

Universidad Nacional
Federico Villarreal

Vicerrectorado de
INVESTIGACION

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

**“ZONIFICACIÓN EDAFOCLIMÁTICA DEL CULTIVO DE ALFALFA EN LA
SUBCUENCA DEL RIO CACHI, REGIÓN AYACUCHO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
GEÓGRAFO**

AUTORA

RAMIREZ VILCA SAYURI MARTHA

ASESOR

DR. JHON WALTER GOMEZ LORA

JURADO

DR. ZAMORA TALAVERANO NOÉ SABINO JORGE

DR. GALARZA ZAPATA EDWIN JAIME

M.Sc. GOMEZ ESCRIBA BENIGNO PAULO

DR. CESAR JORGE ARGUEDAS MADRID

LIMA - PERU

2019

PENSAMIENTOS

“Todo lo Puedo en Cristo que me Fortalece”. (Filipenses 4:13)

“No hay silencio que DIOS no entienda, ni tristezas de las que Él no sepa. No hay amor que Él ignore, ni lágrimas que no valore... Porque Él te ama.”

“Pero los que esperan a Jehová tendrán nuevas fuerzas; levantarán alas como las águilas; correrán, y no se cansarán; caminarán, y no se fatigarán.”(Isaías 40:31)

Porque cuando soy débil, entonces soy fuerte. (2 Corintios 12:10)

Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en dondequiera que vayas. (Josué 1:9-11)

No temas, porque yo estoy contigo; no desmayes, porque yo soy tu Dios que te esfuerzo; siempre te ayudaré, siempre te sustentaré con la diestra de mi justicia. (Isaías 41:10)

EL que hábita al abrigo del Altísimo, Morará bajo la sombra del Omnipotente. (Salmos 91)

DEDICATORIA

A MI DIOS:

Por derramar sus bendiciones sobre mí y llenarme de sus fuerzas para vencer todos los obstáculos desde el principio de mi vida. Por ser mi padre y confidente, el amigo que nunca falla y la luz que guía mi camino. Gracias por hacer realidad este sueño anhelado TE AMO.

A JESUCRISTO:

Por ser el ejemplo mas grande de Amor en este mundo. Por el sacrificio que hizo por mi en la cruz. Él es mi modelo a seguir, me demostró ser un hombre valiente y que Él es el camino, la verdad y la vida y que nadie va al Padre sino por Él.

A MI MADRE:

Edelmira que estuvo siempre a mi lado brindandome todo el amor, el apoyo incondicional y su mano amiga dándome a cada instante una palabra de aliento para llegar a culminar mi profesión. Mi madre es la mejor bendición que Dios me pudo dar, única e irremplazable, pilar fundamental para el logro de mis objetivos. Con éste detalle te expreso mi más profundo amor y agradecimiento por todo lo que has hecho por mí.

A MIS HIJAS:

Sayuri y Jhakory, mis mágicas princesas. Si no las tuviera mi vida sería un desastre. Cada vez que las veo me doy cuenta del gran amor de Dios hacia mí, y al mismo tiempo siento ganas de trabajar fuertemente y seguir con el objetivo de alcanzar mis metas. Ustedes son mi principal motivación.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Federico Villarreal, por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional, en particular a la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo, quién me acogió en sus aulas donde todos los profesores aportaron con sus conocimientos, para fortalecer los míos.

Al Dr. Jhon Walter Gomez Lora, asesor de la tesis por su invaluable apoyo en la ejecución, sus constantes críticas y sus orientaciones para la culminación del presente trabajo de investigación.

También me gustaría agradecer a mis profesores durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación, y en especial a mis profesores M.Sc. Ever Enrique Castillo Osorio, M.Sc. Ruben Martinez Cabrera, M.Sc. Carmen Luz Ventura Barrera, quienes despertaron en mi el interés por la Geografía en mis épocas de estudiante de grado en la Universidad Nacional Federico Villarreal.

A mis profesores informantes Dr. Galarza Zapata Edwin Jaime, Dr. Sandoval Ricci Aldo Juan, M.Sc. Gomez Escriba Benigno Paulo, Dr. Zamora Talaverano Noe Sabino.

Con todo mi cariño para las personas que me apoyaron para lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento, en especial a: M.Sc. Godofredo Mamani Mamani, Por su constante aliento, consejos y sugerencias recibidos en el presente trabajo.

A mi familia, mis padres, mis hermanos Martha, Yussi y Tahiro. En especial a mi madre Edelmira Vilca Velarde y mis retoños Sayuri y Jhakory.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones. Muchas gracias y que Dios los bendiga.

RESUMEN

El estudio se fundamenta en la determinación de la zonificación edafo-climática del cultivo de alfalfa de la subcuenca del río Cachi, empleando como base el sistema de información geográfica (SIG) e imagen satelital, donde se consideran los requerimientos de la alfalfa, con el propósito de obtener zonas óptimas.

La metodología evalúa la aptitud de la subcuenca, basadas en las disponibilidades climáticas y edáficas; en los requerimientos del cultivo de la alfalfa.

La zonificación edafoclimática del cultivo de alfalfa, se hizo a través del modelo metodológico generado por CLIRSEN (2010) usando como base la metodología de zonificación de la FAO (1997), donde se sobreponen diversas capas de información espacial, con la finalidad de definir zonas con cierto nivel de aptitud.

Los datos empleados en el proceso fueron recopilados de distintas instituciones del estado como SENAMHI, en donde se usaron 16 estaciones meteorológicas con mediciones de precipitación media anual y mensual, temperatura media anual y mensual, Temperatura Máxima y Mínima mensual. Con el apoyo técnico del INIA-CANAAN AYACUCHO, se elaboró la cartografía del suelo considerando la textura, profundidad efectiva, materia orgánica, entre otros se hizo clasificación según acorde con su capacidad. Con esta información climática y edáfica, se realizó la combinación y el análisis para obtener la zonificación Edafoclimática, aplicando los sistemas de información geográfica y obteniendo como resultado zonas óptimas para el cultivo de Alfalfa.

Palabras Claves: Zonificación Edafoclimática

ABSTRACT

The study is based on the determination of the edapho-climatic zoning of the alfalfa culture of the sub-basin of the Cachi River, using as base the geographical information system (GIS) and satellite image, where the requirements of the alfalfa are considered, with the purpose of obtaining optimal zones.

The methodology evaluates the suitability of the sub-basin, based on climatic and edaphic availability; in the requirements of the cultivation of alfalfa.

The edaphoclimatic zoning of alfalfa cultivation was done through the methodological model generated by CLIRSEN (2010 and nd) using as a basis the zoning methodology of FAO (1997), where various layers of spatial information are superimposed, with the purpose of define zones with a certain level of aptitude.

The data used in the process were collected from various state institutions such as SENAMHI, where 16 annual and monthly meteorological stations are used, average annual and monthly temperature, monthly maximum and minimum temperature. With the technical support of the INIA-CANAAN AYACUCHO, soil mapping was elaborated considering the texture, the effective depth, the organic matter, among others; it was made according to the criterion with its capacity. With this climatic and edaphic information, the combination and the analysis were carried out to obtain the Edaphoclimatic zoning, applying the geographic information systems and obtaining optimal zones for the cultivation of Alfalfa as a result.

