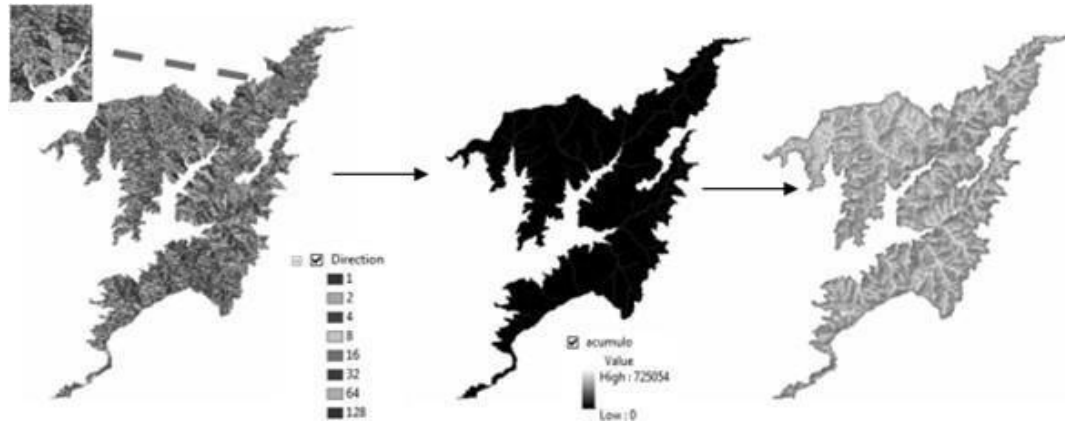
- (a) Suelos desnudos y pendientes pronunciadas
- (b) Suelos desnudos, poca vegetación, pendientes pronunciadas
- (c) Erosión por gully, poca vegetación, pendientes moderadas
- (d) Agricultura, manejo de prácticas de conservación
- (e) Agricultura, vegetación y sin vegetación, pendiente media a moderada
- (f) Vegetación o sin vegetación, pendientes fuertes
- (g) , (h) e (i) Mucha vegetación o sin vegetación y pendientes fuertes
- (j) Mucha vegetación, pendiente alrededor del 0%

Se puede observar claramente que la mayor susceptibilidad se encuentra en el noreste de la cuenca media del río chillón debido a las pendientes pronunciadas alrededor de los montículos o montañas.

Ahora mostraremos una parte de la red hidrológica apoyada con nuestro DEM

Para esto direccionalaremos el flujo y luego la acumulación presente en la red para enseguida calcularlo. Tal como muestra la figura 17.

Figura 17. Dirección, acumulación y red hidrológica



La red hidrológica:

Como se puede observar existe una distorsión con respecto a la red de prueba generada por nuestro DEM (la de color negro). La de color indicolite green es la representada por la del IGN.

Con respecto a la red hidrológica, trabajaremos con la del IGN ya que se asemeja más a la verdadera.

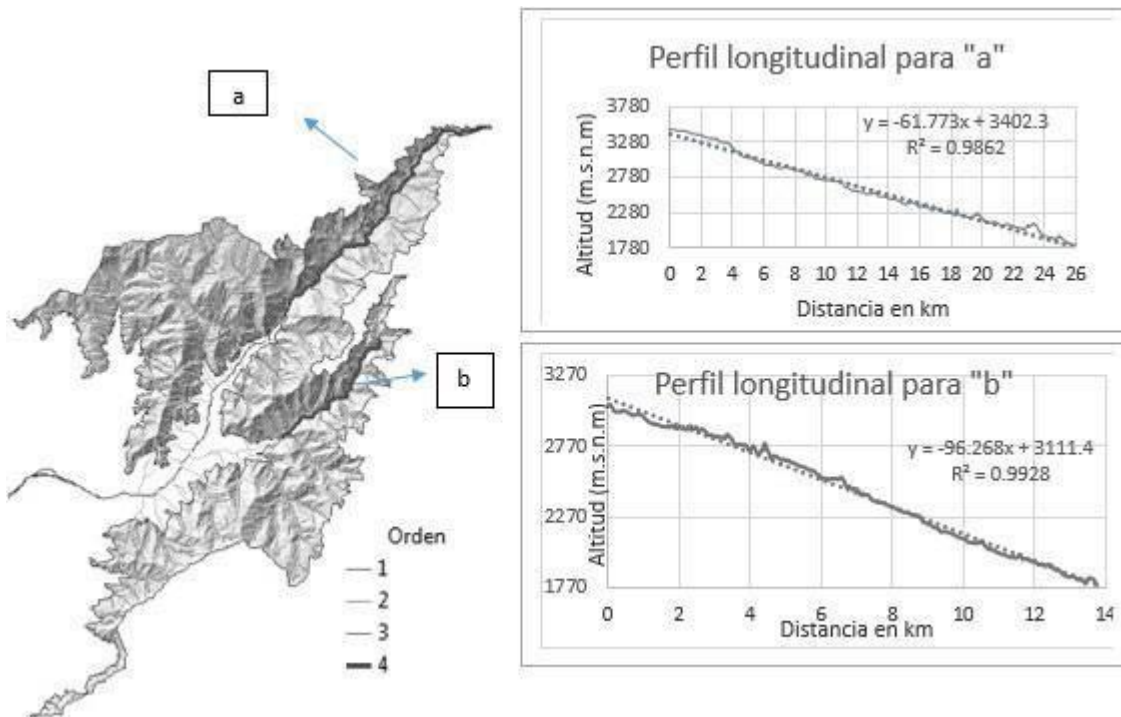
Por el método Strahler, se obtiene:

Ahora calcularemos a y b, provenientes de orden de clase 4.

Tabla 20. Perfil longitudinal

Orden 4	a	b
Longitud (km)	26.748	13.758
Pendiente promedio del cauce (%)	20	34.82

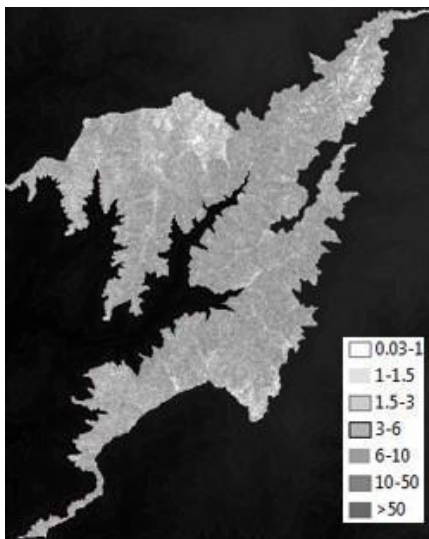
Figura 18. Red hidrológica de la cuenca media



La clasificación del orden ha sido tomada a base de los datos proporcionados del IGN, de la cuenca del río Chillón.

Pasaremos a calcular el factor topográfico, al factor LS:

Figura 19. Factor LS para la cuenca media



2.4.4 Modelado de la agresividad climática

Quizás una de las más laboriosos y de las más importantes.

Primero presentaremos las estaciones del SENAMHI con las que trabajaremos. Se prevé utilizar 20 años en total, a partir de los periodos; 92 al 2011:

:

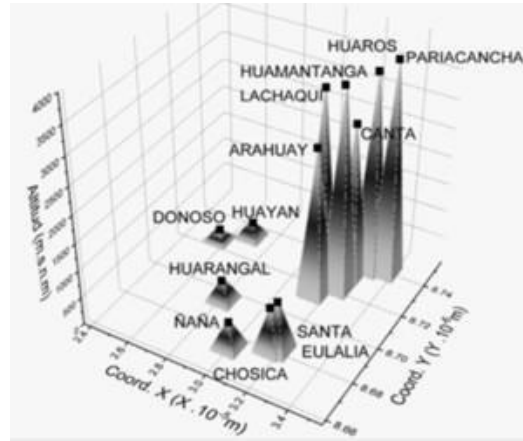


Figura 20. Estaciones Pluviométricas

Estación	Longitud	Latitud	Altitud	Periodo de estudio disponible
Canta	76° 37' 32.5''	11° 28' 16.37''	2818	92 al 2011
Huarangal	77° 0' 37.34''	11° 47' 57.16''	404	92, 94 (abr.- dic.), 95 (en.- my, ag-dic.), 2004 (En., febr., abr.- dic.), 2005 (en. abr., jun.- set., nov., dic.), 2007 (en.- set., dic.), 2008 (en.- mzo., my.), 2009 (en.- jun., set., oct.), 2010 (jul-dic.) y 2011
Arahuay	76° 42' 0''	11° 37' 0''	2800	92 al 2011
Pariacan*	76° 30' 9.74''	11° 23' 36.84''	3842	92 al 2011
Huamant*	76° 45' 0''	11° 30' 0''	3392	92 al 2011
Lachaqui	76° 37' 42.38''	11° 33' 11.78''	3670	92 al 2011
Huaros	76° 34' 32.89''	11° 24' 26.75''	3569	92 al 2011
Donoso	77° 14' 8.39''	11° 31' 15.59''	127	92 al 95, 96 (En-Abr., jun-dic.), 97 al 2003, 04(En-Abr., jun-oct., nov-dic.), 05 al 2011.
Huayan	77° 7' 19.22''	11° 27' 10.11''	346	92 (En-may., jul-dic), 93, 94(En., Mar-dic), 95 al 03, 04(En-Abr., jun-dic), 05, 06(En-mar., may-dic), 07(En., may-dic), 08, 09, 2010(En-jun., ag-dic), 2011.
Ñaña	76° 50' 31''	11° 59' 14.8''	543	92, 93(En., nov-dic), 94, 95, 96(En-abr., jun- dic.), 97 al 2001, 02(En-ag., oc-dic.), 03 al 10, 11 (En- jun., ag-dic).
Chosica	76° 41' 23.02''	11° 55' 47.38''	867	92(En-may., jul-dic.), 93 al 96, 97(En.), 98 (Febr-dic.), 99 al 08, 09(En-may., jul-dic.), 10 y 2011.
Santa Eu*	76° 39' 59.9''	11° 55' 12''	970	92 al 2011

Tabla 21. Estaciones de precipitación

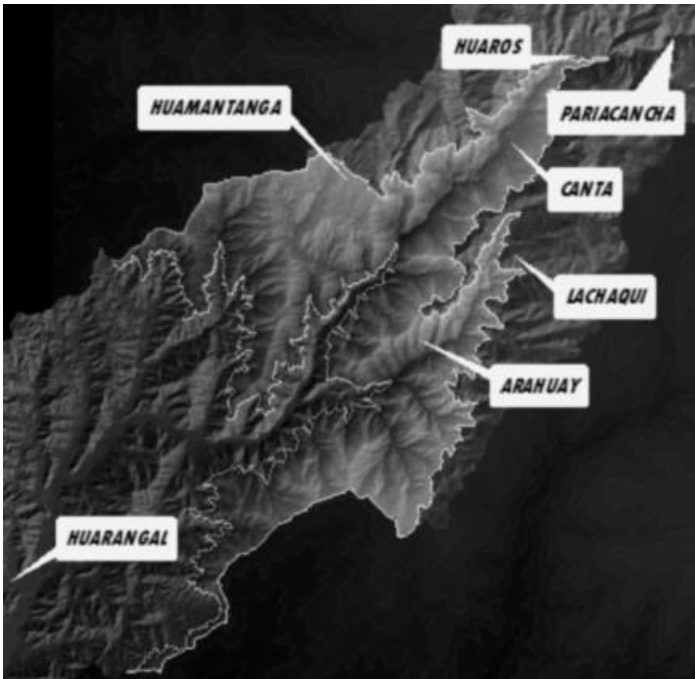
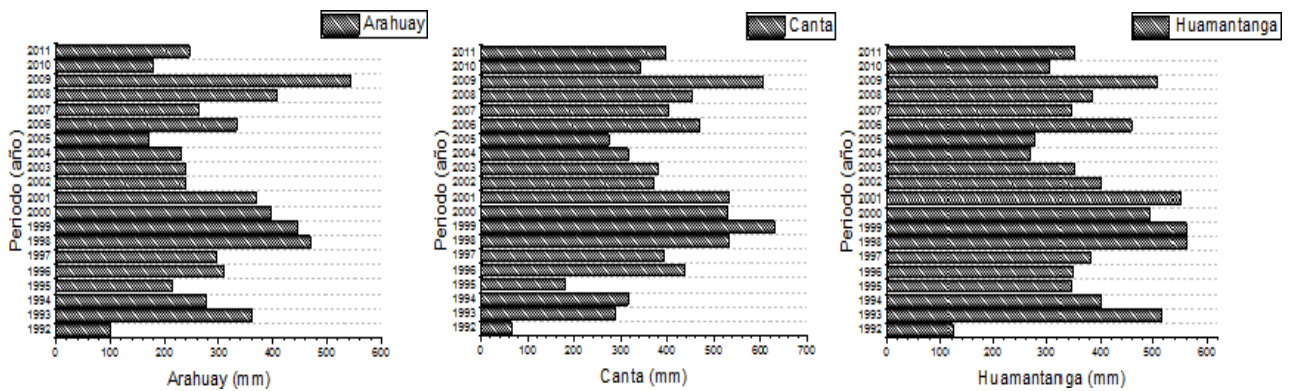


Figura 21. Estaciones alrededor de la cuenca media

Como es sabido, existen bastantes interrupciones con respecto a la estación Huarangal y vecinas, suena lógico evaluar técnicas para completar los datos restantes. Primero observemos las siguientes gráficas evaluadas con los datos disponibles:

Comportamiento de las precipitaciones a través del tiempo:

Figura 22. Comportamiento de las estaciones



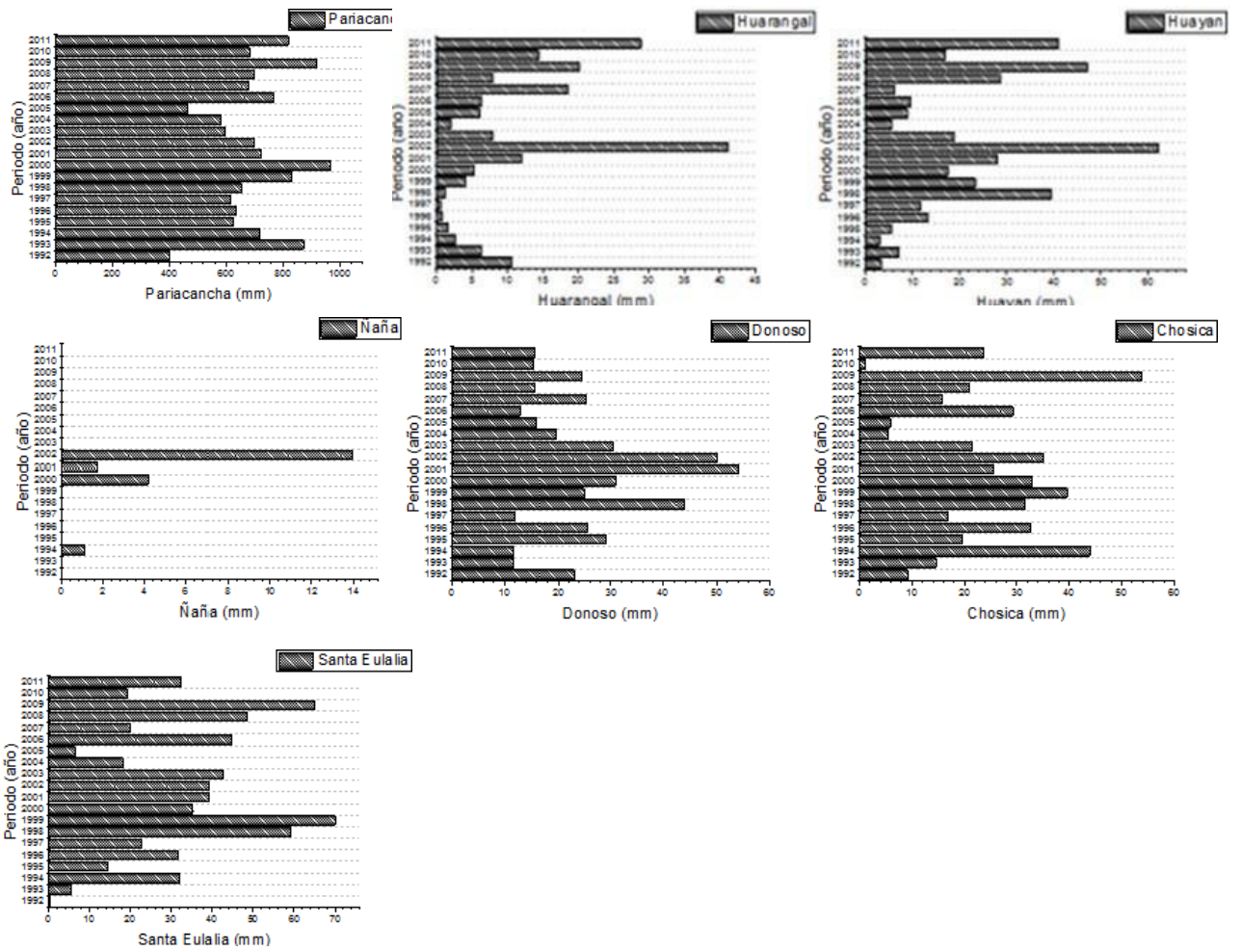
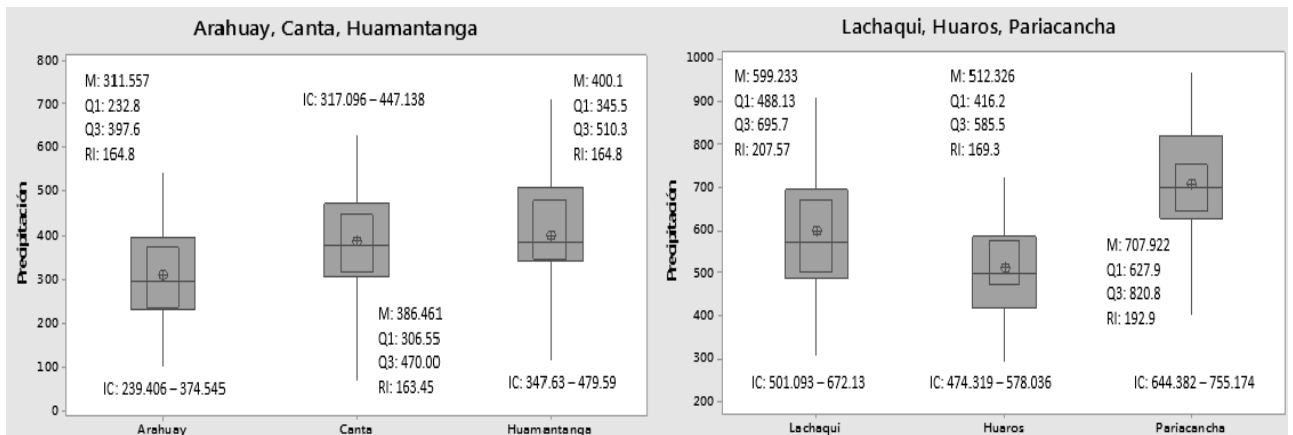
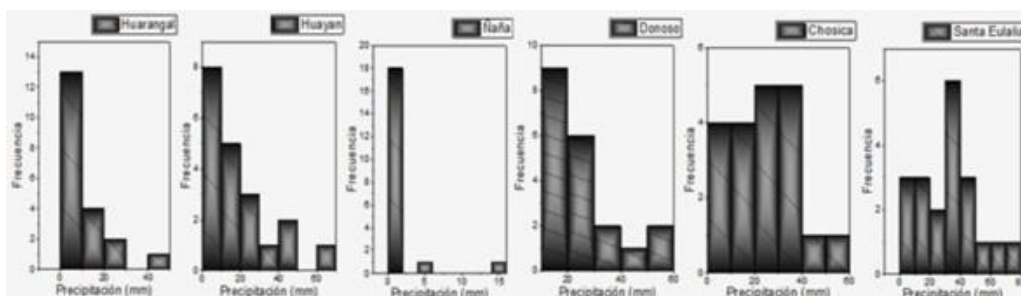


Figura 23. Diagrama de cajas para las estaciones



M: media. IC: 95% mediana. RI: Rango intercuartil

Figura 24. Frecuencias de las estaciones



¿Qué es lo que está sucediendo con esto? De manera concisa, la probabilidad con la que se distribuye se debe referir a un estudio detallado para albergar este tema.

Se procedió a evaluar las estaciones restantes con los periodos establecidos y se completó los datos con el método de regresión lineal múltiple, en caso que no pueda suceder así, se evaluara con el método por razones promedio.

Los datos atípicos, también se corrigieron con la misma técnica a fin de mantener la distribución. También se determinaron las correlaciones de estación a estación; es decir, el número de combinaciones ($\binom{12}{2}$) Asimismo, las ecuaciones, los coeficientes de determinación, de correlación, ajustados, los años y los meses estimados se mostrarán en el anexo A.

En el anexo A, se podrá interpretar la probabilidad de las estaciones, así como los resultados de los análisis, entendiendo que las estaciones están bien calibradas.

Senamhi, menciona que existe una buena correlación con CHIRPS, marcando un alto énfasis en la costa del Perú. Ha sido de referencia esto para aplicar R.

7 de las estaciones comprenden la cuenca del río Chillón. Se aplicó la regresión de mínimos cuadrados, la regresión ponderada geográfica y el método cokriging.

Sin embargo, existieron algunas incertidumbres con respecto a algunos datos de las estaciones analizadas para el modelado. Los resultados también se muestran en el anexo A.

CHIRPS y el modelo topográfico justifican el modelo.

Evidentemente las zonas más susceptibles a erosión podrían marcar alrededor de la estación Pariancancha y vecinos. A continuación:

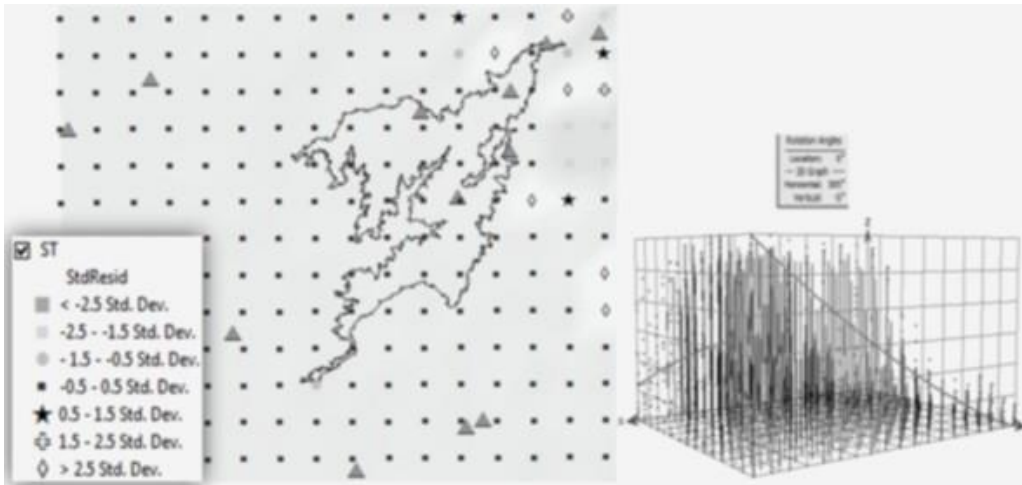


Figura 25. Tendencia

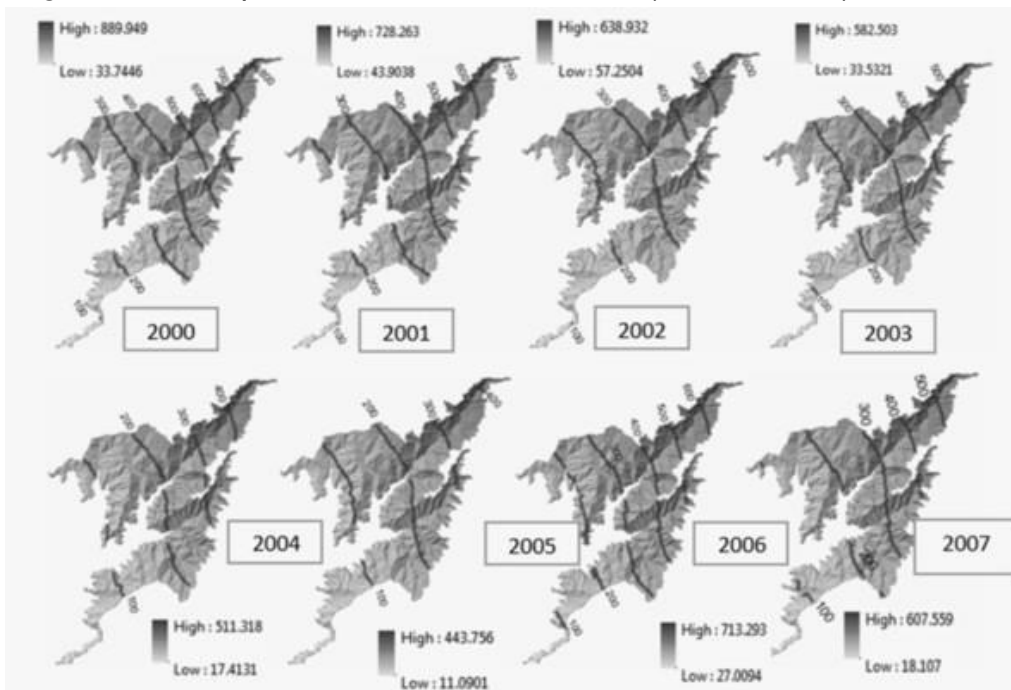
Ahora presentamos:

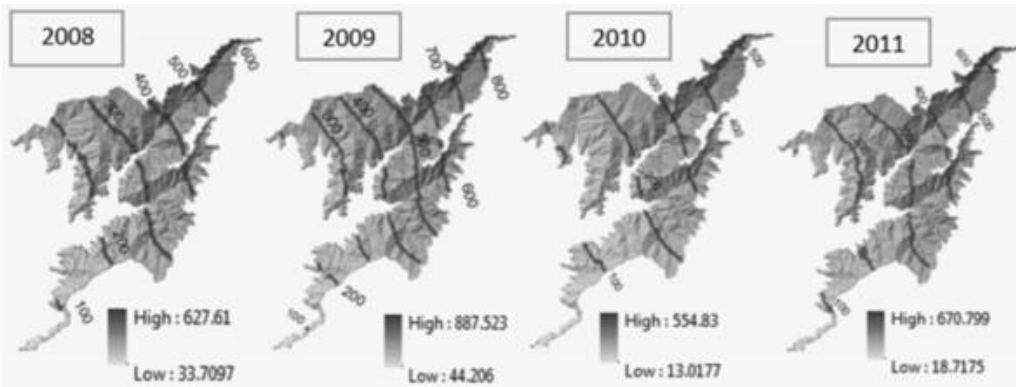
Se puede notar la tendencia de los datos.

Se interpretaron otros parámetros como el nugget, partial sill, y range.

La variabilidad anual de la precipitación para los periodos del 2000 al 2011.

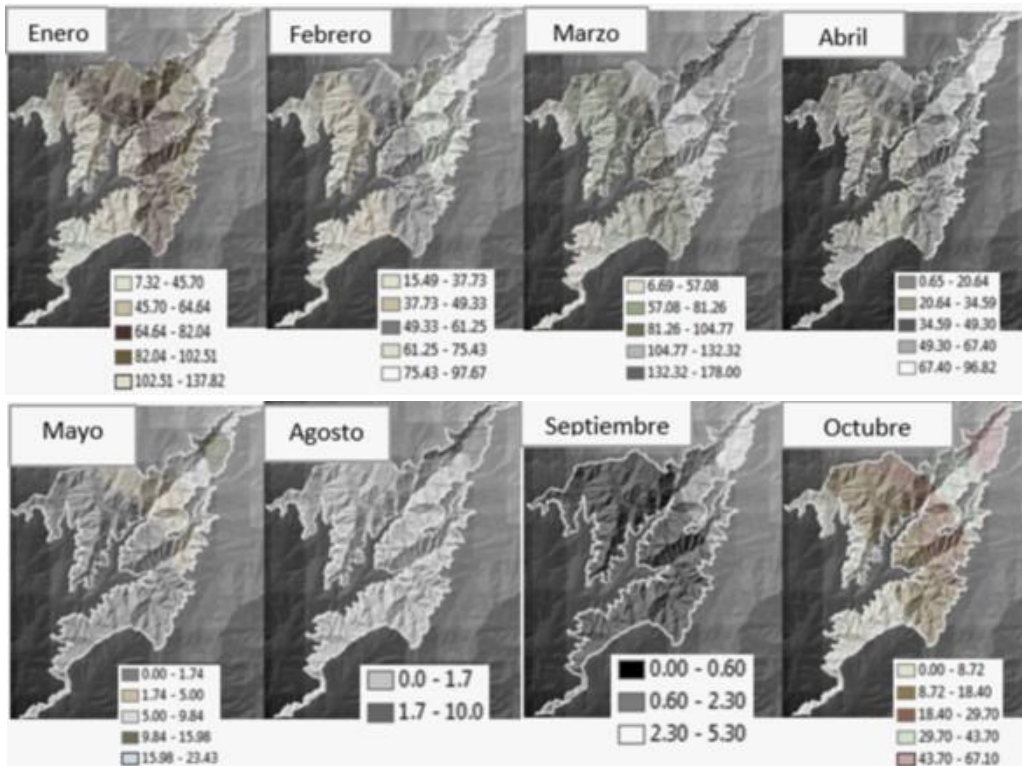
Figura 26. Precipitación de la cuenca media (2000 al 2011)

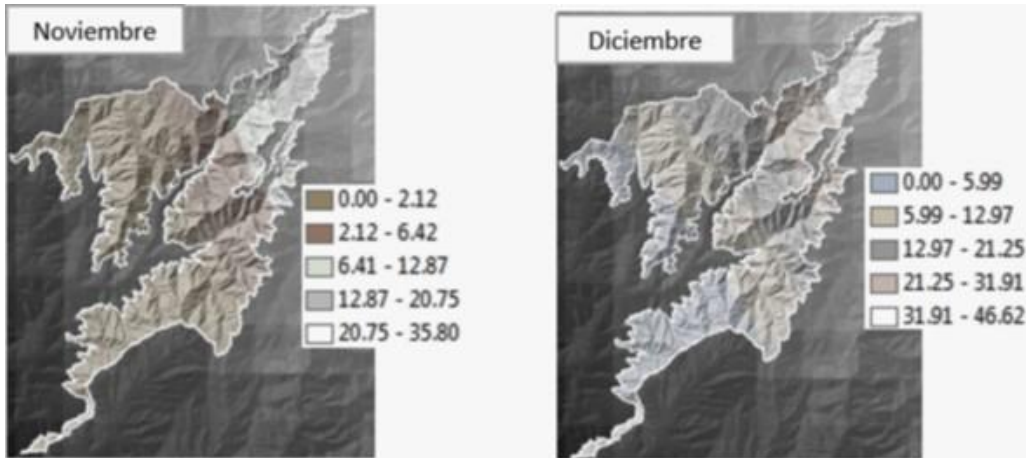




La variabilidad de la precipitación durante todos los meses del 2018, excepto 2.

Figura 27. Precipitación durante algunos meses del 2018

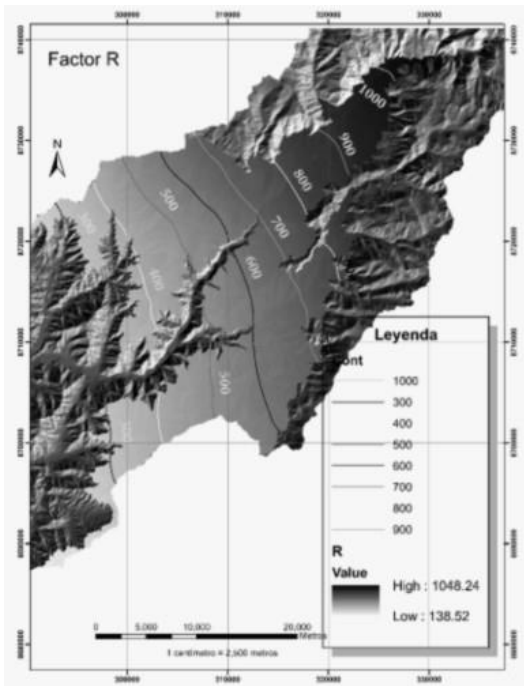




Nota: Los mapas mensuales de precipitación mostrados siguen una distribución a escala mayor por lo que será recomendable solo tener en cuenta los valores mínimos, máximos e intermedios.

A continuación, el factor R, los resultados de análisis se encuentran en el anexo A.

Figura 28. Factor R de la cuenca media.

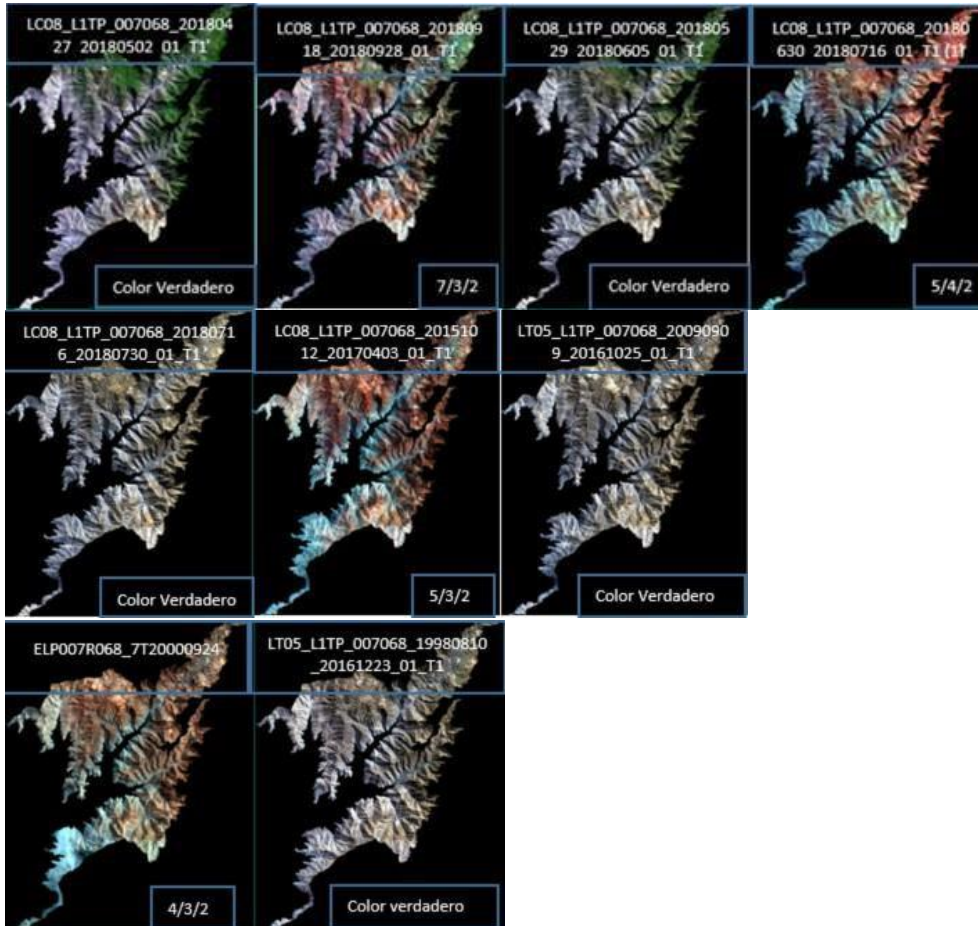


2.4.5 Análisis de la cobertura espacial y temporal

Las imágenes espectrales fueron tomadas del OLI-TIRS, y TM. No se tomaron del +ETM debido a que el 31 de mayo del 2003 sufrió un percance.

A continuación, las imágenes descargadas y modificadas para la zona de estudio.

Figura 29. Data de la cobertura espacial (Landsat)



Ha sido explícito los tipos de tratamientos que recibieron las imágenes. Para este apoyo de clasificación se tuvo que visitar la cuenca media y fotografiar los lugares con una cobertura ligeramente diferente, se tiene que resaltar que el tipo de reflectancia aparente a la que se continuó trabajando, llego a valores mixtos. Por una parte, a los miembros resultantes se aplicó un enmascaramiento para la posible disminución del ruido. Luego se mostrará la clasificación e índices de cobertura para los periodos correspondientes al año 2000, 2009, 2015 y 18.