Key words: Zoning Edaphoclimatic

INDICE GENERAL

PENSAMIENTOS	I
DEDICATORIAS.....	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
INDICE GENERAL	VI
INDICE DE TABLAS Y FIGURAS.....	IX
INDICE DE ECUACIONES.....	X
INDICE DE M APAS.....	XI
INDICE DE FOTOGRAFIAS.....	XII
INTRODUCCION	1

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

1.1. Planteamiento del Problema.....	3
1.2. Formulacion del Problema	4
1.2.1. Problema Principal	4
1.2.2. Problema Secundario.....	4
1.3. Objetivos de la investigación	4
1.3.1. Objetivo General	4
1.3.2. Objetivo Especifico	4
1.4. Hipotesis.....	5
1.4.1. Hipotesis General	5
1.4.2. Hipotesis Especifico	5
1.5. Variables	6
1.6. Justificacion e Importancia	7

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes del Estudio	8
2.2. La Alfalfa	9
2.2.1. Origen	9
2.2.2. Importancia Economica.....	10
2.2.3. Distribucion Geografica	11
2.2.4. Fenologia del Cultivo de Alfalfa	12
2.2.5. Requerimientos Edafoclimaticos.....	13
2.2.5.1. Clima	14
2.2.5.2. Requerimientos de Agua	16
2.2.5.3. Suelo.....	16
2.2.5.4. Drenaje del Suelo	18
2.2.5.5. Altitud.....	18
2.2.6. Plagas y Enfermedades	19
2.2.7. Zonificación	20
2.2.7.1. Zonificación Edafoclimática	21
2.2.7.2. Factores Determinantes en Zonificación Edafoclimática.....	21

2.2.7.3. Metodología de Zonificación del CLIRSEN (2010)	23
2.2.8. Aplicación de la Información Geoespacial (Geomática)	24
2.2.8.1. Percepción Remota o Teledetección.....	24
2.2.8.2. Fotogrametría	25
2.2.8.3. Sistemas de Información Geográfica.....	25
2.2.8.4. Metodología de Superposición de Mapas.....	26
2.2.9. Marco Legal	30
2.2.9.1. Acuerdos Nacionales	30
2.2.10. Definición de Términos Básicos.....	32

CAPÍTULO III: MATERIALES, EQUIPOS Y MÉTODOS

3.1. Materiales	33
3.1.1. Cartografía Básica.....	33
3.1.2. Datos Climáticos.....	33
3.1.3. Datos Agrícola.....	33
3.1.4. Imagen Satelital	33
3.1.5. Fotografías Aéreas	33
3.1.6. Modelo de Elevación Digital (DEM)	34
3.2. Equipos.....	34
3.2.1. Software.....	34
3.3. Métodos.....	35
3.3.1. Diseño y Nivel de Investigación.....	35
3.3.2. Caracterización Climática.....	35
3.3.2.1. <i>Control de Calidad de los Datos</i>	35
3.3.2.2. <i>Homogeneidad de las Series</i>	36
3.3.2.3. <i>Completación de Datos Faltantes</i>	40
3.3.2.4. <i>Interpolación de la Variable Precipitación</i>	41
3.3.2.5. <i>Interpolación de la Variable Temperatura</i>	42
3.3.2.6. <i>Álgebra de Mapas</i>	43
3.3.2.7. <i>Método de Validación</i>	43
3.3.3. Caracterización Edáfica	45
3.3.3.1. <i>Fase Preliminar de Gabinete</i>	45
3.3.3.2. <i>Fase De Campo</i>	47
3.3.3.3. <i>Fase De Laboratorio</i>	50
3.3.3.4. <i>Fase Final De Gabinete</i>	56
3.3.4. Caracterización Agrícola	57
3.3.4.1. <i>Requerimientos Edafoclimáticos</i>	57
3.3.4.2. <i>Calendario Agrícola</i>	57
3.3.4.3. <i>Producción Por Campaña Agrícola</i>	57
3.3.4.4. <i>Superficie Cosechada Por Campaña Agrícola</i>	57
3.3.4.5. <i>Rendimiento Por Campaña Agrícola</i>	58
3.3.5. Zonificación Edafoclimática	58
3.3.5. <i>Esquema Metodológico Propuesto</i>	58
3.3.6. Estandarización de la Información.....	61

CAPÍTULO IV: CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. Zona de Estudio.....	62
---------------------------	----

CAPÍTULO V: RESULTADOS

5.1. Caracterización Climática	64
5.1.1. Análisis de Precipitación	67
5.1.2. Análisis de la Temperatura del Aire.....	73
5.1.3. Interpolación Espacial de la Precipitación	73
5.1.4. Interpolación Espacial de la Temperatura del Aire	77
5.2. Caracterización Edáfica	81
5.2.1. Altitud.....	81
5.2.2. Pendiente.....	83
5.2.3. Unidades Geomorfológicas	85
5.2.4. Textura del Suelo	89
5.2.5. Formación Geológica	91
5.2.6. Profundidad Efectiva	93
5.2.7. Análisis Físico - Químico	95
5.3. Caracterización Agrícola.....	98
5.3.1. Requerimientos Edafoclimáticos	98
5.3.2. Calendario Agrícola	99
5.3.3. Producción, Superficie Cosechada y Rendimiento	99
5.4. Caracterización Edafoclimática	105
5.4.1. Zonas Climáticas.....	105
5.4.2. Zonificación Edafoclimática	107

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones	113
7.2. Recomendaciones.....	114

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INDICE DE TABLAS

Nº	Descripción	Pág.
01:	Relación de Variables de la Investigación.....	06
02:	Plagas y Enfermedades	20
03:	Zonificación en función de la disponibilidad climática y edáfica.....	29
04:	Clasificación de la Profundidad Efectiva.....	48
05:	Clasificación de la Pendiente.....	48
06:	Indicadores de pedregosidad.....	49
07:	Drenaje del Suelo.....	50
08:	Clasificación de la Topografía.....	50
09:	Descripción de la Textura del Suelo.....	51
10:	Clasificación de la Reacción del Suelo.....	52
11:	Clasificación de la Materia Orgánica.....	52
12:	Clasificación del Nitrogeno.....	52
13:	Clasificación del Fósforo.....	53
14:	Clasificación del Potasio.....	53
15:	Clasificación del CE.....	53
16:	Clasificación del CIC.....	54
17:	Estaciones Meteorologicas Seleccionadas.....	65
18:	Pruebas de Normalidad para los datos de Precipitacion con SPSS.....	67
19:	Estaciones seleccionadas para la estimación de la Precipitación.....	68
20:	Resultados de las ecuaciones lineales.....	69
21:	Regresión lineal, a nivel mensual, entre las estaciones pluviométricas elegidas.....	72
22:	Error Estándar Kriging Ordinario.....	75
23:	Resultado estadístico del modelo de interpolación de la precipitación.....	75
24:	Superficie de ocupación de los diferentes rangos de altitud.....	81
25:	Superficie de ocupación de los diferentes rangos de pendiente.....	83
26:	Superficie de ocupación de las unidades geomorfológicas.....	85
27:	Descripción de las unidades geomorfológicas de la subcuenca del rio cachi.....	86
28:	Superficie de ocupación de la textura del suelo.....	89
29:	Superficie de ocupación de la formación geologica.....	91
30:	Superficie de ocupación de la profundidad efectiva.....	93
31:	Análisis del suelo en la Subcuenca del Rio Cachi.....	96
32:	Análisis de Calidad de Agua para riego de los Ríos de la Subcuenca del Rio Cachi..	97
33:	Requerimientos Edafoclimaticos del cultivo de alfalfa.....	98
34:	Calendario agrícola del cultivo de alfalfa.....	99
35:	Indicadores del cultivo de Alfalfa (1997-2010)	99
36:	Superficie de ocupación de zonas climáticas.....	105
37:	Superficie de ocupación de la zonificación Edafoclimática.....	107