También se mostrará en primera instancia la clasificación otorgada por global land cover.

Es importante informar que el año 2018 sugiere un detalle un poco profundo para el análisis de la degradación.

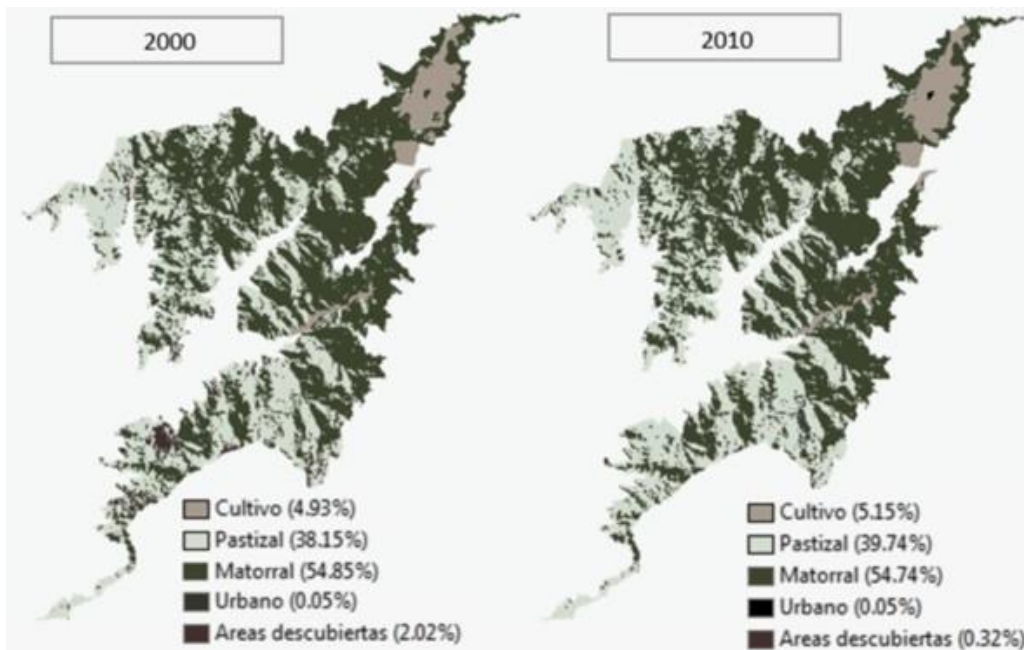
Se mostrará una tabla adjunto referido a la clasificación:

Tabla 22. Clasificación de la cobertura

Tipo de Clasificación	Descripción
Cultivo	Referido a la agricultura, horticultura y jardines, incluyendo frutales, etc.
Pastizal	Terrenos cubiertos por césped natural con cobertura superior al 10%
Matorral	Tierras cubiertas con arbustos con una cobertura superior al 30%.
Urbano	Tierras modificadas por las actividades humanas.
Area descubierta	Tierras con una cobertura vegetal inferior al 10%, incluidos desiertos.
Desierto costero	Area sin cobertura vegetal.
Vegetación escasa	Cobertura muy baja o nula.
Vegetación	Incluye matorral y pastizal.

Tabla Elaboración propia y adaptada de globeLand30, 2014 y MINAM, 2015.

Figura 30. Global Land Cover



Para el tipo de clasificación con el que se efectuó, se estimó de acuerdo al índice de vegetación (NDVI). Así mismo se contrarrestará con otros factores de gran importancia. Se ha elegido el año 1998 porque no contiene nubes y se

reemplazará por el 2000 (la de nubes). Así mismo la variabilidad de los índices de vegetación normalizada se encuentran en el anexo C, que su parte se incorporó al LC08_L1TP_007068_20130904 _ 20170502_01_T1.

Para el propósito, ha sido de relevancia estudiar los meses de septiembre a octubre ya que lo que estamos estimando tiene que ver más con el índice de vegetación que con el tipo de clasificación. Se tiene que mencionar que estos meses, son secos.

Así mismo, se mostrará el mes de abril, mayo, junio y julio en el anexo B. Desde luego más que mapas, se pedirá al lector interpretarlos para su correcto funcionamiento.

Con respecto al factor C, se estimará con el índice de vegetación normalizada ya que es un buen indicador y se mostrara al final.

A continuación:

Figura 31. Año 2000. Cobertura

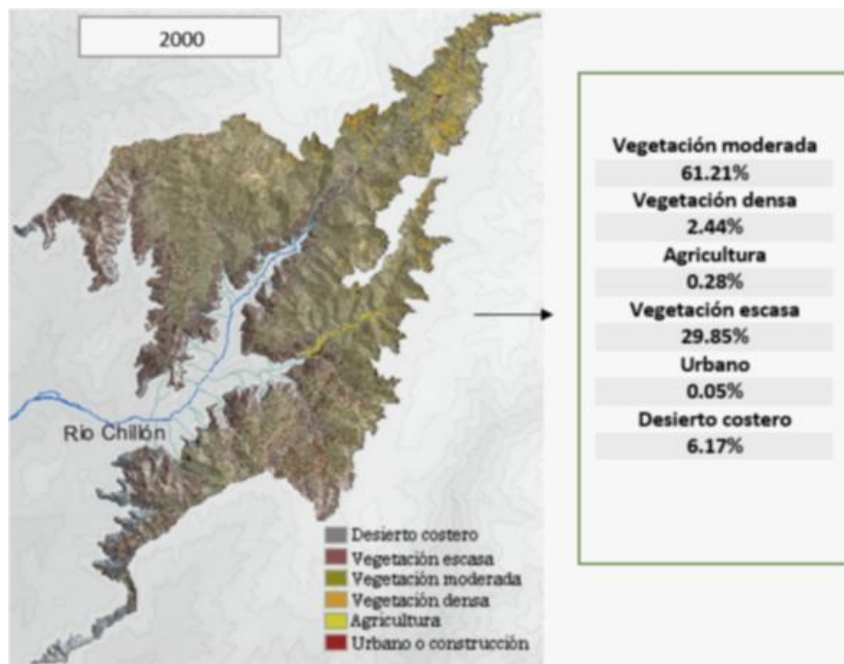


Figura 32. Año 2009. Cobertura

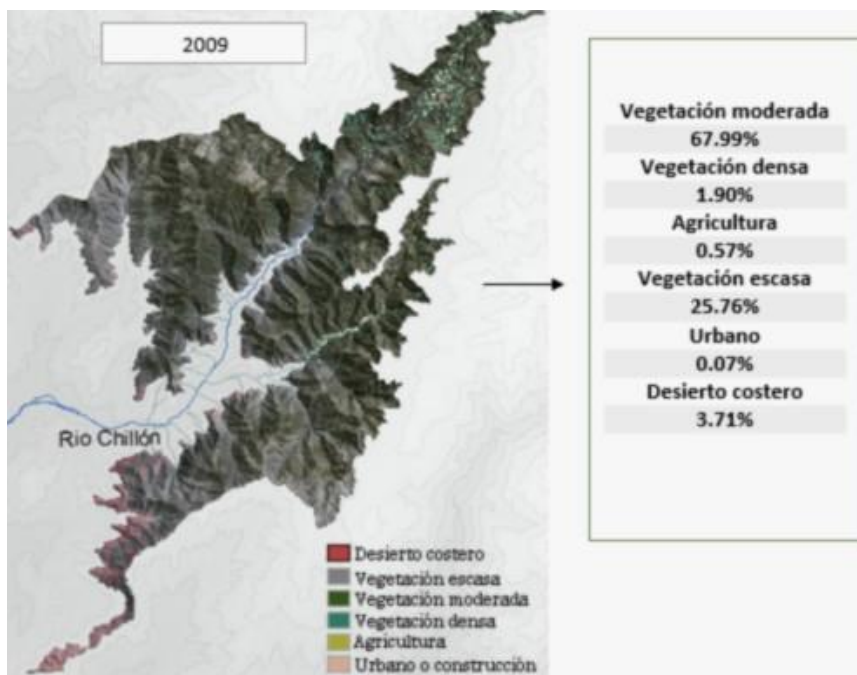


Figura 33. Año 2015. Cobertura

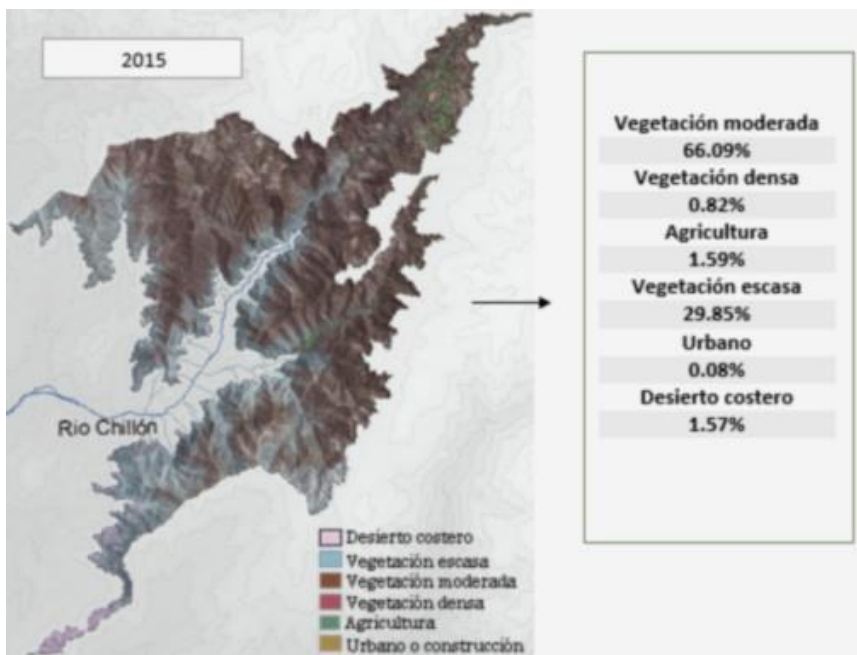
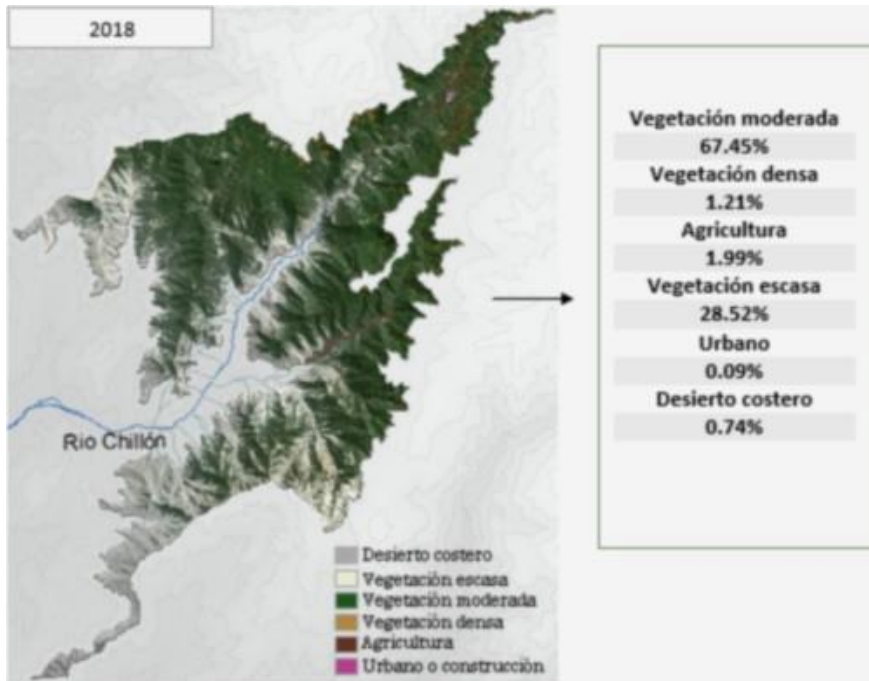
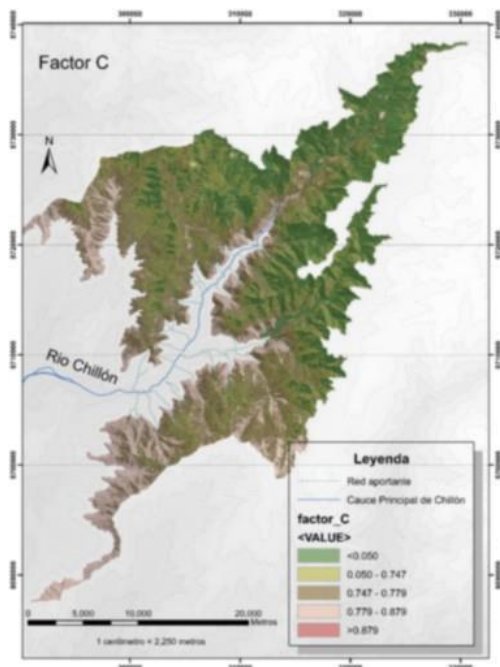


Figura 34. Año 2018. Cobertura



Factor C:

Figura 35. Factor C de la cuenca media.



2.4.6 Análisis del estudio del índice de sequía

La importancia de evaluar el índice de sequía se sustenta en la administración propia de la naturaleza. En el anexo C se encuentran los índices de área foliar para los 5 meses del 2018 que son correspondidos en la metodología.

Ahora, se presenta los índices de sequía.

Figura 36. Índice de sequía (2000-2009)

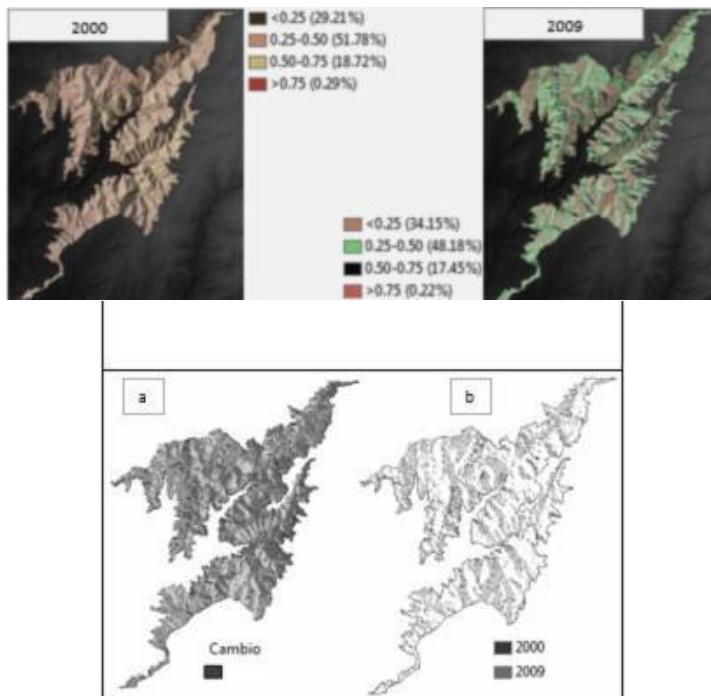


Figura 37. Índice de sequía (2009-2018)

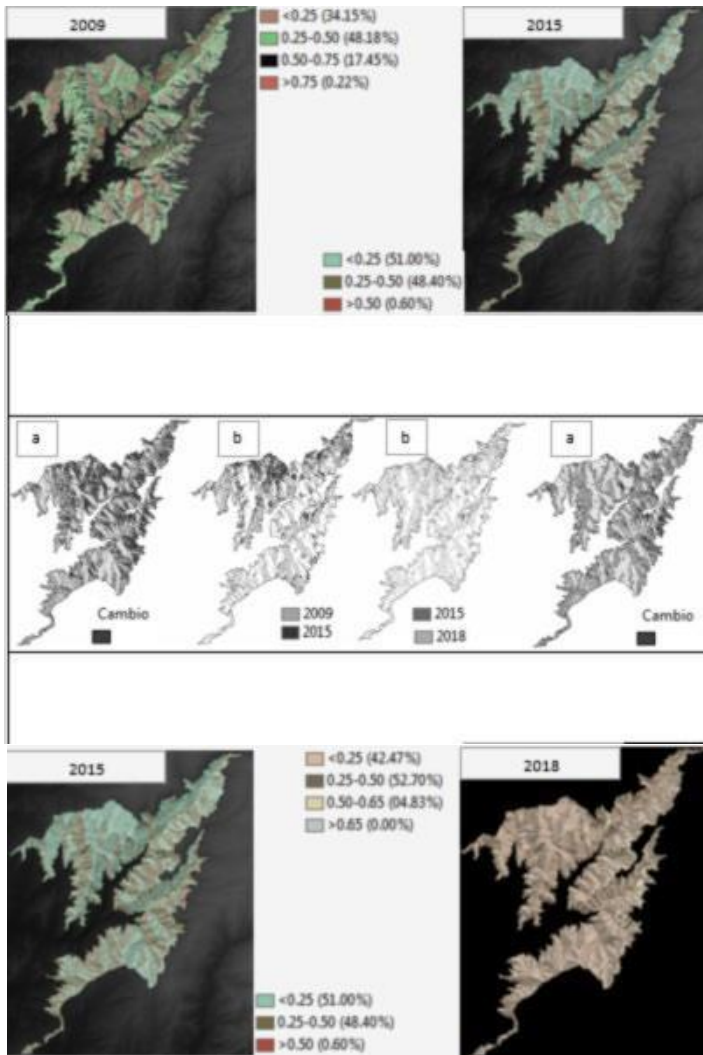
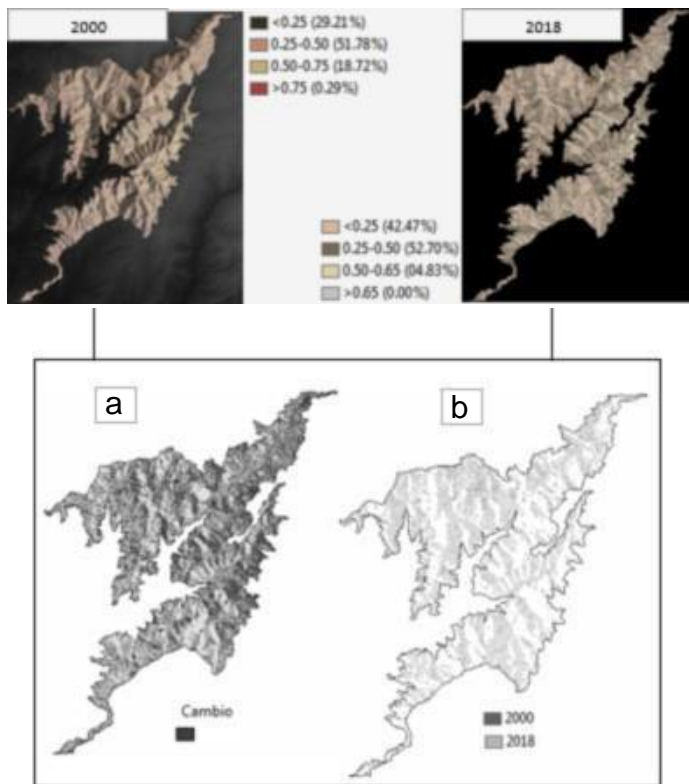
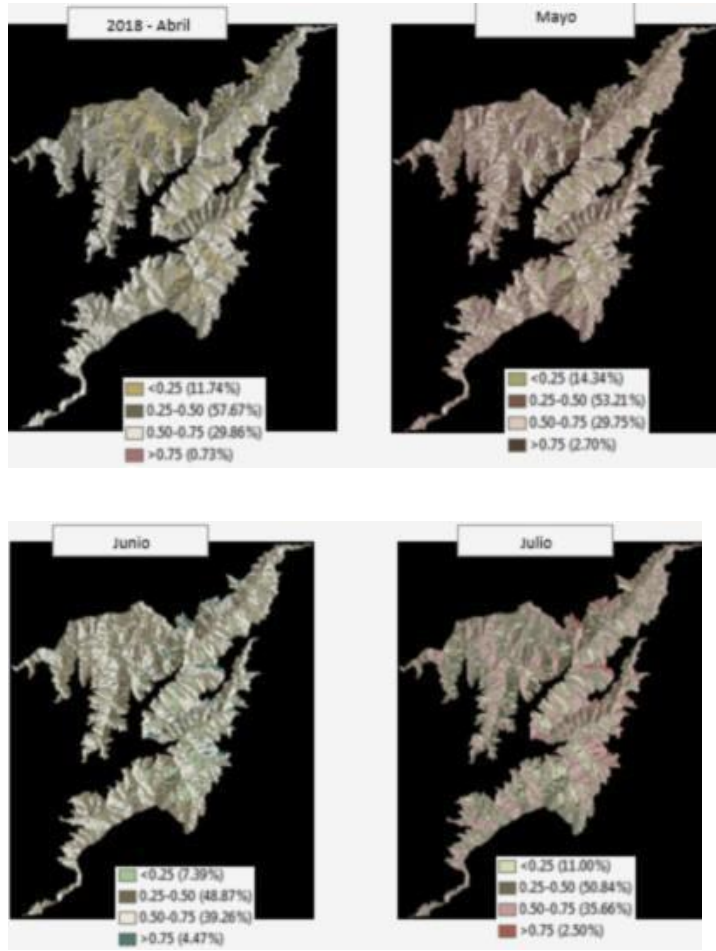


Figura 38. Índice de sequía (2000-2018)



(a) Los valores de cambio mencionan que existen variabilidad de humedad o sequía de un año al otro. (b) Mapa correspondido para un índice menor a un cuarto en donde se ve con claridad cómo se desarrolla ese mismo índice para el primer y segundo año.

Figura 39. Índice de sequía para 4 meses del 2018



2.5 Aspectos Éticos

El trabajo investigativo de esta tesis tiene como principio básico: evaluar, informar los posibles riesgos y contrastar las evidencias de campo con material informativo de otras entidades importantes como el SENAMHI. De tal forma, mostrar un resultado sólido y en concordancia con el bienestar de la sociedad. Más que aspecto político, esta tesis está orientada al trato ético, es decir; al reconocimiento de riesgos, a las técnicas presentadas como competencia, y al conocimiento para el servicio de la sociedad.

Por lo tanto, esta tesis ayuda a comprender: lo que está sucediendo con el territorio y cuáles son las variables de mayor relevancia ¿y qué hacer, para revertir lo acontecido.

En la ley del código de ética de la función pública “ley N° 27815”, esta tesis respeta el artículo 2, 3 y 6 de la función pública.

III. RESULTADOS

3.1 Factor R

Tabla 23. resultados R

		Estaciones	Elevación	ClimateHazard
Correlación de Pearson	Estaciones	1.000	0.961	0.947
	Elevación	0.961	1.000	0.972
	ClimateHazard	0.947	0.972	1.000

Matriz de correlación

MODELO	R	R CUADRADO	R CUAD. AJUST	ERROR ESTÁNDAR DE LA ESTIMACIÓN	DURBIN-WATSON
1	,963 ^a	0.927	0.911	124.75555	2.556

Registros del modelo

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1787468.071	2	893734.035	57.423	,000 ^b
	Residuo	140075.528	9	15563.948		
	Total	1927543.599	11			

ANOVA

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estand	t	Sig.
		B	Desv. Error	Beta		
1	(Constante)	-95.648	62.479		-1.531	0.160
	Elevación	0.201	0.105	0.728	1.915	0.088
	ClimateHazard	0.367	0.583	0.240	0.630	0.544

Coeficientes

	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación	N
Valor pronosticado	-67.3154	918.1635	412.6991	403.10929	12
Residuo	-158.15053	227.51503	.00000	112.84564	12
Desv. Valor pronosticado	-1,191	1,254	,000	1,000	12
Desv. Residuo	-1,268	1,824	,000	,905	12

Estadísticas de residuos

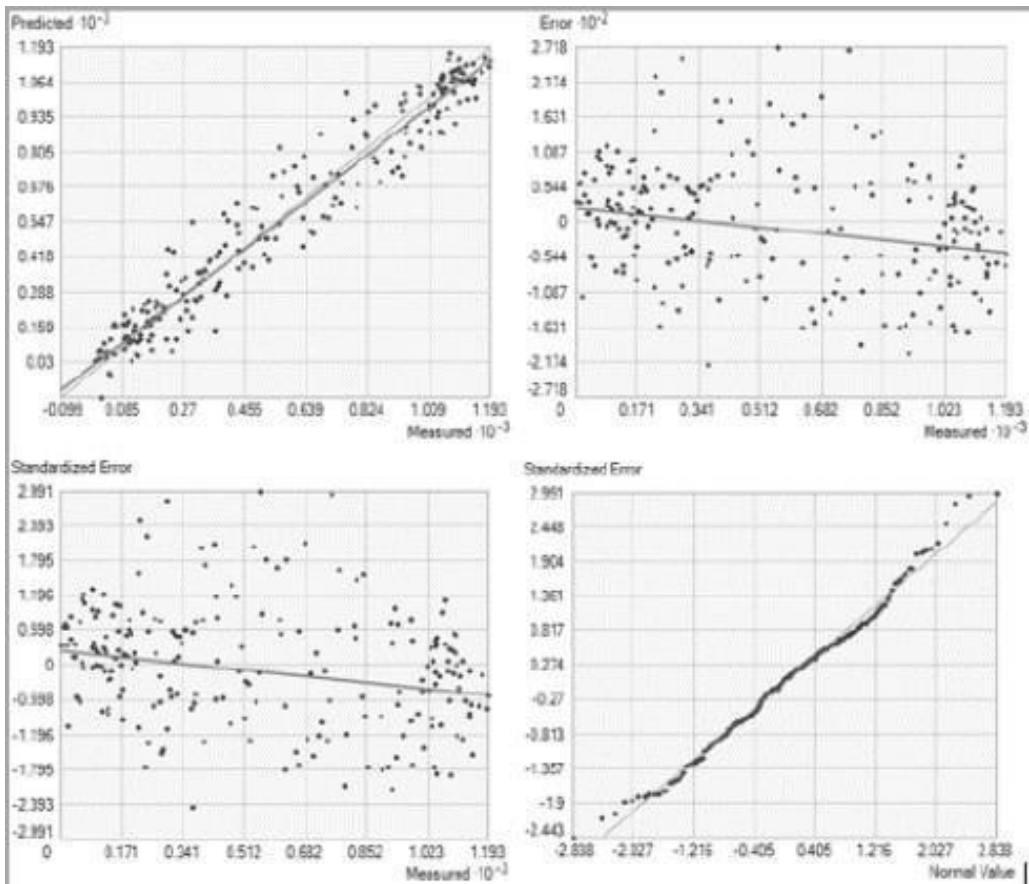


Figura 40. Resultados R

Función de regresión $-0.000635 * x +$

0.2398 Errores de predicción

Media 0.183

Media cuadrática 92.139

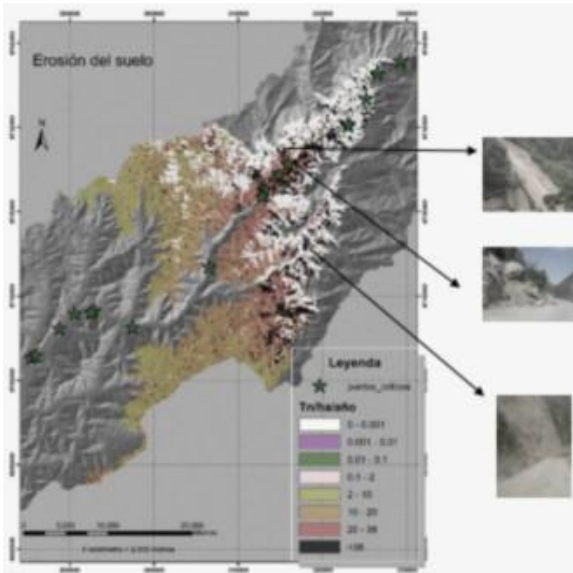
Media estandarizada 0.004

Media cuadrática estandarizada 1.005

Error estándar promedio 92.089

3.2 RUSLE

Figura 41. RUSLE



Los puntos críticos del INDECI, 2018 más tres puntos desarrollados en esta tesis (las tres imágenes que contemplan el modelo RUSLE, tomadas en abril, 2019), afirman el modelo RUSLE, estimada para el 2018.

El área de afectación, se evalúa como crítica a partir de los 38 tn/ha/año. Área total sobre la cuenca media del río Chillón en afectación: 11.7%

3.3 Índice de Sequía

El análisis de sequía temporal para los años 2000, 2009, 2015 y 2018 informó una anomalía: año 2000 (29.21%); año 2009 (34.15%); año 2015 (51.00%); año 2018 (42.47%) para las zonas áridas. Esta degradación puede deberse al cambio climático.

Durante el año 2000 al 2009, un 84% informó una constancia permanente en el índice de sequía (<.25), un 73.8% (.25 -.5), un 70.6% (.5-.75), y 31.2% (>.75).

Existiendo un incremento del cambio de 31.16 km², un decremento de: 19.44 km², 6.84, y 0.43 respectivamente para los índices mencionados.

Durante el año 2009 al 2015, un 91.2% informó una constancia permanente en el índice de sequía (<.25), un 59.9% (.25 -.5), un 2.0% (.5-.75), y 0.0% (>.75).

Existiendo un incremento del cambio de: 101.72 km², 1.39 y un decremento de: 94.06 km², y 9.04 respectivamente para los índices mencionados.

Durante el año 2015 al 2018, un 76.8% informó una constancia permanente en el índice de sequía (<.25), un 84.1% (.25 -.5), un 84.5% (.5-.75). Existiendo un decremento de cambio de 51.84 km², un incremento de: 25.54 km², y 25.55 respectivamente para los índices mencionados.

Durante el año 2000 al 2018, un 92.2% informó una constancia permanente en el índice de sequía (<.25), un 70.0% (.25 -.5), un 21.6% (.5-.75), y 0.0% (>.75).

Existiendo un incremento del cambio de 81.04 km², 7.48, un decremento de: 79.14 km², y 5.68 respectivamente para los índices mencionados.

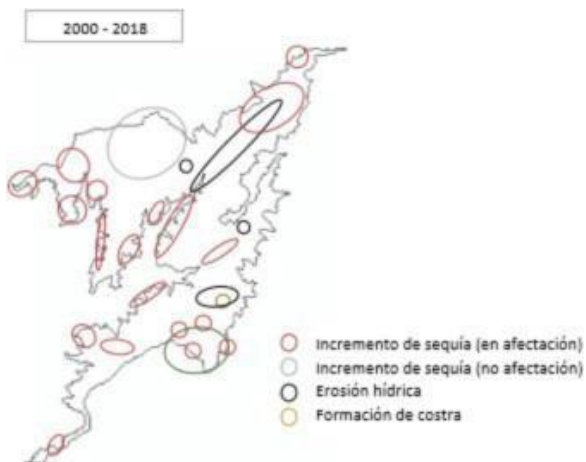
3.4 Degradación de suelos

En el análisis de cobertura del año 2000 al 2018, mediante imágenes satelitales Landsat, el nivel de cobertura fue creciendo paulatinamente a través de los años. Hubo un crecimiento en el nivel de agricultura: año 2000 (0.28%); año 2009 (0.57%); año 2015 (1.59%) y año 2018 (1.99%). La vegetación densa para esos años tuvo un decrecimiento: año 2000 (2.44%), año 2009 (1.90%); año 2015 (0.82%); año 2018 (1.21%); esto puede deberse al cambio climático que se rige, al cambio del uso de suelo o a la agricultura de secano. La vegetación moderada marco un crecimiento casi del 8% desde el 2000 y 2018. Sin embargo, la zona rural y la vegetación escasa, permanecieron similar.

En la parte baja de la cuenca media, disminuyó el desierto costero, alrededor de un 5% desde el 2000 al 2018, sobre todo en el noreste del distrito de Carabayllo y en la parte baja de Huamantanga.

Área de afectación estimada por índice de costra: 0.28% (ubicada en Arahuary)

Ilustración 42. Degradación (2000 - 2018)



IV. DISCUSIÓN

- † La información proveniente del HSWD y del soildgrids no muestran una estimación clara para la cuenca media. Sin embargo, sugiero evaluar un nuevo modelado de la erodabilidad.
- † Las capas temáticas del globalcoverland30 fueron tomadas para verificar si se puede utilizar directamente en el modelado. Incluso se tomaron capas del MINAM, 2014. Disponible en el link:
<https://www.geogpsperu.com/2016/06/mapa-de-cobertura-vegetal-actualizado.html>.
Las diferencias entre utilizar el mapa elaborado en esta tesis y las que provienen del global y MINAM muestran una diferencia amplia tanto en el MINAM, como global y de esta tesis.
- † Las técnicas descritas en esta tesis, sirve para poder mejorarlas y es una obligación actualizarla a fin de mejorar la investigación.
- † Se prefirió aplicar esta nueva característica del índice de sequía porque evalúa lo que es la evapotranspiración del estado actual de la vegetación, mientras que el índice SPI sugerido por el SENAMHI no puede predecirlo. Sin embargo, sugieren que puede ser utilizado.
- † Existen diferencias en utilizar directamente el DEM del Alos Palsar y las CN del IGN. Sin embargo, se sugiere darle un tratamiento posterior a la información.
- † Se evaluó la erosión de suelos para la cuenca media del río Chillón porque INDECI informó valores negativos en la carretera Lima-Canta. Sin embargo, SENAMHI, 2017 pronosticó para todo el Perú. Pero todo el Perú no justifica una evidencia para una cuenca pequeña. SENAMHI, 2017 utilizó cobertura proveniente de una empresa china (globalandcover30) y el factor de lluvia se relacionó con el PISCO del SENAMHI.

V. CONCLUSIONES

Análisis de la degradación de suelos por erosión hídrica y el índice de sequía, como un enfoque claro de esta tesis. Los resultados de las pruebas en campo de salinidad y pH mostraron que no existe afectación en la cuenca media. Estos datos, marcaron un promedio de 192.8 y 6.666 respectivamente. Mientras que la textura de las 22 muestras apunta a una investigación más acentuada.

Las características morfométricas y morfológicas estudiadas en la cuenca media evidencian que el desarrollo de la cobertura se atenúa en la parte baja y mejora a medida que se va escalando. Desde luego, estas características hacen mención que el 38% de la cuenca media podría estar expuesta a una erosión.

Los mapas elaborados de la precipitación y los gráficos en los anexos dieron a conocer que las precipitaciones analizadas desde el 2000 al 2018 fue variando, llegando paulatinamente a una disminución de 200 mm aproximadamente para la zona alta (como Huaros) y una disminución para toda la cuenca. Los meses de menor precipitación abarca desde junio a octubre en promedio y el de mayor precipitación: diciembre, enero, marzo y abril en promedio.

Se analizaron los índices de vegetación durante los años 2000, 2009, 2015 y en especial para algunos meses del 2018, afirmando que es necesario un reajuste. La cobertura temporal indica que una parte de Arahua y áreas bajas de la cuenca ha permanecido sin desarrollo de cobertura, por lo que está expuesto a una posible degradación por erosión o sequía.

Se analizó el índice de costra y no tuvo afectación general para la cuenca media.

El modelo RUSLE es un buen indicador para la erosión hídrica. Las zonas de mayor preocupación abarcan un área del 11.673% para las zonas de Lachaqui, Arahua, Huamantanga y una mayor proporción sobre la carretera Lima-Canta.

Puntos vulnerables informados por INDECI (erosión) y el cambio climático que surge a nivel mundial ha sido clave para evaluar el análisis de la degradación de suelos con pruebas en laboratorio (textura, salinidad y pH) y con ayuda de la teledetección, se informaron los puntos que necesitan ser estudiados.

Se analizaron 4 meses correspondidos para el año 2018, destacando que la sequía viene después del mes de julio. Para el propósito se estimó para el mes septiembre – octubre, concordando que la precipitación es escasa para esos meses tal como indican los análisis de precipitación.

Tal como evidencian los resultados de sequía, con respecto al año 2015, el nivel de sequía para el año 2018 se incrementó en dirección sur (Carabayllo) y se disminuyó en el norte (Canta, Lachaqui, Arahua, etc). Del 2000 al 2018 se evidenció un incremento de sequía bastante fuerte, lo mismo para 2009 al 2015.

Esta tesis no solo demostró una buena evidencia de la erosión que se viene dando, sino del cambio climático que ocurre, afectando a la cobertura con la sequía inestable.