INDICE DE FIGURAS

N°	Descripción	Pág.
01:	Fases Fenológicas de la alfalfa.....	13
02:	Proceso de Unión de los mapas.....	24
03:	Entrada de datos en un GIS.....	26
04:	Proceso de Superposición.....	27
05:	Flujograma metodológico de zonificación Edafoclimática.....	60
06:	Análisis de Doble Masa entre las Estaciones Ayacucho, La Quinoa, San Pedro de Cachi y Wayllapampa.....	69
07:	Resultados del análisis de Doble Masa entre las estaciones Wayllapampa y Ayacucho.....	70
08:	Resultados del análisis de Doble Masa entre las estaciones San Pedro de cachi y Ayacucho.....	70
09:	Resultados del análisis de Doble Masa entre las estaciones La Quinoa y Ayacucho.....	71
10:	Predicción Método Kriging Ordinario.....	74
11:	Calculo de análisis de Regresión Lineal.....	77
12:	Distribución Porcentual de la altitud.....	81
13:	Distribución Porcentual de la pendiente.....	83
14:	Distribución Porcentual de las unidades geomorfológicas.....	85
15:	Distribución Porcentual de la textura del suelo.....	89
16:	Distribución Porcentual dela formación geológica.....	91
17:	Distribución Porcentual de la profundidad efectiva.....	93
18:	Evolucion de la produccìon del cultivo de alfalfa por distrito.....	100
19:	Evolucion de la superficie cosechada del cultivo de alfalfa por distrito.....	100
20:	Rendimiento en la producción del cultivo de alfalfa.....	101
21:	Distribuciòn Porcentual de zonas climáticas.....	105
22:	Distribución Porcentual de la Zonificación Edafoclimática.....	107

INDICE DE ECUACIONES

N°	Descripción	Pág.
01:	Distribución t-Student.....	36
02:	Probabilidad Acumulada - Prueba T.....	37
03:	Función Gamma.....	37
04:	Prueba F - Fisher.....	37
05:	Probabilidad Acumulada - Prueba F.....	38
06:	Prueba Kruskal Wallis.....	39
07:	Regresión Lineal.....	40
08:	Kriging.....	41
09:	Semivariograma.....	42
10:	Regresión Lineal Múltiple.....	43
11:	Media de Errores al Cuadrado.....	45
12:	Media de Errores.....	45

INDICE DE MAPAS

N°	Descripción	Pág.
01:	Imagen Satelital del Área en estudio.....	63
02:	Estaciones dentro y fuera del área en estudio.....	66
03:	Promedio Multianual de Precipitación (1993 - 2014)	76
04:	Promedio Multianual de la Temperatura Máxima del Aire (1993 - 2014)	78
05:	Promedio Multianual de la Temperatura Mínima del Aire (1993 - 2014)	79
06:	Promedio Multianual de la Temperatura Media del Aire (1993 - 2014)	80
07:	Altitud de la Subcuenca del Rio Cachi.....	82
08:	Pendiente.....	84
09:	Unidades Geomorfológicas.....	88
10:	Textura del Suelo.....	90
11:	Formación Geologica.....	92
12:	Profundidad Efectiva.....	94
13:	Producción del cultivo de alfalfa - Campaña Agrícola (1997-2014).....	102
14:	Superficie Cosechada del cultivo de alfalfa - Campaña Agrícola (1997-2014).....	103
15:	Rendimiento del cultivo de alfalfa - Campaña Agrícola (1997-2014).....	104
16:	Zonas Climaticas - Periodo (1993-2014)	106
17:	Zonificación Edafoclimática del cultivo de Alfalfa.....	108

INDICE DE FOTOGRAFIAS

N°	Descripción	Pág.
01:	Cultivo de alfalfa.....	12
02:	Fotografías Aéreas en líneas de vuelo.....	46
03:	Vista de la Unidad Geomorfológica, cerca a la localidad de Pacaycasa.....	187
04:	Vista de la Unidad Geomorfológica, en la localidad de Acosvinchos.....	187
05:	Zona de pastoreo para Ganado en la localidad de La Quinua.....	188
06:	Presencia de bofedales en grandes extensiones favorece la ganadería sobre todo alpacuna, por su altitud y vegetación dominante en las partes altas de la localidad de La Quinua.....	188
07:	Vista de pequeñas parcelas de cultivo de Alfalfa en anexos dentro de la Localidad de Huamanguilla.....	189
08:	Vista de parcelas con cultivo de alfalfa en la localidad de Huanta.....	189
09:	Extracción de muestras de suelo en cada unidad geomorfológica determinada.....	190
10:	En el campo, se procedió a realizar los ajustes en la delimitación de las Unidades Geomorfológicas.....	190
11:	La pendiente se evaluó utilizando un equipo denominado Clinómetro, que mide el grado de inclinación del terreno en grados y porcentaje.....	191
12:	Establecimiento de pequeñas parcelas con cultivo de alfalfa en la localidad de Huanta.....	191
13:	Zona de instalación de cultivo de Alfalfa con la especie Medicago sativa.....	192
14:	Parcelas con Cultivos de Alfalfa que fueron sembradas con suficientes sustancias nutritivas desde el inicio, para que así de acuerdo con su potencial genético crezcan y se desarrollen muy rápido y produzcan en lo posible abundante forraje.....	192

ANEXOS

GLOSARIO

INTRODUCCIÓN

Las tierras de pastoreo cubren una vasta área de la superficie de la tierra y son el medio de vida de muchos agricultores y ganaderos; sin embargo, difícilmente proporcionan cantidades adecuadas de forraje durante todo el año, en cantidad y calidad, como para alimentar ganado a altos niveles de producción. Dado que el forraje verde está disponible sólo en forma estacional, la provisión de forraje para las estaciones de escasez ha sido siempre uno de los principales problemas de muchos sistemas de producción de ganado. (FAO, 2003).

En Perú, los Pastizales altoandinos cubren aproximadamente una extensión de 20 millones Has. , según la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (1984), 10 millones se encuentran en áreas consideradas aptas para pastoreo. Esta realidad ha convertido a este recurso como la fuente más importante de alimento para la ganadería, sin embargo, la producción de forraje depende del suelo, agua y clima, Si consideramos que los efectos del suelo al contrario del clima no sufre mucha variación, la fluctuación de la producción de forraje se debe en gran parte a la variación del clima. (Gilvonio, 2013). Limitando el crecimiento y desarrollo y propagación de los pastizales, reduciendo los rendimientos esperados, lo que ocasionan disminución de los ingresos económicos y una baja competitividad que se traduce en un escaso desarrollo de la actividad agrícola y pecuaria.

En la Subcuenca del Rio Cachi se sigue desarrollando la ganadería extensiva (vacuna, ovina y porcina) que se alimentan básicamente de Forraje el cual depende de los factores climáticos y edáficos adecuados para el desarrollo de la planta forrajera. Con el fin de mejorar la calidad de vida de los pequeños ganaderos lecheros se ha introducido la alfalfa pues es un cultivo que se adapta y posee alta capacidad productiva, para incrementar la producción y comercialización de leche y sus derivados mediante la mejora de la ración alimenticia del ganado en términos de volumen y de calidad proteica, según el Programa Nacional de Investigación de Pastos y Forrajes – INIA (2006-2010).

El propósito del presente trabajo de investigación consiste en determinar áreas potenciales en suelo y clima para la producción de Alfalfa utilizando como herramienta

la zonificación en donde se pueden señalar las mejores áreas, que ofrecen las mejores condiciones para la producción de semilla de alfalfa.

La zonificación edafoclimática permitirá identificar áreas con suelos apropiados y de bajo riesgo climático para la producción de alfalfa como forraje mediante la aplicación de sistemas de información geográfica, a partir de sus requerimientos Agroclimáticos que ofrece la región. Lo que permitirá identificar las épocas apropiadas para su siembra y aumentar la resistencia a plagas y enfermedades y obtener un alto rendimiento de producción de alfalfa de buena calidad.

Las técnicas de zonificación edafoclimática, utilizando manejo integrado del suelo y agua basados en tecnología de Sistemas de Información geográfica han venido siendo utilizados por la FAO desde 1978 (Sivakumar, 2003). En el Perú, existen muy pocas experiencias en lo que concierne a la zonificación de cultivos y forrajes, ninguna para Alfalfa.

Estos resultados son, lógicamente, consistentes con el nivel de información disponible y son susceptibles de futura actualización a medida que nuevas investigaciones hagan posible introducir en el proceso datos más confiables o detallados.