VI. RECOMENDACIONES

- † Evaluar más puntos de campo sobre toda la cuenca media, en especial en la parte baja, de tal manera que exista una distribución formal sobre los resultados. Los puntos de campo desarrollada en esta investigación pueden no ser suficientes.
- † Se recomienda evaluar las zonas marcadas de la figura 46 para una mayor comprensión del problema.
- † En principio básico, las técnicas deben ser mejoradas para fortalecer la investigación.
- † Se recomienda hacer una evaluación de las condiciones climáticas.
- † Se recomienda que las fuentes importantes del Perú; MINAGRI, AGRORURAL elabore una base de datos georreferenciados de las prácticas de manejo de conservación.
- † Se recomienda que el SENAMHI proporcione una base de datos georreferenciados a una resolución mayor de la precipitación, sin perder la exactitud, para aumentar la calidad investigativa en los estudiantes.
- † Se recomienda que el MINAM desarrolle sus propios algoritmos en el análisis de la cobertura a fin de mejorar la probabilidad para el territorio peruano.
- † Se recomienda que el Perú realice sus propias estimaciones del factor erosividad para diferentes escenarios del Perú.
- † Se recomienda que tanto instituciones como universidades dieran a conocer un estudio detallado de la textura y tipo de suelo, según la clasificación USDA, donde incluya limo fino.

REFERENCIAS

Abreu, L. W., and G. P. Anderson, Eds. 1996. The MODTRAN 2/3 report and LOWTRAN 7 model. Phillips Laboratory, Geophysics Directorate, PL/GPOS, Hanscom AFB, MA

AGRORURAL. 2019. MEMORANDO MÚLTIPLE N°010-2019-MINAGRI-DVDIAR-AGRORURAL-DE/RAIP. Lima.

Aguilar, J., Espinoza, R., Espinoza, J C., Rojas, J., Willems, B L., Leyva, W. 2019. Elevation-dependent warming of land Surface temperaturas in the Andes assessed using MODIS LST time series (2000-2017). Int J Appl Earth Obs Geoinformation, 77, 119-128.

ANA (2013). Informe Nacional del Perú. Las condiciones de sequía y estrategias de gestión en el Perú. Disponible en: http://www.droughtmanagement.info/literature/UNW/DPC_NDMP_Country_Report_Peru_2013.pdf

Bastiaanssen, W., Noordman, E., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B., Allen, R., 2005. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. J. Irrig. Drain. Eng. 131, 85–93.

Bastiaanssen, W., Menenti, M., Feddes, R., Holtslag, A., 1998a. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. JHyd 212, 198–212.

Belayneh, M., Yirgu, T., Tsegaye, D 2019. Potential soil erosion estimation and area prioritization for better conservation planning in Gumara watershed using RUSLE and GIS techniques. Environmental Systems Research. 8:20.

Biswas, S S., Pani, P. 2015. Estimation of soil erosion using RUSLE and GIS techniques: a case study of Barakar River basin, Jharkhand, India. Modelling Earth Systems and Environment. 1: 42

CAPRADE. 2009. Atlas de las dinámicas del territorio andino: Población y bienes expuestos a amenazas naturales. Cali : Corporación OSSO, 2009. ISBN: 978-958-99179-0-9.

Chander, G., Member., IEEE., Markham, B L., Barsi, J A. 2007. Revised Landsat-5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, v 4, no 3. 490-494.

Chuvienco, E. 2002. Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio. Barcelona : Ariel, S.A, 2002. ISBN: 84-344-8047-6.

CLARK, P.E.; SEYFRIED, M.S.; HARRIS, B., 2001. Intermountain plant community classification using Landsat TM and SPOT HRV data. *Journal of Range Management*, 54, 152-160.

Clevers, 1988. J.G.P.W. Clevers The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of Leaf Area Index. *Remote Sensing Environ.*, 25 (1988), pp.

Cuadrat, J y Pita, F. 2011. *Climatología*. [aut. libro] Pita, F. La climatología como ciencia geográfica. Madrid: Grupo Anaya S.A, 2011

Desmet, P., Govers, G. 2015. Comment on: "Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS Learn?". *Sustainability*, 7, 12490-12501.

Emami, H.; Safari, A.; Mojaradi, B., 2016. Modification and Adaptation of SEBAL-Based LSE Estimation Method for LDCM Data: Fars Province, Iran. *Journal of soft Computing and Information Technology*. Vol 5. No 1, 27-44.

Fang, G., Yuan, T., Zhang, Y. et al. Integrated study on soil erosion using RUSLE and GIS in Yangtze River Basin of Jiangsu Province (China). *Arab J Geosci* (2019) 12: 173.

FAO. 2016. *Land Degradation Assessment In Drylands: Manual For Local Level Assessment Of Land Degradation And Sustainable Land Management. Part 2: Field methodology and tools*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016.

FAO. 2018. CHAPTER7 Land degradation assessment. Disponible en: www.fao.org/tempref/docrep/fao/008/y5490e/y5490e06.pdf.

Fayas, C M., Abeysingha, N S., Nirmanee, K G S., Samaratinga, D., Mayawatantri, A. 2019. Soil loss estimation using rusle model to prioritize erosion control in KELANI river basin in Sri Lanka, Vol. 7, no. 2, 130-137.

Galilea, I. 2016. *Erosión de suelos y Laderas en el espacio agrícola de la Rioja. Aplicación y cartografía del modelo RUSLE*. Rioja.

Ganasri, B P., Ramesh, H. 2016. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS – A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 7, 6, 953-961.

García, D., Contreras, S., Hunink, J. 2019. Comparison of meteorological and satellite-based drought indices as yield predictors of Spanish cereals. *Agricultural Water Management*, 213, 388-396.

González del Tanago, M. 1991. La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo. Pasado, Presente y Futuro. *Ecología* 5: 13-50

Hernández, Roberto, Collado, Pilar y Baptista, Lucio. 2006. Metodología de la investigación. Mexico D.F: McGraw-Hill Interamericana, 2006. ISBN: 970-10-5753-8.

Hengl Tomislav (2009). A practical Guide to Geostatistical Mapping. Amsterdam. ISBN: 978-90-9024981-0

HUETE A. R. (1988) A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of the Environment*, 25, 295-309.

ICKUP, G.; CHEWINGS, V.H.; NELSON, D.J., 1993. Estimating changes in vegetation cover over time in arid rangelands using Landsat MSS data. *Remote Sens. Environ.* 43, 243-263.

INDECI. 2018. Informe tecnico N° 033-2018-INDECI/10.1. Lima.

Instituto Geofísico del Perú, 2005. Vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático y medidas de adaptación en la cuenca del río Mantaro Vol. III Fondo Editorial CONAM, Lima, Perú.

IPCC. Global Warming of 1.5°C. [En línea] Disponible en: https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf

Jiao, W., Tian, C., Chang, Q., Novick, K A., Wang, L. 2019. A new multi sensor integrated index for drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, 268, 74-85

Jumbo, D C. 2018. Estimación Cualitativa y cuantitativa de la erosión hídrica vinculada al cambio de uso del suelo en la subcuenca Catamayo, Ecuador. Lima.

Karlen, D L., Rice, C W. 2015. Soil Degradation: Will Humankind Ever Learn? *Sustainability*, 7, 12490-12501. ISSN: 2071-1050.

Letcher T M (ed.). 2nd ed. *Climate Change: Observed impacts on planet earth*. Chapter 2 by Thorne, P: Global Surface Temperatures. Oxford: Elsevier, 2015. ISBN: 978-0-444-63524-2.

Li, H., Lei, Y., Zheng, L., Mao, L., 2005. SEBAL model and its application in the study of regional evapotranspiration. *Remote Sens. Technol. Appl.* 20, 321–325.

Ma, C., Ma, J., & Buhe, A. 2001. Quantitative Assessment of Vegetation Coverage Factor in USLE Model Using Remote Sensing Data. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, Vol. 21, No. 4, pp. 6–9.

McCool, D.K., L.C. Brown, G.R. Foster, et al. 1987. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans. ASAE* 30:1387- 1396.

MEF. Reducción de la degradación de suelos agrarios. [En línea] [Citado el: 4 de julio de 2012.] Disponible en: https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publico/ppr/talleres/ppat2013/04julio2012/5AGRICULTURA/degradacion_suelos_agrarios.pdf

Mekonnen, Z., Tadesse, H., Woldeamanuel, T., Asfaw, Z., Kassa, H. 2018. Land use and land cover changes and the link to land degradation in Arsi Negele district, Central Rift Valley, Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.07.012>

MINAGRI-ANA-DCPRH. 2015. Actualización de Unidades Hidrográficas y Codificación de Fuentes de Agua Superficial en Ámbitos de Administraciones Locales de Agua. Administración Local de Agua Barranca.

National Geomatics Center of China. 2014. Global Land Cover Dataset (GlobeLand30). Product description

Oliver, M A (ed.). 2010. *Geostatistical Applications for Precision Agriculture*. UK: Springer. ISBN: 978-90-481-9132-1.

OMAFRA. Ministry of Agriculture, Food and Rural AFFAIRS. Universal Soil Loss Equation (USLE). [En línea] Omafra, Octubre de 2012. [Citado el: 4 de enero de 2016.] <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/12-051.htm#t1>. ISSN: 1198-712X.

ROUSE J.W. JR., HAAS R.H., SCHELL J.A. Y DEERING D.W. (1974) Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. College Station, Texas, Estados Unidos: Remote Sensing Center, Texas A&M Univ.

Shabanov, and J. Pinzon (2003), The effect of vegetation on surface temperature: A statistical analysis of NDVI and climate data, *Geophys. Res. Lett.*, 30(22), 2147, doi:10.1029/2003GL018251.

Scheffran J. (2011) Security Risks of Climate Change: Vulnerabilities, Threats, Conflicts and Strategies. In: Brauch H. et al. (eds) Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security. Hexagon Series on Human and Environmental Security and Peace, vol 5. Springer, Berlin, Heidelberg.

SENAMHI. 2017. Atlas de Erosión de Suelos por Regiones hidrológicas del Perú. Nota técnica 002. SENAMHI-DHI. Lima.

Sun, D., and M. Kafatos (2007), Note on the NDVI-LST relationship and the use of temperature-related drought indices over North America, Geophysical Research Letters, 34, L24406. doi:10.1029/2007GL031485

Teng, H F., Hu, J., Zhou, Y., Zhou, L Q., Shi, Z. 2019. Modelling and Mapping soil erosion potential in China. Journal of Integrative Agriculture, Vol. 18, no. 2, 251-264.

USDA. 2008. USER'S REFERENCE: Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE). Washington.

USDA. 2017. Soil Survey Manual: By Soil Science Division Staff. US. No 18.
USGS/EROS/NASA. 2018. Landsat 7 (L7) DATA USERS HANDBOOK Version 1
USGS/EROS/NASA. 2019. Landsat 8 (L8) DATA USERS HANDBOOK Version 4

Van Doren, C.A., R.S. Stauffer, and E.H. Kidder. 1950. Effect of contour farming on soil loss and runoff. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 15:413-417.

Wan, Z.; Wang, P.; Li, X., 2004. Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA. International Journal of remote sensing, Vol. 65, No 1. 61-72.

Wilson, J P. 2018. Environmental Applications of Digital Terrain Modeling. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell (ed.). Oxford UK: Oxford University Press.

Walpole, R E., Myers, R H., Myers, S L., Ye, K. Probability and Statistics For Engineers and Scientistis. Lynch, D. (ed.). 9th ed. Pearson, 2012. ISBN: 978-0-321-62911-1

Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting soil erosion losses: A guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture Handbook, No. 537.

Zúñiga, J E. 2017. DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELOS EN LA CUENCA APORTANTE DEL EMBALSE AGUADA BLANCA-AREQUIPA, APLICANDO USLE Y TECNICAS GEOESPACIALES. Lima.

ANEXOS

A:

Precipitaciones para cada mes:





Coeficientes de correlación

Enero. 91.3% del total de datos. Modelo 1

	Canta	Arahuay	Huamantanga	Lachaqui	Huaros	Pariacancha
Canta	1.000	0.886	0.771	0.824	0.788	0.713
Arahuay	0.886	1.000	0.735	0.897	0.678	0.776
Huamantanga	0.771	0.735	1.000	0.698	0.818	0.694
Lachaqui	0.824	0.897	0.698	1.000	0.600	0.782
Huaros	0.788	0.678	0.818	0.600	1.000	0.764
Pariacancha	0.713	0.776	0.694	0.782	0.764	1.000

Febrero. 95.7% del total de datos. Modelo 2

	Canta	Arahuay	Huamantanga	Lachaqui	Huaros	Pariacancha
Canta	1.000	0.872	0.828	0.856	0.875	0.893
Arahuay	0.872	1.000	0.894	0.859	0.901	0.861
Huamantanga	0.828	0.894	1.000	0.822	0.836	0.798
Lachaqui	0.856	0.859	0.822	1.000	0.851	0.860
Huaros	0.875	0.901	0.836	0.851	1.000	0.923
Pariacancha	0.893	0.861	0.798	0.860	0.923	1.000

Marzo. 87.0% del total de datos. Modelo 3

	Canta	Arahuay	Huamantanga	Lachaqui	Huaros	Pariacancha
Canta	1.000	0.734	0.884	0.729	0.746	0.651
Arahuay	0.734	1.000	0.791	0.650	0.482	0.464
Huamantanga	0.884	0.791	1.000	0.845	0.691	0.668
Lachaqui	0.729	0.650	0.845	1.000	0.675	0.724
Huaros	0.746	0.482	0.691	0.675	1.000	0.922
Pariacancha	0.651	0.464	0.668	0.724	0.922	1.000

Mayo. 95.7% del total de datos. Modelo 4

	Canta	Arahuay	Huamantanga	Lachaqui	Huaros	Pariacancha
Canta	1.000	0.654	0.519	0.630	0.729	0.644
Arahuay	0.654	1.000	0.769	0.403	0.524	0.674
Huamantanga	0.519	0.769	1.000	0.463	0.307	0.687
Lachaqui	0.630	0.403	0.463	1.000	0.740	0.621
Huaros	0.729	0.524	0.307	0.740	1.000	0.647
Pariacancha	0.644	0.674	0.687	0.621	0.647	1.000

Septiembre. 87.0 % del total de datos. Modelo 5

	Lachaqui	Arahuay	Canta	Pariacancha	Huamantanga	Huaros
Lachaqui	1.000	0.736	0.848	0.798	0.734	0.694
Arahuay	0.736	1.000	0.457	0.401	0.854	0.152
Canta	0.848	0.457	1.000	0.734	0.551	0.859
Pariacancha	0.798	0.401	0.734	1.000	0.493	0.755
Huamantanga	0.734	0.854	0.551	0.493	1.000	0.249
Huaros	0.694	0.152	0.859	0.755	0.249	1.000

Octubre. 87.0 % del total de datos. Modelo 6 y 7

	Lachaqui	Arahuay	Canta	Huamantanga	Huaros	Pariacancha
Lachaqui	1.000	0.779	0.848	0.107	0.837	0.709
Arahuay	0.779	1.000	0.820	0.215	0.539	0.718
Canta	0.848	0.820	1.000	0.084	0.710	0.681
Huamantanga	0.107	0.215	0.084	1.000	0.117	0.424
Huaros	0.837	0.539	0.710	0.117	1.000	0.739
Pariacancha	0.709	0.718	0.681	0.424	0.739	1.000

Noviembre. 91.3 % del total de datos. Modelo 8.

	Lachaqui	Arahuay	Canta	Huamantanga	Huaros	Pariacancha
Lachaqui	1.000	0.820	0.793	0.633	0.856	0.851
Arahuay	0.820	1.000	0.701	0.721	0.605	0.683
Canta	0.793	0.701	1.000	0.724	0.696	0.797
Huamantanga	0.633	0.721	0.724	1.000	0.647	0.564
Huaros	0.856	0.605	0.696	0.647	1.000	0.766
Pariacancha	0.851	0.683	0.797	0.564	0.766	1.000

Diciembre. 87 % del total de datos. Modelo 9 y 10.