CAPITULO I. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

1.1. Planteamiento del Problema.

En la Región de Ayacucho, la producción del cultivo de alfalfa se encuentra con valores bajos principalmente en las superficies sembradas, se ha estimado que hay 20 000 ha con alfalfa (Valdivia, 1996) con un rendimiento promedio de 30 T/ha (MINAG, 2007), comparado con otras regiones como Arequipa con 35 000 ha y rendimiento de 72 T/ha (MINAG, 2007), la región de Lima cuenta con 20 000 ha y 40 T/ha (MINAG, 2007).

Una de las preocupaciones en la actualidad, es el limitado uso e introducción del cultivo de alfalfa (*Medicago Sativa*), como forraje de calidad nutritiva, que tiene un amplio rango de adaptación al clima y suelo, además posee alta capacidad productiva que permite mejorar la explotación ganadera y reducir la erosión de los suelos.

D'Attellis (2005), indica que la alfalfa es un cultivo que permite aumentar la carga animal, mantener el stock, mejorar la ganancia en peso o el rendimiento en producción individual de leche. Además, se constituye en la base de la oferta forrajera con un forraje de calidad, es posible cosecharlo y conservarlo como reserva forrajera, no limita a los sistemas de alta productividad, reduce costos variables, aumenta la estabilidad de producción, y, bien manejado, no extrae del sistema uno de los recursos más escasos, como el nitrógeno edáfico, sino que, por el contrario, incorpora materia orgánica y recupera fertilidad del suelo.

De igual manera, se ha desarrollado la ganadería extensiva (vacuna, ovina y porcina) en la Sub cuenca del río Cachi que se alimenta básicamente de forraje de praderas naturales de baja calidad proteica, el cual depende de los factores climáticos y edáficos adecuados para las características fisiológicas de la planta; pero la insuficiente disponibilidad de esta planta en periodos deficitarios (sequias y heladas) constituye una preocupación permanente para los ganaderos lecheros.

Uno de los problemas del uso del cultivo de alfalfa en la sub cuenca del río cachi (región Ayacucho), es de no tener conocimiento de las zonas aptas para la producción de esta forrajera por parte de nuestros agricultores y ganaderos que constituye la preocupación esencial de esta investigación.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema Principal.

¿La falta de conocimiento de zonas con alto potencial edafoclimático produce alfalfa de baja calidad proteica para la ganadería en la Subcuenca del rio cachi?

1.2.2. Problema Secundario.

- ✓ ¿En que medida las características Edafoclimaticas lograrían mejorar la calidad de producción de alfalfa?
- ✓ ¿La combinación de suelo, fisiografía y características climáticas definen zonas aptas para la producción de alfalfa?
- ✓ ¿La existencia de zonas con alto potencial se puede identificar mediante los sistemas de información geográfica y realizar una zonificación edafoclimatica?

1.3. Objetivos de la investigación.

1.3.1. Objetivo General.

- ✓ Identificar las zonas de potencial edafoclimático para la producción del cultivo de alfalfa, en la Subcuenca del río cachi de la región de Ayacucho.

1.3.2. Objetivos Especificos.

- ✓ Determinar los requerimientos edafoclimáticos que influyen en la producción del cultivo de alfalfa.
- ✓ Zonificar edafoclimaticamente el cultivo de alfalfa teniendo en cuenta sus requerimientos edafoclimaticos (suelo, fisiografía y clima).
- ✓ Emplear Sistemas de Informacion Geografica (SIG) en el modelamiento, análisis y procesamiento de datos para definir las zonas homogéneas edafoclimáticas.

1.4. Hipótesis.

1.4.1 Hipótesis General.

- ✓ ¿La identificación de zonas con potencial edafoclimático para la producción del cultivo de alfalfa, incrementará la producción de alfalfa de alta calidad en la subcuenca del río Cachi?

1.4.2 Hipótesis Específicas.

- ✓ Es factible usar el cultivo de alfalfa como fuente nutricional que por sus características climáticas y edáficas, se pueda adaptar a las condiciones edafoclimáticas de la subcuenca del río Cachi y logre un buen rendimiento.
- ✓ Es posible determinar la zonificación edafoclimática con la aplicación de sistemas de información geográfica (SIG), para identificar zonas con potencial edafoclimático para el cultivo de alfalfa.
- ✓ El conocimiento de zonas con potencial edafoclimático para el cultivo de alfalfa, posibilitará el incremento de la producción en la subcuenca del río Cachi.

1.5. Variables.

Para el desarrollo del presente trabajo se pide necesario considerar los aspectos que se presentan en la Tabla N° 01.

Tabla N° 01: Relación de Variables de la Investigación

HIPÓTESIS	VARIABLES		Indicadores	Índice
HIPÓTESIS GENERAL	V.I.	V.D.		
¿La identificación de zonas con potencial edafoclimático para la producción del cultivo de alfalfa, incrementará la producción de alfalfa de alta calidad en la subcuenca del río Cachi?	Zonificación Edafoclimatica	Zonas con potencial para la producción del cultivo de alfalfa	Óptima	Ha.
			Menos Óptima	Ha.
			No Óptima	Ha.
Hipótesis Específicas	Variables Independiente	Variables Dependiente	Indicadores	Índice
Es factible usar el cultivo de alfalfa como fuente nutricional que por sus requerimientos climáticos y edáficos, se pueda adaptar a las condiciones edafoclimaticas de la subcuenca del rio cachi y logre un buen rendimiento.	Requerimientos climáticos y edáficos.	Conocimiento de la adaptación y rendimiento	Precipitacion Optima	mm.
			Temperatura Optima	°C
			pH	
			Mo	%
			Textura	
			Pendiente	%
Es posible determinar la zonificación edafoclimatica con la aplicación de sistemas de información geográfica (SIG), para identificar zonas con potencial edafoclimatico para el cultivo de alfalfa.	Sistemas de Información Geográfica (SIG).	Zonas con potencial edafoclimatico.	Precipitación	mm
			Temperatura	°C
			Altitud	msnm
			Unidades Geomorfologicas	
			Textura del Suelo	
			Profundidad efectiva	cm.
El conocimiento de zonas con potencial edafoclimatico para el cultivo de alfalfa, posibilitará el incremento de la producción en la subcuenca del rio cachi.	zonas con potencial edafoclimático	Incremento de la producción	Zona Óptima	Ha.

Fuente: Elaboración Propia

1.6. Justificación e Importancia.

Nardi (1999), menciona que la pastura de alfalfa es el recurso forrajero más utilizado en la mayoría de las cuencas lecheras del país. La misma se destaca como el componente alimenticio de menor precio, valores de calidad (digestibilidad y contenido de proteína) elevados y una disponibilidad regular a través del año. A pesar de todas estas cualidades, la pastura de alfalfa es un recurso forrajero donde el manejo es aún muy deficiente.

En el presente trabajo se pretende determinar las áreas potenciales para el cultivo de alfalfa mediante la zonificación, a partir de sus requerimientos y condiciones edafoclimáticas que ofrece la subcuenca.

La zonificación edafoclimática permitirá identificar áreas con suelos apropiados y de bajo riesgo climático para la producción de alfalfa como forraje mediante la aplicación de sistemas de información geográfica. Lo que permitirá identificar las épocas apropiadas para su siembra y aumentar la resistencia a plagas y enfermedades y obtener un alto rendimiento de producción de alfalfa de buena calidad.

Este estudio es un esfuerzo orientado a contribuir a la expansión del cultivo de alfalfa y por ende disminuir la dependencia alimentaria. Es por ello que la introducción de la alfalfa como forraje en la subcuenca del río Cachi beneficiará a los productores que se dedican a la ganadería como actividad principal.

En el Perú, existen muy pocas experiencias en lo que concierne a la zonificación de forrajes, ninguna para Alfalfa.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Estudio.

Existe poca experiencia en el mundo sobre zonificación ecológica de cultivos en el medio tropical. Entre los esfuerzos se puede mencionar el que llevo a cabo Papadakis (1966) en el oeste de África (costa Marfil, Dahomey, Ghana, Liberia y Togo), este es un trabajo bastante generalizado y basado en un análisis agroclimático y edáfico simple. En America Tropical se pueden señalar los trabajos que realizo con anterioridad el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA, 1969) para el área de centroamericana y los de Aguirre y salas (1965) para frijol en el Istmo Centroamericano. Estos estudios, si bien alcanzaron una expresión cartográfica de síntesis, son altamente criticables ya que consideran en el análisis de variables climáticas y no agroclimáticas, que sería lo recomendable.

Algunos geógrafos brasileiros como Maricato (1966) y Dos Santos (1966) trataron de llegar a zonificaciones de cultivos mediante la determinación de fitoclimogramas, desgraciadamente los ensayos de expresión cartográfica son extremadamente deficientes. Estos ensayos corresponden a cultivos como cacao, caña de azúcar, coco y tabaco, entre otro, y el espacio geoFigura considerado fue el Brasil.

Otro aporte significativo realizado en beneficio de la zonificación ecológica de cultivos en el trópico americano es el conjunto de trabajos que se han llevado a cabo en Venezuela, aplicando el moderno concepto agroclimático para la definición de tipos agroclimáticos para un grupo de cultivos tropicales. Este esfuerzo es consecuencia del Seminario Regional de Agroclimatología que se llevo a cabo en Maracay, Venezuela, en 1961-62. Entre estos estudios se pueden señalar los de Burgos y reyes para cacao (1965), los de Garcia para Café (1968), cítricos (1971) y frijol (1969), el de Garcia y montaldo para yuca (1971), el de Garcia y Sanchez para palma datilera (1967) y el de Garcia et al para ajonjolí (1971). Como se indico anteriormente, estos estudios permitieron definir índices agroclimáticos para los cultivos específicos, a los cuales se adicionó diversos mapas factoriales correspondientes a los valores indicados por los índices. En estos casos no se llevo a la elaboración de una síntesis de los mapas factoriales ni se incluyó ningún factor edáfico.

Las más recientes contribuciones relativas a la zonificación ecológica de cultivos en zonas tropicales, corresponden a los proyectos que el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, llevado a cabo para los países del Mercado Comun Centroamericano (IICA, 1971). Presenta el esquema metodológico empleado en las zonificaciones. Este esquema incluye entre sus etapas, un análisis agroclimático detallado, la inclusión de variables edáficas, y una expresión cartográfica final que sintetiza todas las variables empleadas, llegándose así a delimitarse en el espacio geográfico, las áreas con potencial ecológico para el cultivo que se desee estudiar.

El Proyecto Zonas Agro-ecológicas (ZAE; FAO, 1978) fue un primer ejercicio en la aplicación de la evaluación de tierras a una escala continental. La metodología usada fue innovadora en caracterizar extensiones de tierra por medio de información cuantificada de clima, suelos y otros factores físicos, que se utilizan para predecir la productividad potencial para varios cultivos de acuerdo a sus necesidades específicas de entorno y manejo. Las zonas agro-ecológicas se definen como aquellas que tienen combinaciones similares de clima y características de suelo, y el mismo potencial biofísico para la producción agrícola.

En la última década diversas plataformas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), elaboración de métodos geoestadísticos avanzados y tecnologías en teledetección, han permitido la generación de distintas zonificaciones con mayor grado de precisión (Tonietto, 2005). Entre ellas, se conocen las realizadas en Francia para el cultivo de la vid y la producción de vinos, integrando características climáticas, edáficas y productivas en el concepto de Terroir (Tonietto y Carbonneau, 2002), o las realizadas en Alemania con miras a detectar las condiciones microclimáticas a través del 'Klimaeignungskarte' (Ihl, 1991). En Chile la primera zonificación edafoclimática a escala 1:250000 se realizó por Matus et al. (2005) por la superposición de mapas de clima y suelo.

2.2. La Alfalfa.

2.2.1. Origen.

La alfalfa tiene su área de origen en Asia Menor y sur del Cáucaso, abarcando países como Turquía, Irak, Iran, Siria, Afganistán y Pakistán. Los persas introdujeron la alfalfa en Grecia y de ahí pasó a Italia en el siglo IV Antes de Cristo. La gran difusión de su

cultivo fue llevada a cabo por los árabes a través del norte de África, llegando a España donde se extendió a toda Europa. (Amezquita, E. 1998).

Las alfalfas cultivadas tienen su origen en dos especies con características definidas diferentes, denominadas *Medicago sativa* y *Medicago falcata*. La especie *Medicago sativa*, procede de las altiplanicies de Irán y regiones cercanas, incluyendo los oasis de la Península Arábiga, es una de las plantas más utilizadas como forraje en el mundo, con aproximadamente 32, 000 000 ha cultivadas; Estados Unidos y Argentina, con 16 millones de ha, tienen la mayor superficie sembrada (Bouton, 2001).

Las invasiones de los persas a Grecia posiblemente introdujeron en esa península la alfalfa y, de ahí, pasó a Italia en el siglo IV ó V a. de C. Pero la difusión más importante se dio con las invasiones árabes a través del norte de África, llegando a España, de donde se difundió a Europa. La alfalfa fue introducida en la región provenzal del sur de Francia en el siglo XVI proveniente de España.

Esta especie fue introducida a América del Sur en el siglo XVI, por los portugueses y españoles y en 1870 a Perú, México y Estados Unidos, por misioneros españoles (Muslera y Ratera, 1991).

2.2.2. Importancia Económica.

La importancia del cultivo de la alfalfa va desde su interés como fuente natural de proteínas, fibra, vitaminas y minerales; así como su contribución paisajística y su utilidad como cultivo conservacionista de la fauna.

El alfalfa es una leguminosa que sobresale por su elevada capacidad productiva y alto valor nutritivo, pues llega a superar rendimientos hasta de 450 Kg. De proteína bruta/ha/año. Como lo reporta I. Delgado Enguita (1998) en su estudio es utilizada la alfalfa como forraje para el ganado el cual resulta muy apetecido por el mismo. También se requiere como mejoradora de fertilidad y de la estructura del suelo. Sembrada en alternativa con otros cultivos exigentes en nitrógeno. (I. Delgado Enguita 1998).

Nació en Turquía como cultivo hace más 9000 años y actualmente se cultiva 32 millones de hectáreas en el mundo. Desde Finlandia hasta Sudáfrica. Destacado por países como Estados Unidos 32.7% de la superficie Argentina 23.4%: Rusia con el 10.5% y Canadá con el 7.9%. España cultiva el 1% de la superficie mundial. (Michaud et al., 1988).

En la mayoría de los países latinoamericanos y del mundo, los forrajes constituyen aproximadamente el 80 % del alimento consumido por los rumiantes durante su vida productiva. En México, la alfalfa (*Medicago sativa* L.) es la leguminosa forrajera más utilizada para la alimentación del ganado lechero, en las regiones árida, semiárida y templada. Su importancia radica en la cantidad de forraje obtenido por unidad de superficie cultivada, valor nutritivo, aceptabilidad y consumo animal, ya sea en estado fresco, heno o ensilada. En México, en 1969 se sembraron 160,000 ha, con una producción de 9 millones de toneladas de materia verde. Mientras que para el año 2006 la superficie cultivada con alfalfa fue de 379,103 ha y se cosecharon 28 millones de toneladas de forraje verde, con un rendimiento promedio anual de 75.24 t/ ha. (Cadena Villegas 2009).

Bragachini (1996). La alfalfa es un cultivo que por sus características, sería deseable que esté presente en todas las cadenas forrajeras de los sistemas dedicados a la producción de carne y leche. Sin embargo no todas las regiones son aptas para su establecimiento, dado que existen limitantes de tipo agroclimáticas.