	Lachaqui	Huamantanga	Huaros	Pariacancha	Canta	Arahuay
Lachaqui	1.000	0.963	0.859	0.677	0.847	0.830
Huamantanga	0.963	1.000	0.833	0.619	0.882	0.889
Huaros	0.859	0.833	1.000	0.861	0.868	0.709
Pariacancha	0.677	0.619	0.861	1.000	0.664	0.364
Canta	0.847	0.882	0.868	0.664	1.000	0.891
Arahuay	0.830	0.889	0.709	0.364	0.891	1.000

Resumen de modelos

Modelo	R	R ²	R ² ajust	R ² (pred)	S	Durbin-Watson
1	0.936 ^a	0.8754	0.8443	0.7630	18.84254	0.969

Modelo	R	R ²	R ² ajust	R ² (pred)	S	Durbin - Watson
2	0.916 ^a	0.8384	0.8214	0.7797	28.81098	2.004

Modelo	R	R ²	R ² ajust	R ² (pred)	S	Durbin - Watson
3	0.916 ^a	0.840	0.810	0.7452	21.17883	0.848

Modelo	R	R ²	R ² ajust	R ² (pred)	S	Durbin - Watson
4	0.796 ^a	0.6335	0.5949	0.3035	1.90898	1.553

Modelo	R	R ²	R ² ajust	R ² (pred)	S	Durbin - Watson
5	0.959 ^a	0.920	0.905	0.8132	2.05175	2.170

Modelo	R	R ²	R ² ajust	R ² (pred)	S	Durbin - Watson
6	0.929 ^a	0.8631	0.8374	0.6603	10.68599	2.351

Modelo	R	R ²	R ² ajust	R ² (pred)	S	Durbin - Watson
7	0.886 ^a	0.7843	0.7589	0.4482	7.23797	1.507

Modelo	R	R ²	R ² ajust	R ² (pred)	S	Durbin - Watson
8	0.956 ^a	0.914	0.892	0.7596	8.36337	2.024

Modelo	R	R ²	R ² ajust	R ² (pred)	S	Durbin-Watson
9	0.968 ^a	0.9371	0.930	0.9157	12.14758	2.387

Modelo	R	R ²	R ² ajust	R ² (pred)	S	Durbin - Watson
10	0.968 ^a	0.938	0.926	0.8327	9.11720	2.037

ANOVA

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	39926.388	4	9981.597	28.114	4.63678E-07
Residuo	5680.659	16	355.041		
Total	45607.047	20			
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
2 Regresión	81839.791	2	40919.896	49.297	3.01659E-08
Residuo	15771.376	19	830.072		
Total	97611.168	21			
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
3 Regresión	37642.873	3	12547.624	27.974	1.3361E-06
Residuo	7176.684	16	448.543		
Total	44819.558	19			
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
4 Regresión	119.658	2	59.829	16.418	7.2316E-05
Residuo	69.240	19	3.644		
Total	188.898	21			
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
5 Regresión	772.458	3	257.486	61.165	5.5079E-09
Residuo	67.355	16	4.210		
Total	839.813	19			
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
6 Regresión	11514.515	3	3838.172	33.612	3.8698E-07
Residuo	1827.047	16	114.190		
Total	13341.561	19			
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
7 Regresión	3237.359	2	1618.680	30.898	2.1805E-06
Residuo	890.599	17	52.388		
Total	4127.958	19			
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
8 Regresión	11835.699	4	2958.925	42.303	2.57719E-08
Residuo	1119.134	16	69.946		
Total	12954.834	20			
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
9 Regresión	37393.407	2	18696.704	126.703	6.1191E-11
Residuo	2508.584	17	147.564		
Total	39901.991	19			
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
10 Regresión	19970.108	3	6656.703	80.082	7.4962E-10
Residuo	1329.974	16	83.123		
Total	21300.082	19			

Coeficientes

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B		
	B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior	
1	(Constante)	-7.433	13.642		-0.545	0.593	-36.352	21.485
	Arahuay	0.664	0.278	0.520	2.390	0.029	0.075	1.252
	Huaros	0.628	0.190	0.475	3.312	0.004	0.226	1.030
	Lachaqui	0.233	0.172	0.293	1.359	0.193	-0.131	0.597
	Pariacancha	-0.319	0.198	-0.283	-1.609	0.127	-0.739	0.101
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B		
	B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior	
2	(Constante)	-50.325	20.227		-2.488	0.022	-92.660	-7.990
	Arahuay	0.507	0.231	0.398	2.192	0.041	0.023	0.991
	Pariacancha	0.845	0.279	0.551	3.034	0.007	0.262	1.428
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B		
	B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior	
3	(Constante)	-11.355	20.494		-0.554	0.587	-54.800	32.089
	Huamantanga	0.870	0.166	0.729	5.233	0.000	0.518	1.223
	Huaros	0.755	0.332	0.611	2.276	0.037	0.052	1.457
	Pariacancha	-0.543	0.354	-0.400	-1.534	0.145	-1.292	0.207
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B		
	B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior	
4	(Constante)	-0.366	0.549		-0.666	0.513	-1.515	0.783
	Arahuay	0.799	0.347	0.375	2.302	0.033	0.073	1.525
	Huaros	0.293	0.090	0.532	3.265	0.004	0.105	0.480
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B		
	B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior	
5	(Constante)	-1.920	1.026		-1.871	0.080	-4.096	0.256
	Arahuay	1.603	0.310	0.413	5.164	0.000	0.945	2.261
	Canta	0.693	0.177	0.422	3.909	0.001	0.317	1.069
	Pariacancha	0.167	0.054	0.323	3.075	0.007	0.052	0.283

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
	B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior
6 (Constante)	-10.163	4.770		-2.130	0.049	-20.276	-0.050
Arahuay	0.922	0.469	0.320	1.965	0.067	-0.073	1.917
Huaros	0.779	0.206	0.501	3.791	0.002	0.344	1.215
Canta	0.413	0.350	0.230	1.179	0.255	-0.329	1.155

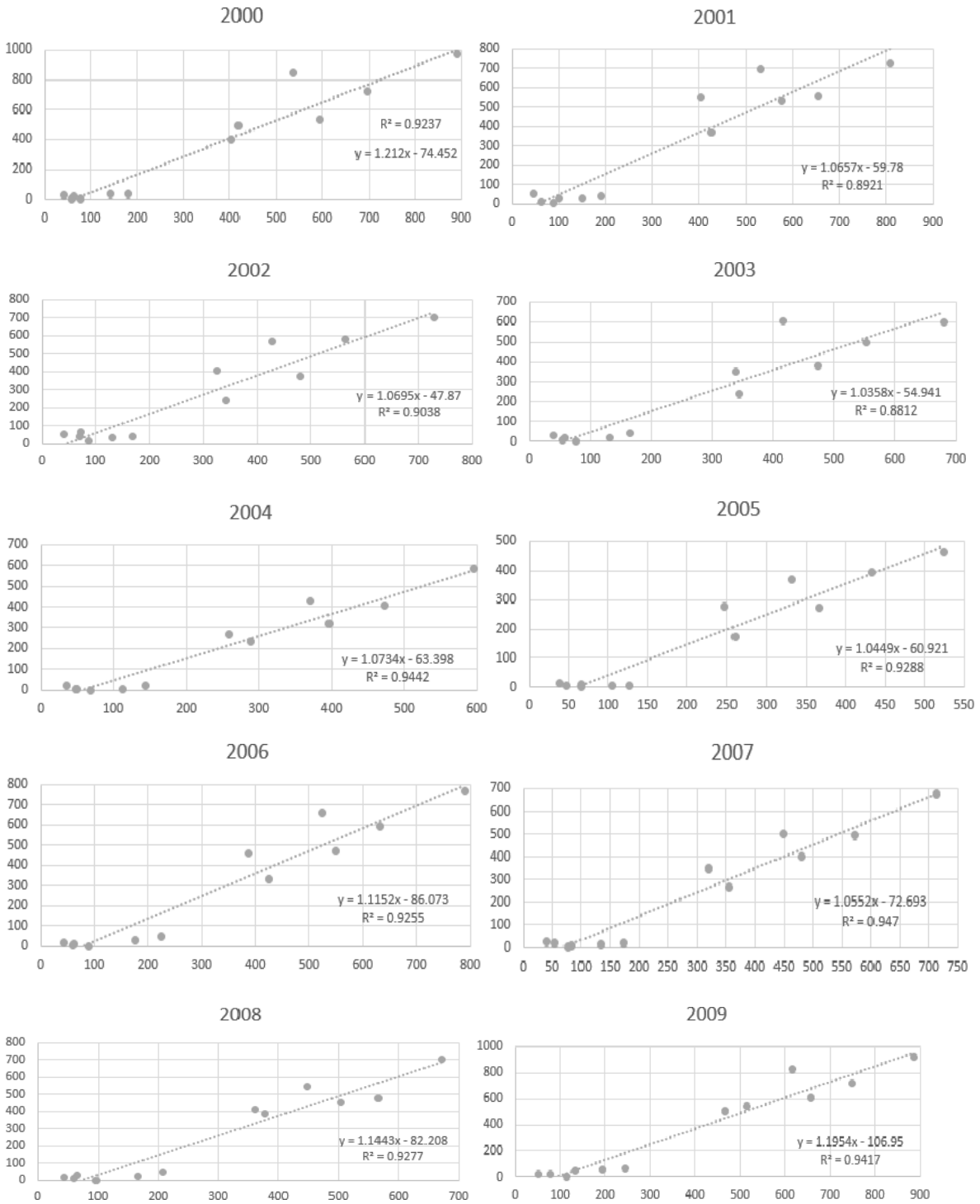
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
	B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior
7 (Constante)	2.349	2.099		1.119	0.279	-2.080	6.777
Arahuay	0.653	0.288	0.407	2.266	0.037	0.045	1.260
Lachaqui	0.296	0.100	0.531	2.960	0.009	0.085	0.506

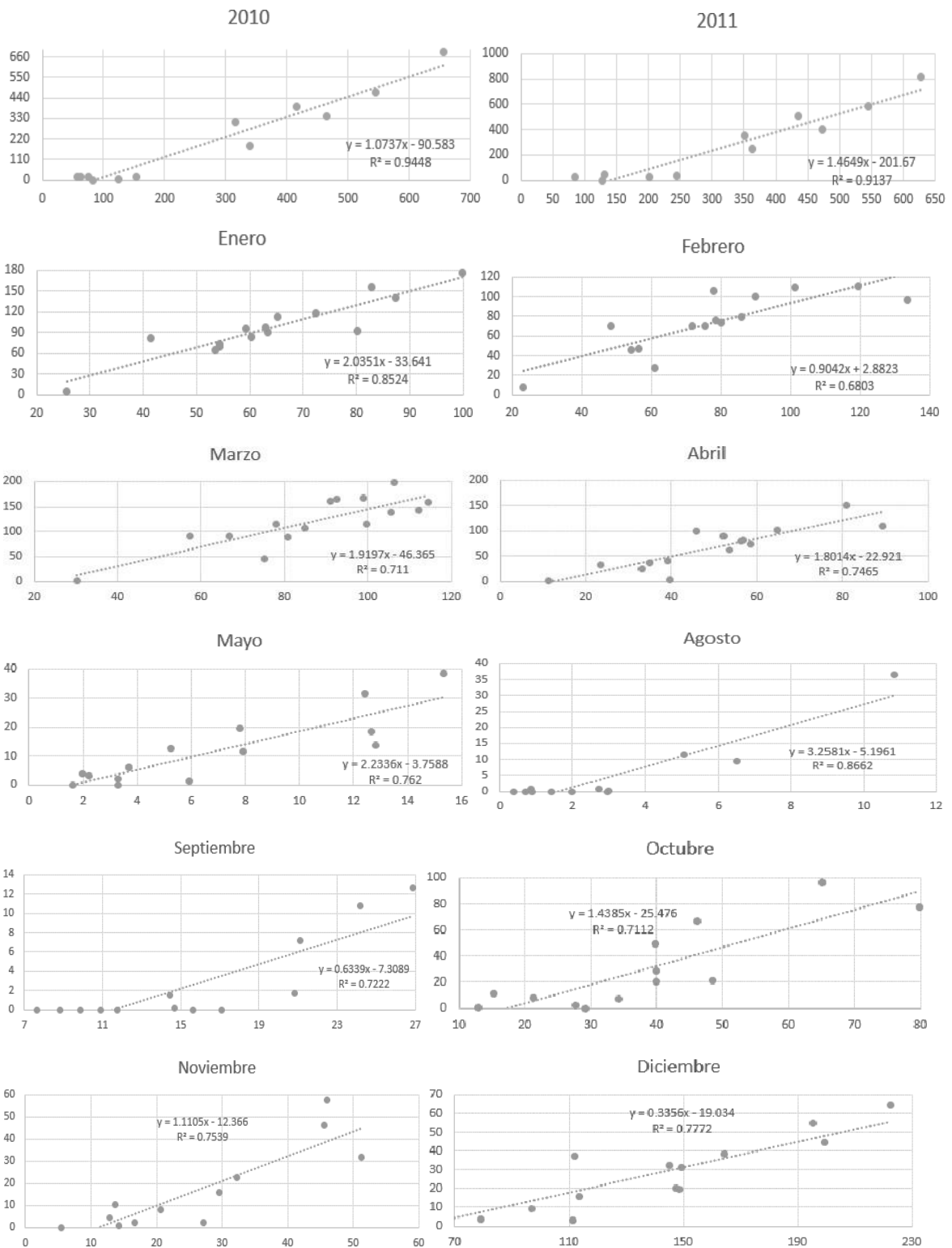
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
	B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior
8 (Constante)	1.495	3.074		0.486	0.633	-5.023	8.012
Arahuay	1.318	0.300	0.506	4.397	0.000	0.683	1.954
Canta	0.347	0.172	0.250	2.018	0.061	-0.018	0.712
Huamantanga	-0.446	0.202	-0.268	-2.213	0.042	-0.874	-0.019
Huaros	0.430	0.084	0.549	5.099	0.000	0.251	0.609

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
	B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior
9 (Constante)	-1.949	8.096		-0.241	0.813	-19.030	15.131
Huamantanga	1.183	0.161	0.807	7.342	0.000	0.843	1.523
Huaros	0.305	0.179	0.187	1.701	0.107	-0.073	0.683

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
	B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior
10 (Constante)	-9.122	5.192		-1.757	0.098	-20.130	1.885
Arahuay	1.149	0.159	0.926	7.236	0.000	0.812	1.485
Pariacancha	0.396	0.076	0.507	5.221	0.000	0.235	0.557
Lachaqui	-0.193	0.118	-0.264	-1.630	0.123	-0.444	0.058

Correlación





Precipitaciones 2018:

ENERO (Precipitaciones mensuales)				FEBRERO (Precipitaciones mensuales)			
Estación	Prec.	Latitud	Longitud	Estación	Prec.	Latitud	Longitud
Nana	5	11°59'14.8"	76°50'31"	Nana	7.6	11°59'14.8"	76°50'31"
CANTA	117.8	11° 28' 16.37"	76° 37' 32.5"	CANTA	106.3	11° 28' 16.37"	76° 37' 32.5"
ARAHUAY	69.9	11° 37' 0"	76° 42' 0"	ARAHUAY	46.2	11° 37' 0"	76° 42' 0"
PARIACANCHA	140.6	11° 23' 36.84"	76° 30' 9.74"	PARIACANCHA	109.5	11° 23' 36.84"	76° 30' 9.74"
HUAMANTANGA	83.7	11° 30' 0"	76° 45' 0"	HUAMANTANGA	46.7	11° 30' 0"	76° 45' 0"
LACHAQUI	112	11° 33' 11.78"	76° 37' 42.38"	LACHAQUI	70.3	11° 33' 11.78"	76° 37' 42.38"
HUAROS	92.4	11° 24' 26.75"	76°34' 32.89"	HUAROS	100.6	11° 24' 26.75"	76°34' 32.89"
MILLOC	155	11° 34' 16.71"	76°20' 59.81"	MILLOC	110.6	11° 34' 16.71"	76°20' 59.81"
CAMPOMA	89.7	11° 39' 18.1"	76°30' 54.49"	CAMPOMA	75.5	11° 39' 18.1"	76°30' 54.49"
SHEQUE	97.2	11° 39' 39.42"	76°30' 8.28"	SHEQUE	73.4	11° 39' 39.42"	76°30' 8.28"
AUTISHA	73.9	11° 44' 17.33"	76°36' 39.7"	AUTISHA	27.8	11° 44' 17.33"	76°36' 39.7"
SAN MATEO DE O*	81.1	11° 50' 48.66"	76°33' 48.9"	SAN MATEO DE O*	70	11° 50' 48.66"	76°33' 48.9"
MATUCANA	65.2	11° 50' 20.86"	76°22' 40.52"	MATUCANA	70.3	11° 50' 20.86"	76°22' 40.52"
SAN MATEO DE H*	95.7	11° 45' 36.6"	76°18' 3.6"	SAN MATEO DE H	79.1	11° 45' 36.6"	76°18' 3.6"
CASAPALCA	176.5	11° 38' 16.94"	76°13' 59.96"	CASAPALCA	96.5	11° 38' 16.94"	76°13' 59.96"

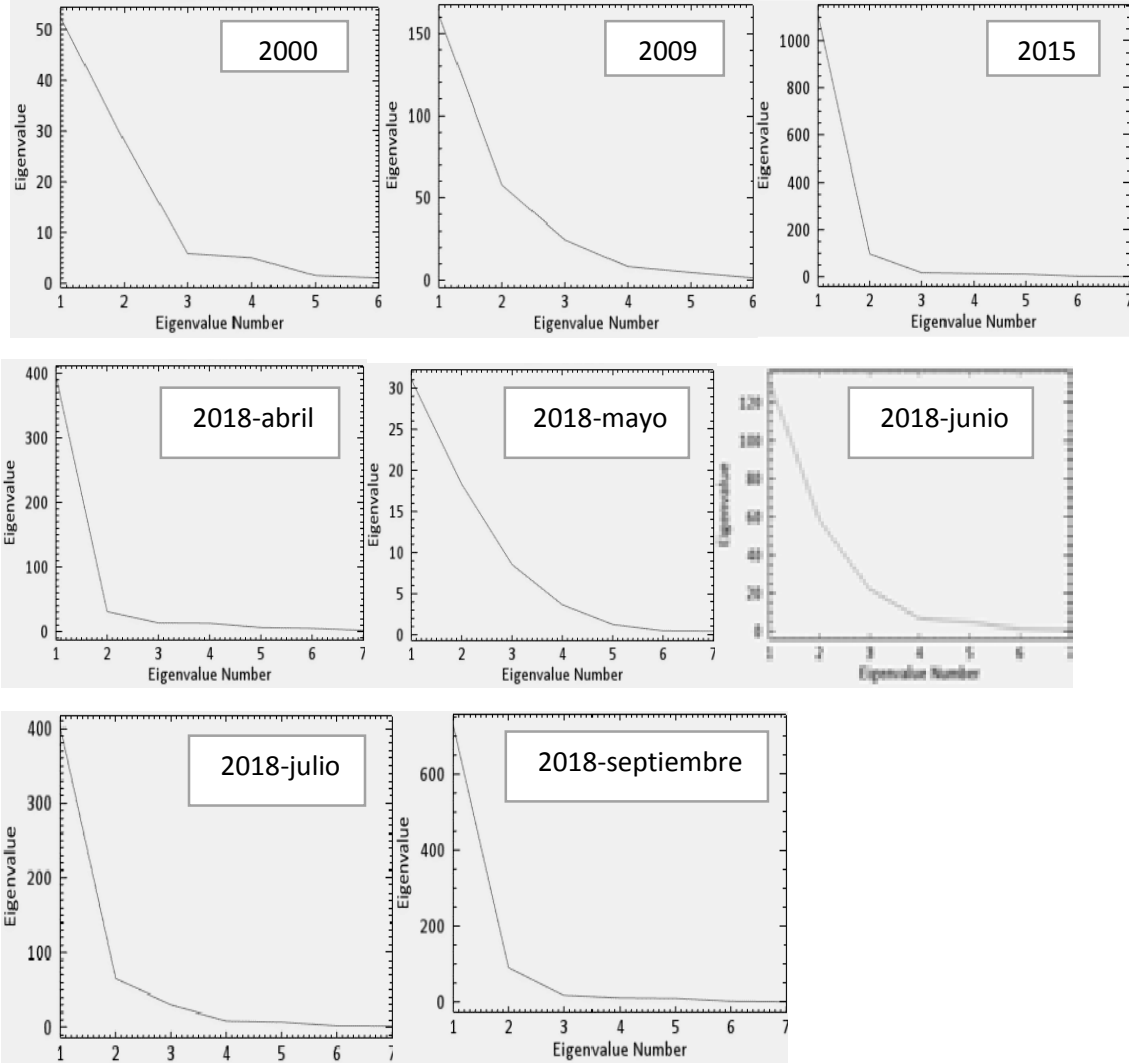
MARZO (Precipitaciones mensuales)				ABRIL (Precipitaciones mensuales)			
Estacion	Prec.	Latitud	Longitud	Estacion	Prec.	Latitud	Longitud
Nana	0.2	11°59'14.8"	76°50'31"	Nana	0.4	11°59'14.8"	76°50'31"
CANTA	114.9	11° 28' 16.37"	76° 37' 32.5"	CANTA	89.8	11° 28' 16.37"	76° 37' 32.5"
ARAHUAY	87.5	11° 37' 0"	76° 42' 0"	ARAHUAY	23.8	11° 37' 0"	76° 42' 0"
PARIACANCHA	159.8	11° 23' 36.84"	76° 30' 9.74"	PARIACANCHA	102.3	11° 23' 36.84"	76° 30' 9.74"
HUAMANTANGA	107	11° 30' 0"	76° 45' 0"	HUAMANTANGA	41.2	11° 30' 0"	76° 45' 0"
LACHAQUI	167.4	11° 33' 11.78"	76° 37' 42.38"	LACHAQUI	100.3	11° 33' 11.78"	76° 37' 42.38"
HUAROS	140	11° 24' 26.75"	76°34' 32.89"	HUAROS	80.4	11° 24' 26.75"	76°34' 32.89"
MILLOC	198.5	11° 34' 16.71"	76°20' 59.81"	MILLOC	151.1	11° 34' 16.71"	76°20' 59.81"
CAMPOMA	161.6	11° 39' 18.1"	76°30' 54.49"	CAMPOMA	81.8	11° 39' 18.1"	76°30' 54.49"
SHEQUE	164.8	11° 39' 39.42"	76°30' 8.28"	SHEQUE	73.6	11° 39' 39.42"	76°30' 8.28"
AUTISHA	46.7	11° 44' 17.33"	76°36' 39.7"	AUTISHA	2.3	11° 44' 17.33"	76°36' 39.7"
SAN MATEO DE O*	91.3	11° 50' 48.66"	76°33' 48.9"	SAN MATEO DE O*	31.7	11° 50' 48.66"	76°33' 48.9"
MATUCANA	91.1	11° 50' 20.86"	76°22' 40.52"	MATUCANA	37.5	11° 50' 20.86"	76°22' 40.52"
SAN MATEO DE H	114.9	11° 45' 36.6"	76°18' 3.6"	SAN MATEO DE H	61.4	11° 45' 36.6"	76°18' 3.6"
CASAPALCA	142.7	11° 38' 16.94"	76°13' 59.96"	CASAPALCA	109.6	11° 38' 16.94"	76°13' 59.96"