2.2.3. Distribución Geográfica.

Del pozo, M. (1999). Comenta que es ampliamente cultivada en todo el mundo como planta forrajera para el ganado. En America se cultiva desde la llegada de los europeos, algunas variedades tanto a nivel del mar como en los andes hasta cerca de 3700 m.s.n.m. Según <http://www.agronomord.blogspot.com>. (2001), informa que se trata de un cultivo muy extendido en los países de clima templado. La ganadería intensiva es la que ha demandado de forma regular los alimentos que ha tenido que proveer la industria, dando lugar al cultivo de alfalfa, cuya finalidad es abastecer a la industria de piensos. Mientras que <http://www.mundo-pecuario.com/tema192/leguminosas/alfalfa-1071.html>. (2003), explica que la especie se cultiva en zonas frías, entre 1800 y 3200 m.s.n.m.

Juan Ramon Eraso (1985). Indica que alfalfa (*Medicago sativa* L.) es una planta universal y bien conocida; se cultiva en todo El mundo y en todas partes recibe la máxima atención; por algo esta considerada como la reina de las leguminosa o reina de las forrajeras.(Ver Fotografía N° 01).

Fotografía N° 01: Cultivo de Alfalfa



Fuente: INIA - CANAAN AYACUCHO

2.2.4. Fenología del Cultivo de Alfalfa.

La fenología son los cambios externos visibles del proceso de desarrollo de la planta, los cuales son el resultado de las condiciones ambientales, cuyo seguimiento es una tarea muy importante para agrónomos y agricultores, puesto que ello servirá para efectuar futuras programaciones de las labores culturales, riegos, control de plagas y enfermedades, aporques, identificación de épocas críticas; asimismo le permite evaluar la marcha de la campaña agrícola y tener una idea concreta sobre los posibles rendimientos de sus cultivos, mediante pronósticos de cosecha, puesto que el estado del cultivo es el mejor indicador del rendimiento. (Mujica y Canahua, 1989). Ver Figura N° 01.

Figura N° 01: Fases Fenológicas de la alfalfa.



↑ Emergencia	↑ Botón Floral	↑ Floración	↑ Maduración
Fecha en que aparecen los cotiledones por encima de la superficie del suelo. Esta fase se observa solo durante el primer año de la plantación, posteriormente debe suplantarse por la observación de la fase de botón floral.	Aparecen los primeros botones florales.	Aparece la primera flor.	Para uso forrajero se registra la fecha de corte; si el propósito en la producción de semilla, la madurez fisiológica se manifiesta por el oscurecimiento de las vainas.

Fuente: Manual de Observaciones Fenológicas-SENAMHI

2.2.5. Requerimientos Edafoclimáticos.

Klitasch (1965). La alfalfa requiere condiciones muy especiales por lo que respecta a clima y suelo. Por naturaleza, dado su origen estepario, tiene marcada tendencia continental, con clima de verano largo, cálido, contrastes térmicos y lluvias espaciadas; mucha luminosidad, con pocas nubes. Necesita abundante agua; pero puede obtenerla fácilmente de las capas profundas del suelo.

Klinkowski M. (1996). La alfalfa crece extraordinariamente bien en los climas secos, sobre suelos fértiles, donde existe abundancia de humedad aprovechable como ocurre en los suelos bajo riego. Con buena fertilización y prácticas de cultivo adecuadas, como

la inoculación con bacterias fijadoras de nitrógeno y el uso de las variedades mas recomendables.

2.2.5.1. Clima.

Schopflocher (1963). El mejor resultado del cultivo de alfalfa se obtiene en los climas semicalidos y templados, donde haya humedad atmosférica, de mucha luminosidad. En los climas más fríos puede prosperar, siempre que tenga una estación calurosa durante el año. Sufre con las bajas temperaturas de invierno, en especial durante el periodo de juventud.

Benitez (1980). La alfalfa se adapta a un amplio margen de condiciones de clima: templado, frío y cálido seco. En el Peru se desarrolla en las zonas secas y baja interandina y praderas interandinias.

A. Precipitación

Según Krogman y Lutwick (1961). Fijan como cifra mínima para climas secos de montaña de Canadá los 450 mm de lluvia, mientras que para climas cálidos, áridos y desérticos este límite se eleva a los 1400 mm.

Pfitzenmeyer (1963) El consumo de agua de la alfalfa en un clima centroeuropeo durante la estación de crecimiento, alcanza la cifra de 600mm.

Hughes (1974) También es el agua uno de los factores del medio que mas influye en el rendimiento de las plantas forrajeras. En las regiones húmedas, los rendimientos están sujetos a la variación caprichosa de la precipitación.

Sutie (2003) En el caso de los cultivos de secano, es necesaria una precipitación anual mínima de 500 mm en las regiones subtropicales, pero en las zonas mas frías puede ser cultivada con solo 300 mm anuales de lluvia. Las zonas con mas de 800 - 1000 mm de lluvia anual, salvo en los casos de suelos bien drenados y profundos, son menos adecuadas. Por encima de 1000 mm, los suelos son por lo general más ácidos y la humedad es mayor, lo que favorece las enfermedades foliares y hay mas peligro de inundaciones periódicas. La alfalfa requiere una precipitaciones promedio de 900 a 1 200 mm al año (D`Attellis, 2005 y Camacho, 2004) y entre 700 a 900 mm según el ISTP-Antabamba, (2010).

B. Temperatura.

Lorenzo (2000). La temperatura es un factor determinante de la actividad metabólica y del crecimiento y desarrollo de los cultivos; los cambios en la actividad metabólica a veces bruscos, pueden inducir el envejecimiento precoz de las plantas y por tanto reducción de su potencial productivo.

Del Pozo, M. (1971). La semilla de alfalfa comienza a germinar a temperaturas de 2 a 3°C. Siempre que los restantes factores (humedad, fertilizantes, etc), no actúen como limitantes.

Duthil (1971). El crecimiento de las leguminosas tiene lugar a temperaturas superiores, por lo general a las de las gramíneas: 20° a 25°C. De media. Algunas de ellas, como la alfalfa, resisten muy bien las temperaturas altas.

Fertisa (2005) y Paladines (2004). El crecimiento de las leguminosas (alfalfa) tiene lugar a temperaturas superiores, por lo general, a las de las gramíneas: 20°C a 25°C de media. La Alfalfa resiste muy bien las temperaturas altas. Temperaturas superiores a 38°C resultan letales para las plántulas. Existen Variedades de alfalfas que toleran temperaturas muy bajas (-10°C). La temperatura media anual para la producción forrajera esta en torno a los 15 °C. Siendo el grado optimo de temperaturas, según las variedades de 18 - 28°C.

Para la germinación requiere una temperatura óptima de 20 a 30 °C. Sin embargo, el proceso de germinación puede iniciarse con temperaturas de 2 hasta 38 °C (Del pozo, 1974; Villareal; Arrieta y Romero, 2008) y entre 6 a 10 °C según el ISTP-Antabamba, (2010).

En la etapa de crecimiento vegetativo la temperatura óptima requerida es de 18 a 28 °C, con un mínimo de 5 °C y un máximo de 30 °C (Del pozo, 1974; Villareal; Camacho, 2004; Mayhua et al, 2008; D`Attellis, 2005; Arrieta y Romero, 2008); mientras que especialistas del ISTP-Antabamba (2010) afirman que la alfalfa en la zona crece vegetativamente en el rango de temperatura de 14 a 17 °C.

InfoAgro (2005), en cambio dice que la temperatura media anual para la producción forrajera está en torno a los 15 °C. Siendo el rango óptimo de temperaturas, según las variedades de 18 - 28 °C.

Temperaturas superiores a 38°C resultan letales para las plántulas. Existen variedades de alfalfa que toleran temperaturas muy bajas (-10°C). La temperatura media anual para

la producción forrajera esta en torno a los 15°C. Siendo el rango óptimo de temperaturas, según las variedades de 18-28°C. (Plasentis, I. 1994)

2.2.5.2. Requerimientos de Agua.

La alfalfa es considerada como planta resistente a la sequía. Naturalmente, la cantidad necesaria de agua para el debido desarrollo de la alfalfa depende de varias condiciones de clima (temperatura, humedad ambiental, viento etc.) y suelo (Espinoza y Ramos, 2001).

En general, se considera que para producir un kg de MS por la planta de alfalfa se necesitan 700 a 800 kg de agua, mientras que los cereales de invierno (cebada y trigo) solamente precisan de 500 a 600, y el maíz y trigo de 300 a 350 kg (Del Pozo, 1983; Muslera y Ratera, 1991).

La limitación de agua restringe la producción de la alfalfa, pero no llega a frenar por completo su crecimiento; así también, la alfalfa es sensible a la inmersión, especialmente cuando se encuentra en periodo de crecimiento activo. Durante el invierno puede aún tolerar el encharcamiento por períodos reducidos (aproximadamente dos a tres días), si el tiempo se prolonga o se encuentra el cultivo en plena estación productiva, entonces los rendimientos descienden rápidamente, debido al alto porcentaje de plantas que mueren al no poder respirar las raíces (Del Pozo, 1983; Juncafresca, 1983; Muslera y Ratera, 1991).

2.2.5.3. Suelo.

La alfalfa requiere suelos profundos y bien drenados, aunque se cultiva en una amplia variabilidad de suelos. Los suelos con menos de 60 cm. De profundidad no son aconsejables para la alfalfa. (Del Pozo, M. 1999).

Paladines (2004) y Fertisa (2005). La alfalfa es una especie forrajera que se adapta a una gran variedad de suelos; sin embargo, prefieren suelos francos, profundos con poca humedad y buen drenaje. Requiere de suelos neutros a alcalinos, pero también puede ser cultivada en suelos moderadamente ácidos. La excesiva humedad ambiental es perjudicial para esta especie por la proliferación de enfermedades fúngicas. Además es medianamente tolerante a la salinidad del suelo, su persistencia limita el desarrollo de la

planta y provocan la muerte gradual de la misma. El ciclo de vida de la alfalfa es de 5 a 6 años con buena productividad.

Culot (1986). El cultivo se adapta a diferentes condiciones de suelo siendo los más aptos los de textura franca. Una condición importante es que tengan buen drenaje y que sean lo suficientemente profundos para permitir un normal desarrollo radicular. La especie no prospera satisfactoriamente cuando existe algún impedimento en el perfil que pueda restringir su desarrollo. Los impedimentos pueden ser de tipo: mecánico (tosca, horizontes densos), físico (falta de aireación, exceso de humedad, saturación temporaria por la napa freática) o químico (acidez, alcalinidad elevada). Estos factores no sólo disminuyen la producción sino también la persistencia, ya que las plantas están imposibilitadas de acumular reservas suficientes para un aprovechamiento intensivo (Culot, 1986).

Jarsum (1996). El pH óptimo del suelo para permitir una buena implantación y persistencia, junto con una mayor actividad de las bacterias fijadoras de nitrógeno es de 6,7 - 6.9; a su vez, en ese rango se encuentran disponibles para las plantas los nutrientes necesarios existentes en el suelo.

Culot (1986). El pH con valores inferiores a 5.8 crece con graves problemas nutricionales y de nodulación. Es medianamente resistente a la salinidad, ya que tolera suelos con conductividad eléctrica de hasta 8 dSm/m, pero a costa de una reducción del 50% de su producción.

Los suelos deben ser de textura franca (Camacho, 2004; Mayhua et al., 2008; Arrieta y Romero, 2008).

El pH del suelo oscila entre 4 y 8,5; siendo el óptimo de 6,2 a 7,5 y se recomienda que los suelos para este cultivo deben ser profundos (Del pozo, 1974; Mayhua et al., 2008; Camacho M, 2004; Villareal; Arrieta y Romero, 2008). Según (ISTP-Antabamba, 2010) requiere suelos franco y franco arenoso con pH de 5,5 a 7, materia orgánica mayor 4% y una profundidad de 100 cm.

Duthil (1971). Es una planta forrajera muy productiva, que resiste muy bien la sequía. Prefiere los suelos saneados y calcáreos. Por el contrario, no le conviene los húmedos y asfixiantes.

2.2.5.4. Drenaje del suelo.

La alfalfa se desarrolla óptimamente en suelos profundos y bien drenados. Cuando existen encharcamientos por períodos prolongados, las raíces mueren lentamente por asfixia, lo cual puede evitarse con un buen trazo de riego que permita una distribución uniforme del agua en el terreno. Paralelamente los excesos de humedad traen consigo la acumulación de sales en los horizontes superiores del suelo (del Pozo, 1983;). La alfalfa prefiere los suelos profundos, donde encuentra espacios suficientes para extender y desarrollar sus abundantes raíces (Juncafresca, 1983). Se ha determinado que la profundidad del suelo tiene un efecto directo sobre el rendimiento de esta especie forrajera, siendo inversamente proporcional, esto es que, a menores profundidades del suelo el rendimiento de la alfalfa es menor. De esta forma, para lograr buenas producciones, se deben seleccionar suelos de profundidad igual o superior a 40 cm (Espinoza y Ramos, 2001). Cuando el suelo tiene dificultades de drenaje, el agua se estanca, expulsando el aire de los poros del mismo y empobreciéndose paulatinamente el oxígeno. Las raíces, ante la falta del oxígeno, se asfixian (Rojas, 1993). Si el drenaje mejora, el agua de riego o lluvia se renueva con frecuencia en el suelo y ella trae disuelto el oxígeno, puesto de esta manera al alcance de las raíces de la planta (Del Pozo, 1983; Muslera y Ratera, 1991).

2.2.5.5. Altitud.

Manco (1980). En el Perú, la alfalfa por su notable capacidad de adaptación se cultiva desde el nivel del mar hasta los 3,500 m.s.n.m.

Molina, C. (1982). La Alfalfa se adapta desde los 1.500 hasta los 3.300 msnm, aun cuando puede prosperar bien en zonas más bajas pero en condiciones de suelos muy buenos.

Andes Health. En el Perú se cultivan variedades tanto al nivel del mar como en los Andes hasta cerca de 3,700 m s. m.

ISTP-Antabamba (2010), el cultivo de alfalfa se siembra desde 300 hasta los 3600 msnm.

Benitez (1980). La alfalfa se adapta a altitudes comprendidas entre 1500 a 3000 m.s.n.m. Los mejores rendimientos (8 - 10 cortes al año) se obtienen entre 1500 a 2500 m con riego.

Salamanca (1990). La alfalfa tiene un rango de adaptación bastante amplio; crece bien desde los 200 a los 3000 m.s.n.m.; sin embargo, la mejor adaptación se logra en alturas comprendidas entre los 700 y los 2800 m.s.n.m.

2.2.6. Plagas y Enfermedades.

La alfalfa es atacada durante todo el año por diferentes tipos de insectos que originan daños de importancia económica, ya que provocan una disminución en el rendimiento y calidad del forraje. Infoagro (2002), expresa que las principales plagas en el cultivo de alfalfa son: pulguilla (*Sminturus viridis*), pulgones (*Aphis medicaginis*, *A. laburni*, *Terioaphis maculata*, *T. trifoli*, *Acyrtosiphon pisum*), gusano verde (*Phytonomus variabilis*), trips (*Frankliniella* sp), ácaros (*Tetranychus* sp.).

De acuerdo con Espinoza y Ramos (2001) las plagas más frecuentes que atacan a la alfalfa son el pulgón negro (*Aphis fabae*), pulgón verde (*Acyrtosiphon pisum*), gusano verde de la alfalfa (*Colias churríteme*), trips (*Frankliniella occidentalis*), diabrotica (*Diabrotica* spp.) y chicharritas (*Cicadellia* spp).