MAYO (Precipitaciones mensuales)				AGOSTO (Precipitaciones mensuales)			
Estacion	Prec.	Latitud	Longitud	Estacion	Prec.	Latitud	Longitud
Nana	0	11°59'14.8"	76°50'31"	Nana	0	11°59'14.8"	76°50'31"
CANTA	1.3	11° 28' 16.37"	76° 37' 32.5"	CANTA	0	11° 28' 16.37"	76° 37' 32.5"
ARAHUAY	3.7	11° 37' 0"	76° 42' 0"	ARAHUAY	0	11° 37' 0"	76° 42' 0"
PARIACANCHA	31.6	11° 23' 36.84"	76° 30' 9.74"	HUAMANTANGA	0.7	11° 30' 0"	76° 45' 0"
HUAMANTANGA	6.2	11° 30' 0"	76° 45' 0"	LACHAQUI	0	11° 33' 11.78"	76° 37' 42.38"
LACHAQUI	12.6	11° 33' 11.78"	76° 37' 42.38"	MILLOC	36.4	11° 34' 16.71"	76° 20' 59.81"
HUAROS	18.5	11° 24' 26.75"	76° 34' 32.89"	TINGO	11.4	11° 37' 0.02"	76° 29' 0.01"
MILLOC	38.4	11° 34' 16.71"	76° 20' 59.81"	CARAMPOMA	0.8	11° 39' 18.1"	76° 30' 54.49"
CARAMPOMA	19.7	11° 39' 18.1"	76° 30' 54.49"	SHEQUE	0.2	11° 39' 39.42"	76° 30' 8.28"
SHEQUE	11.5	11° 39' 39.42"	76° 30' 8.28"	AUTISHA	0	11° 44' 17.33"	76° 36' 39.7"
AUTISHA	0	11° 44' 17.33"	76° 36' 39.7"	SAN MATEO DE O*	0	11° 50' 48.66"	76° 33' 48.9"
SAN MATEO DE O*	3	11° 50' 48.66"	76° 33' 48.9"	MATUCANA	2	11° 50' 20.86"	76° 22' 40.52"
MATUCANA	2	11° 50' 20.86"	76° 22' 40.52"	CASAPALCA	13.7	11° 38' 16.94"	76° 13' 59.96"
CASAPALCA	13.7	11° 38' 16.94"	76° 13' 59.96"	SAN MATEO DE H	9.6	11° 45' 36.6"	76° 18' 3.6"

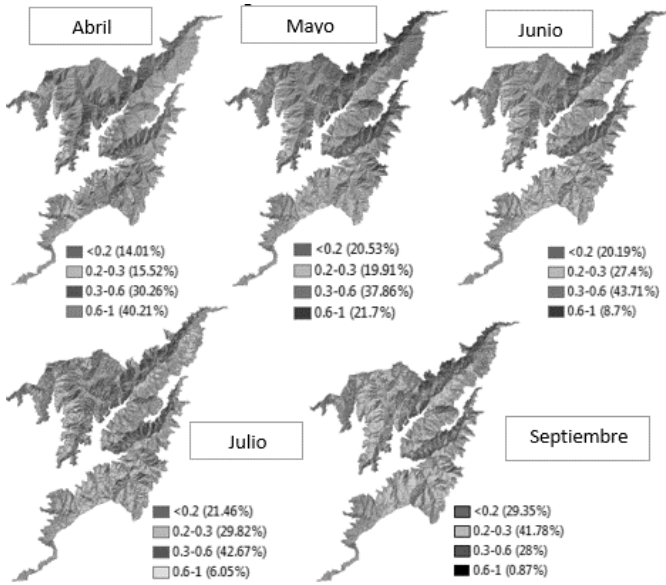
SEPTIEMBRE (Precipitaciones mensuales)				OCTUBRE (Precipitaciones mensuales)			
Estacion	Prec.	Latitud	Longitud	Estacion	Prec.	Latitud	Longitud
Nana	0	11°59'14.8"	76°50'31"	Nana	0.1	11°59'14.8"	76°50'31"
CANTA	0	11° 28' 16.37"	76° 37' 32.5"	CANTA	21.2	11° 28' 16.37"	76° 37' 32.5"
ARAHUAY	0	11° 37' 0"	76° 42' 0"	ARAHUAY	1.8	11° 37' 0"	76° 42' 0"
PARIACANCHA	7.2	11° 23' 36.84"	76° 30' 9.74"	HUAMANTANGA	7.3	11° 30' 0"	76° 45' 0"
HUAMANTANGA	0	11° 30' 0"	76° 45' 0"	MILLOC	96.3	11° 34' 16.71"	76° 20' 59.81"
LACHAQUI	0	11° 33' 11.78"	76° 37' 42.38"	TINGO	66.7	11° 37' 0.02"	76° 29' 0.01"
HUAROS	1.7	11° 24' 26.75"	76° 34' 32.89"	CARAMPOMA	28.4	11° 39' 18.1"	76° 30' 54.49"
MILLOC	10.8	11° 34' 16.71"	76° 20' 59.81"	SHEQUE	49.6	11° 39' 39.42"	76° 30' 8.28"
CARAMPOMA	1.5	11° 39' 18.1"	76° 30' 54.49"	AUTISHA	0	11° 44' 17.33"	76° 36' 39.7"
SHEQUE	0.2	11° 39' 39.42"	76° 30' 8.28"	SAN MATEO DE O*	11.2	11° 50' 48.66"	76° 33' 48.9"
AUTISHA	0	11° 44' 17.33"	76° 36' 39.7"	MATUCANA	8.1	11° 50' 20.86"	76° 22' 40.52"
SAN MATEO DE O*	0	11° 50' 48.66"	76° 33' 48.9"	SAN MATEO DE H	20	11° 45' 36.6"	76° 18' 3.6"
MATUCANA	2	11° 50' 20.86"	76° 22' 40.52"	CASAPALCA	77.2	11° 38' 16.94"	76° 13' 59.96"
CASAPALCA	12.7	11° 38' 16.94"	76° 13' 59.96"				

NOVIEMBRE (Precipitaciones mensuales)				DICIEMBRE (Precipitaciones mensuales)			
Estacion	Prec.	Latitud	Longitud	Estacion	Prec.	Latitud	Longitud
Nana	0	11°59'14.8"	76°50'31"	CANTA	38.5	11° 28' 16.37"	76° 37' 32.5"
CANTA	2	11° 28' 16.37"	76° 37' 32.5"	ARAHUAY	9.3	11° 37' 0"	76° 42' 0"
ARAHUAY	2	11° 37' 0"	76° 42' 0"	PARIACANCHA	54.9	11° 23' 36.84"	76° 30' 9.74"
PARIACANCHA	31.5	11° 23' 36.84"	76° 30' 9.74"	LACHAQUI	20.4	11° 33' 11.78"	76° 37' 42.38"
HUAMANTANGA	4.2	11° 30' 0"	76° 45' 0"	HUAROS	44.4	11° 24' 26.75"	76°34' 32.89"
LACHAQUI	8	11° 33' 11.78"	76° 37' 42.38"	CARAMPOMA	31.2	11° 39' 18.1"	76°30' 54.49"
MILLOC	46.3	11° 34' 16.71"	76°20' 59.81"	SHEQUE	19.6	11° 39' 39.42"	76°30' 8.28"
CARAMPOMA	15.8	11° 39' 18.1"	76°30' 54.49"	AUTISHA	3	11° 44' 17.33"	76°36' 39.7"
SHEQUE	22.6	11° 39' 39.42"	76°30' 8.28"	SAN MATEO DE O*	3.4	11° 50' 48.66"	76°33' 48.9"
AUTISHA	10.4	11° 44' 17.33"	76°36' 39.7"	MATUCANA	15.7	11° 50' 20.86"	76°22' 40.52"
SAN MATEO DE O*	0.9	11° 50' 48.66"	76°33' 48.9"	SAN MATEO DE H	32.2	11° 45' 36.6"	76°18' 3.6"
CASAPALCA	57.8	11° 38' 16.94"	76°13' 59.96"	CASAPALCA	64.4	11° 38' 16.94"	76°13' 59.96"
				HUAMANTANGA	37.1	11° 30' 0"	76° 45' 0"
				Nana	0	11°59'14.8"	76°50'31"

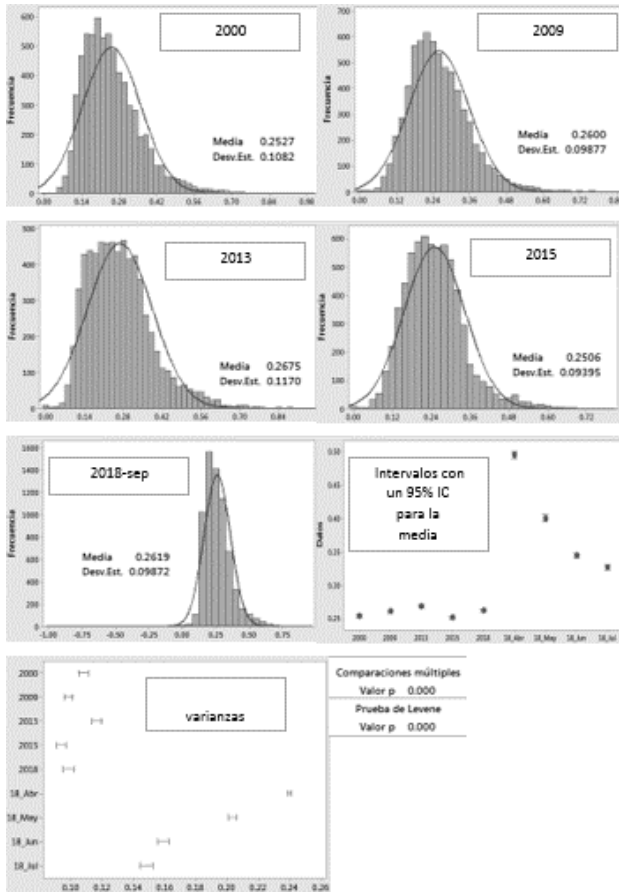
B.



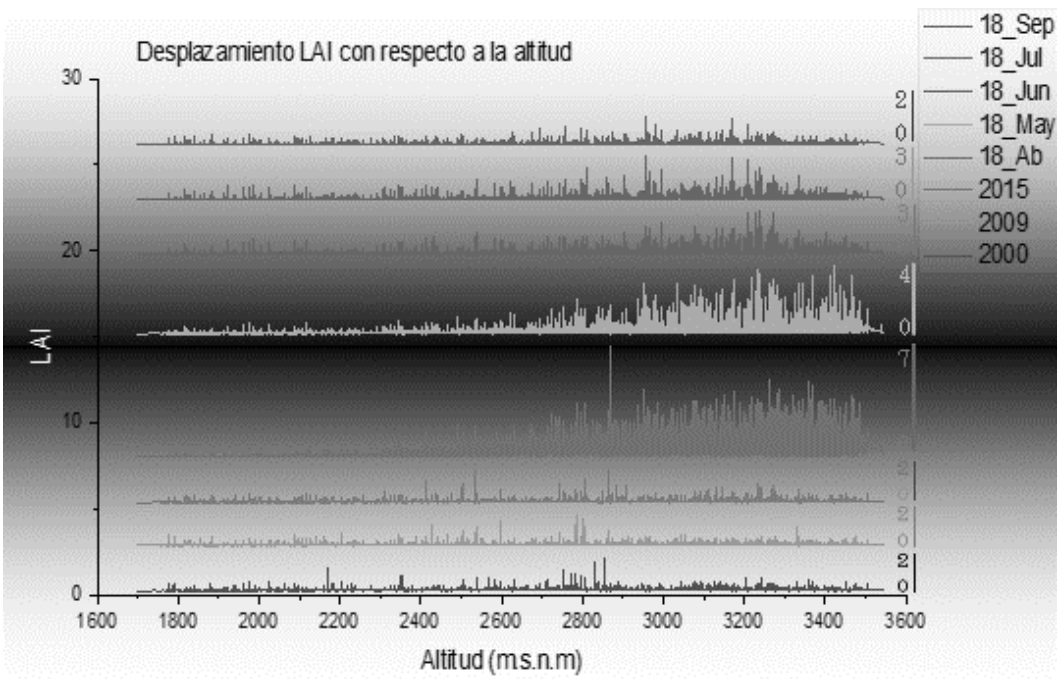
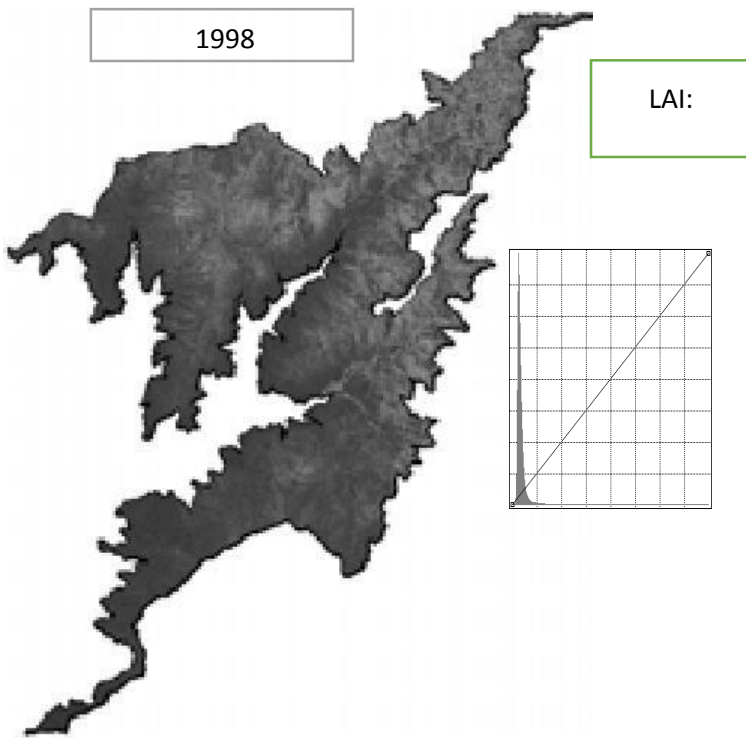
NDVI: 2018



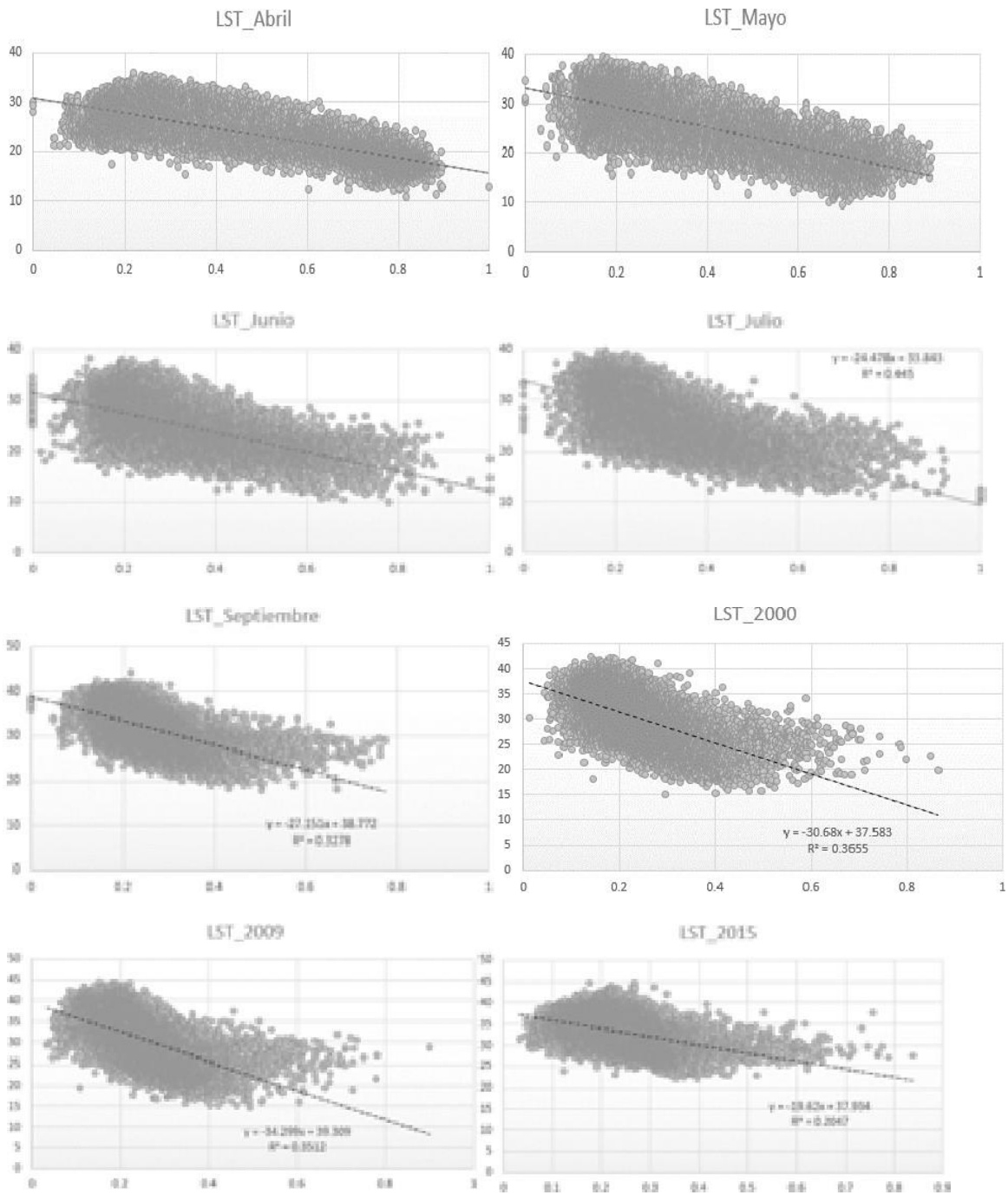
Histogramas, varianza y media:



C:

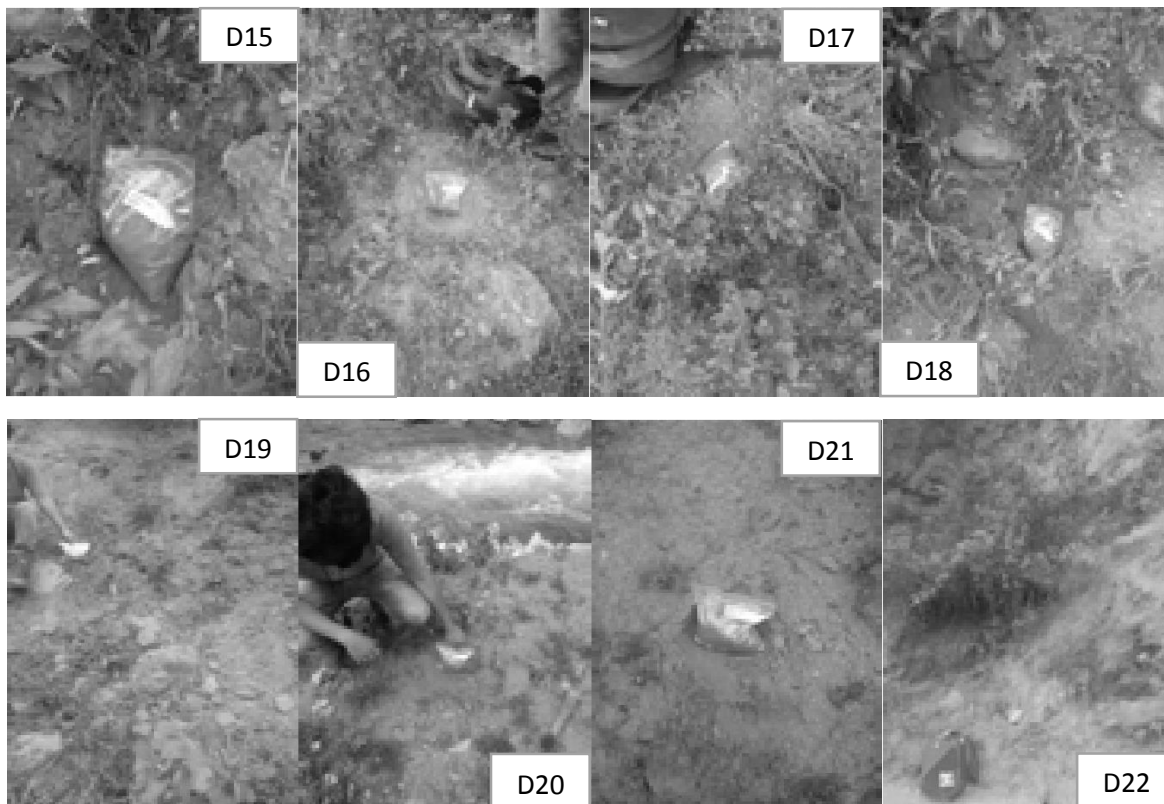


NDVI VS LST

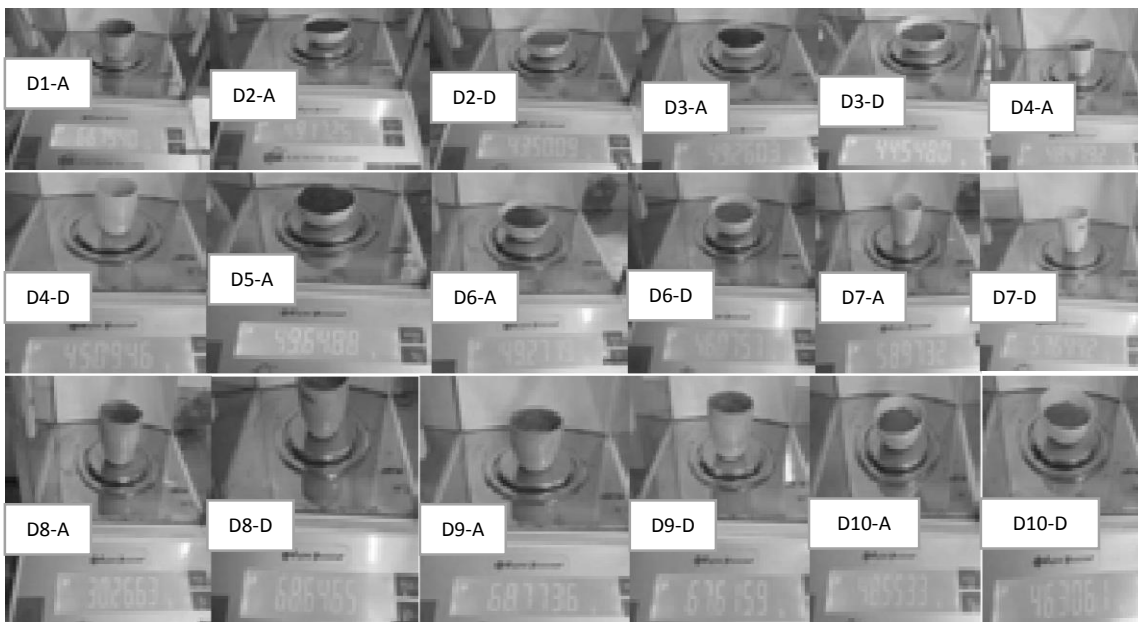


D:
Muestras de suelos





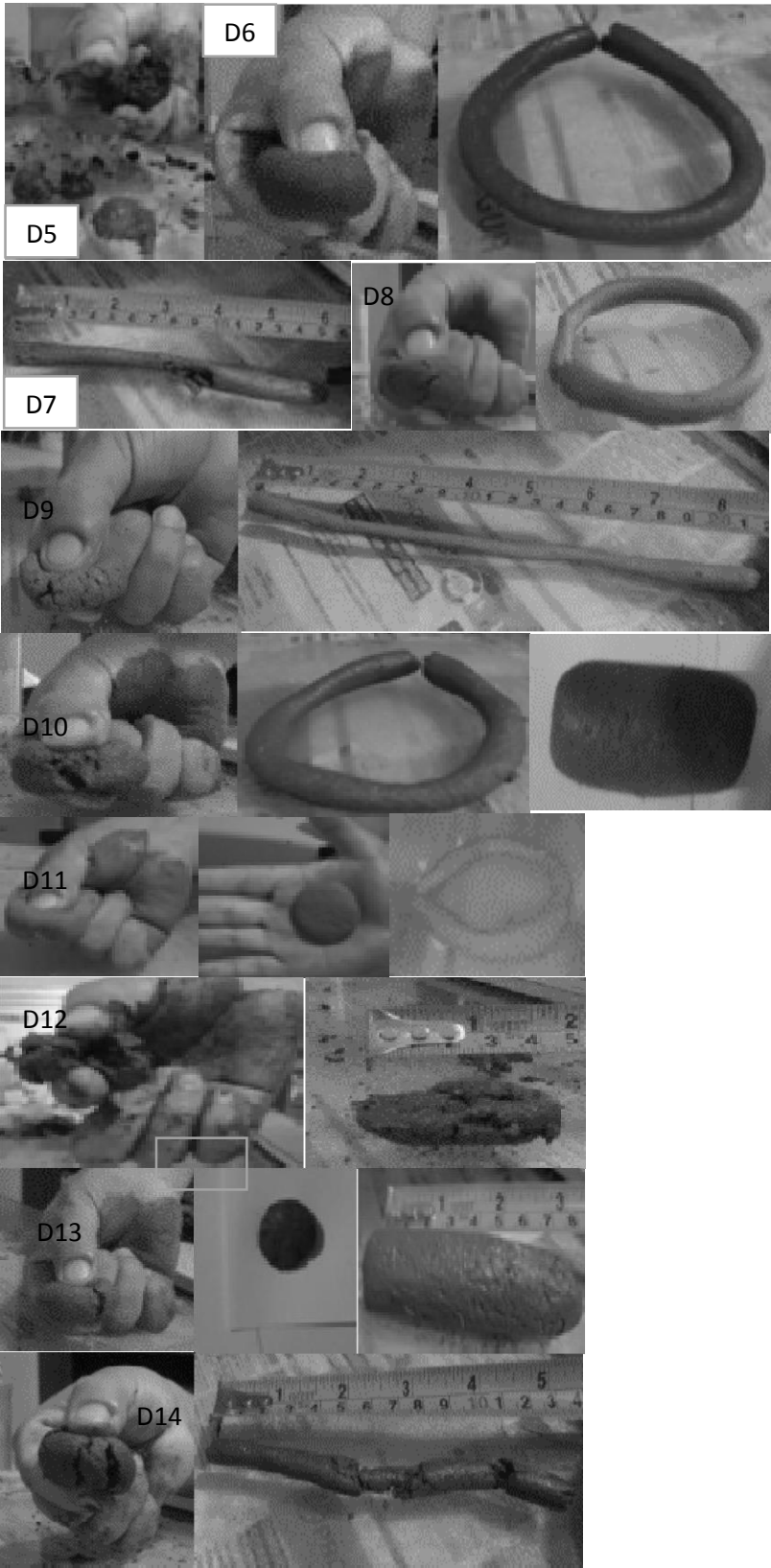
Registros de pesos, (A: inicial – D: despues)

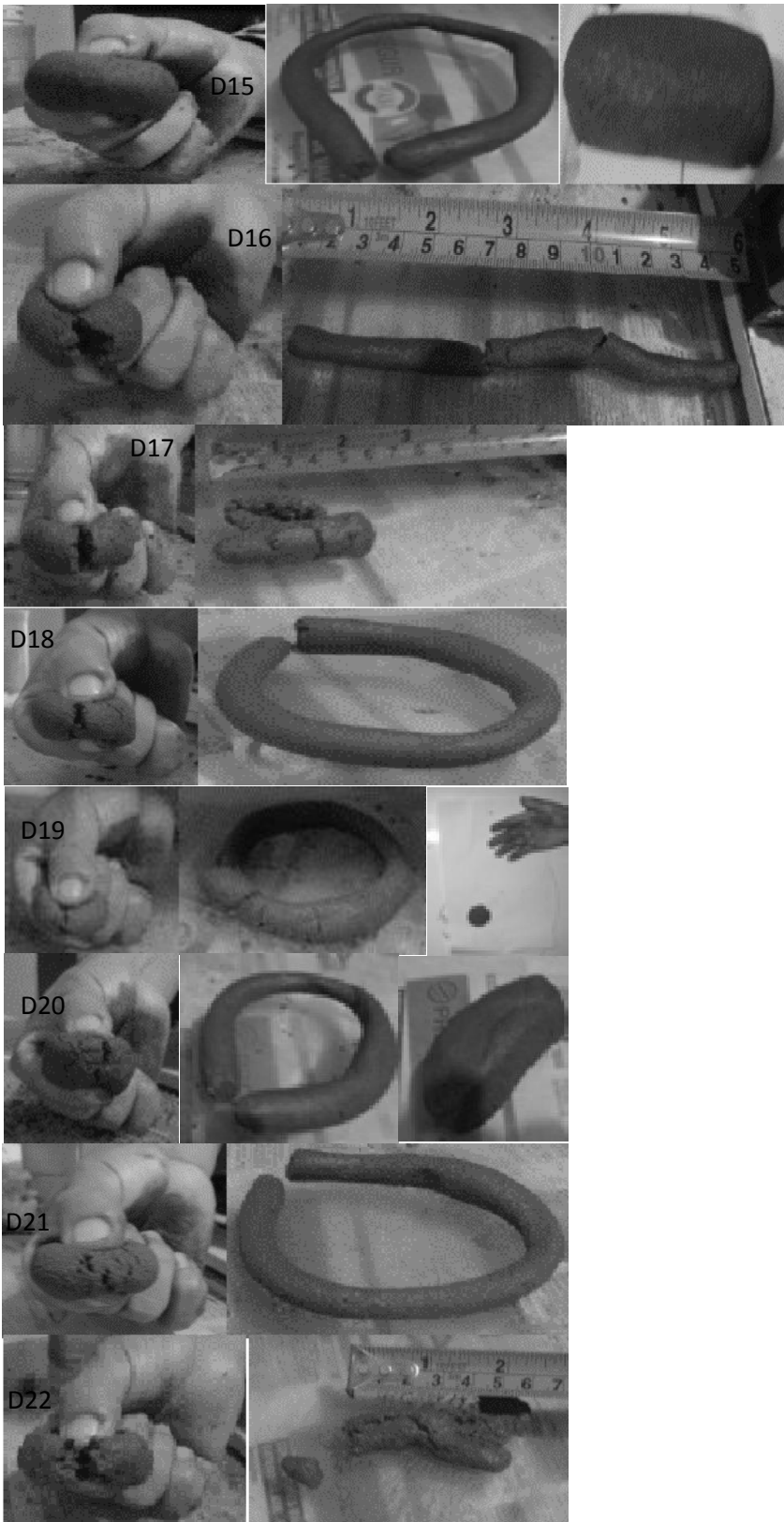




Textura del suelo:







Matriz de consistencia

Problema de investigación	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidad/				
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Y = Degradación de suelos; X1 = Erosión hídrica; X2 = Índice de Sequía	Parametros Físicoquímicos	PH	Grado de acidez				
¿Será posible determinar la degradación de suelos por erosión hídrica y el índice de sequía en la cuenca media del río Chillón para el periodo del 2000 al 2018?	Determinar la degradación de suelos por erosión hídrica y el índice de sequía en la cuenca media del río Chillón para el periodo de 2000 al 2018.	Es posible determinar la degradación de suelos por erosión hídrica y el índice de sequía en la cuenca media del río Chillón para el periodo del 2000 al 2018.								
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicos								
¿Cómo se relacionan las características morfométricas con la degradación de suelos para la cuenca media del río Chillón?	Determinar las características morfométricas que intervienen en la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón.	Existe relación entre las características morfométricas y la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón.								
¿Cómo influye la cobertura con la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón para el periodo del 2000 al 2018?	Determinar la cobertura en la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón para el periodo del 2000 al 2018?	Existe influencia entre la cobertura y la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón para el periodo del 2000 al 2018?								
¿Cómo la agresividad climática se ha relacionado con la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón para el periodo de 2000 al 2018?	Determinar la relación entre la agresividad climática y la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón para el periodo de 2000 al 2018.	Existe relación con la degradación de suelos y la agresividad climática en la cuenca media del río Chillón para el periodo de 2000 al 2018.								
¿Cómo influye el índice de costra con la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón?	Determinar el índice de costra en la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón.	Existe un grado de influencia con el índice de costra y la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón.								
¿De qué forma el índice de sequía interviene en la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón para el periodo de 2000 al 2018?	Determinar el índice de sequía en la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón para el periodo del 2000 al 2018.	Existe un grado de influencia con el índice de sequía y la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón para el periodo de 2000 al 2018.								
¿En qué forma los parámetros físicoquímicos intervienen en la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón?	Determinar los parámetros físicoquímicos para la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón.	Los parámetros físicoquímicos no marcan una influencia importante con la degradación de suelos en la cuenca media del río Chillón.								
								índice de costra	Zf,c	%
									Arcilla	%
								Factor Topografico	Factor L	Sin dimension
									Factor S	Sin dimension
								Erodibilidad	Factor K	MJ-1.mm-1.Ton.h
				Erosividad	Factor R	MJ.mm. ha-1.h-1.año-1				
				Practiclas	Factor P	Sin dimension				
				Cobertura	Factor C	Sin dimension				
				Sequia	Índice de Sequía	Grado de Sequía				