Las enfermedades de la alfalfa se clasifican en foliares y de la raíz (Del Pozo, 1983); éstas últimas son las más dañinas para la planta y la reducción en el rendimiento al tercer año se le podría atribuir, en gran proporción, a una infestación por *Phytophthora* de la raíz. Estas enfermedades de la raíz son causadas por bacterias y hongos que producen marchitez (*Phytophthora megasperma*), pudrición de la corona (*Fusarium oxysporum*) y pudrición de la raíz (*Verticilium alboatrum*) (Espinoza y Ramos, 2001).

Infoagro (2002), manifiesta que las enfermedades foliares reducen la eficiencia de conversión de energía de la planta, debido a una disminución de la capacidad fotosintética y de la translocación de carbohidratos, lo que afecta los rendimientos de semilla. Entre las más comunes están: viruela (*Pseudopeziza medicaginis* (Lib.) Sacc.); manchón foliar amarillo (*Leptotrochila medicaginis* (Fckl.) Schüepp); mancha foliar (*Stemphylium botryosum* Wallr.); mildiu (*Peronospora trifoliorum* De Bary); mancha ocular de la hoja (*Leptosphaerulina briosiana* (Poll.) Graham & Luttrell); virus del mosaico de la alfalfa (Alfalfa Mosaic Virus); nemátodo del tallo (*Ditylenchus dipsaci*). Ver la Tabla N° 02.

Tabla N^o 02: Plagas y Enfermedades

Plagas	Enfermedades
Pulguilla	Mal vinoso
Pulgones	Roya de la alfalfa
Gusano verde	Viruela de las hojas
Gusano negro	Verticilosis
Apión	Podredumbre blanca
Chinche de la alfalfa	Mildio de la alfalfa
Gardama	Oidio de la alfalfa
Gusano gris	Antracnosis
Palomillas	Marchitez bacteriana
Gorgojos y Trips.	Virus del mosaico

Fuente: Elaboración Propia

Las enfermedades de la alfalfa causan deterioro y muerte de las plantas y generan pérdidas económicas; sin embargo, su ocurrencia y severidad depende principalmente de las condiciones ambientales, del tipo de suelo y del manejo que se dé al cultivo.

Desde el punto de vista económico existen pocas opciones para el control de enfermedades, por lo tanto, es recomendable seleccionar variedades resistentes a los patógenos. Para el caso de las enfermedades foliares su control químico no es recomendable, ya que al suministrar forraje con insecticidas a los animales se corre el riesgo de intoxicación del ganado. Una medida práctica para el control de las plagas consiste en realizar cortes prematuros, debido a que así se reduce su proliferación (Muslera y Ratera, 1991; Espinoza y Ramos, 2001).

2.2.7. Zonificación.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO (1997), el propósito de zonificar consiste en separar áreas con similares potencialidades y limitaciones para el desarrollo.

Es un proceso de sectorización de un territorio en unidades espaciales relativamente homogéneas, de acuerdo al criterio que se utilice. Estos criterios pueden variar, de acuerdo a los propósitos de la zonificación, y generalmente están relacionados a factores biofísicos, sociales, económicos, culturales, políticos o administrativos. (Rodríguez A., IIAP, 2007).

2.2.7.1. Zonificación Edafoclimática.

La zonificación edafoclimática según los requerimientos de las especies de interés es el factor básico para seleccionar las zonas más indicadas para obtener mayor productividad y mejor calidad en los productos.

Una zonificación edáfica y climática (edafo-climática) corresponde a la detección de áreas geográficas homogéneas en sus características climáticas y edáficas. Tanto a nivel mundial (Köppen, 1948; Thornthwaite, 1948; Bagnouls y Gaussen, 1957) como a nivel nacional Di Castri y Hayek, 1975; FAO, 1985; Novoa et al, 1989; Santibáñez y Uribe, 1993; Amigo y Ramírez, 1998) se han desarrollado diversos métodos de clasificaciones climáticas.

Es una aplicación que combina los requerimientos climáticos y edáficos de los mismos con los estudios de suelos, para definir zonas homogéneas que reúnen características óptimas para su desarrollo. (FAO, 1997)

De acuerdo con Golfari (1963), el éxito o fracaso en el establecimiento de determinada especie en una nueva región dependerá de que las condiciones ecológicas locales satisfagan sus necesidades.

De acuerdo con Soto et al. (2007), el crecimiento, desarrollo y la productividad de los cultivos están estrechamente relacionados y dependen completamente del clima, el suelo y ambiente en general donde han sido sembrados.

2.2.7.2. Factores Determinantes en Zonificación Edafoclimática.

El crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas depende de muchos componentes, pero si los cultivos no recibieran las cantidades suficientes de estos elementos se verían afectados y entonces su crecimiento puede ser limitado, entre ellos están principalmente los siguientes factores:

A. Factores Edafológicos

La edafología estudia la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas. Científicamente la edafología especifica que el suelo es un ser natural establecido y autónomo, con componentes y orígenes que son producto de la acción de elementos activos (clima, organismos, relieve y tiempo) sobre la roca madre o elemento pasivo (Barreira, 1974).

El suelo es la parte superficial de la corteza terrestre que se va desarrollando en las rocas emergidas por acción combinada del viento, el agua y los procesos donde intervienen meteorización y descomposición orgánica en la superficie de la tierra, así como el deterioro por la acción atmosférica y la reorganización física, química y biológica del material mineral y orgánico. Además el suelo se forma por acción del hombre; y es considerado como la capa de materiales orgánicos y minerales que reviste la corteza de la tierra. Lugar en el cual se producen plantas y se obtienen los nutrientes necesarios para su producción. El suelo es un cuerpo natural formado por sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases, a la vez está organizado de uno o varios horizontes o capas de materiales distintos a la roca madre, resultantes de adiciones, transformaciones de energía y materia (MAGAP, 2012).

B. Factores Climáticos.

El clima es el fenómeno natural que se da en la atmósfera, identificándose por la presencia de varios elementos como temperatura, lluvia, viento y otros. Este fenómeno presente en todo el planeta varía de un lugar a otro, dependiendo de las condiciones que predominan en dicho lugar (Fernández García, 1995).

El clima al igual que el suelo, es importante ya que aporta con la energía y los nutrientes necesarios para que las plantas se desarrollen y crezcan permitiendo así que los diferentes procesos metabólicos se produzcan como la fotosíntesis y reproducción sexual, entre otros. (Iñiguez Mayra, 2015).

C. Fisiografía.

La fisiografía se describe como el análisis que existe entre el clima, geología, morfología, origen y edad de los materiales rocosos, hidrología e indirectamente los elementos bióticos que influyen en el origen y desarrollo de los suelos, la aptitud de uso y manejo del suelo. (Iñiguez Mayra, 2015).

La fisiografía obtiene importancia por la interacción entre la geoforma (cuerpo tridimensional con forma, tamaño, volumen y topografía, elementos que forman un relieve), material parental y topografía, incidiendo en gran manera en la formación y

origen de los suelos, y en el grado y tipo de amenaza natural, estableciendo la vegetación y la posibilidad de aprovechamiento agropecuario así como la ubicación de lugares e infraestructura habitacional (CRC, s.f.).

2.2.7.3. Metodología de Zonificación del CLIRSEN (2010).

Según el CLIRSEN (2010), establece un esquema metodológico para la evaluación de la zonificación de cultivos, donde se interrelacionan las diferentes capas temáticas de los factores considerados para la investigación y posterior obtención de mapa de zonificación edafoclimática.

Los factores en estudio usados por el CLIRSEN (2010) son: Atributos edafológicos (físicos y químicos) y atributos climáticos (precipitación y temperatura), de acuerdo a esto las variables en la zonificación son:

A. Biofísicas: Mapa geopedológico (geomorfología y suelos)

- Pendiente
- Textura
- Drenaje
- Profundidad Efectiva
- Pedregosidad
- pH
- Salinidad

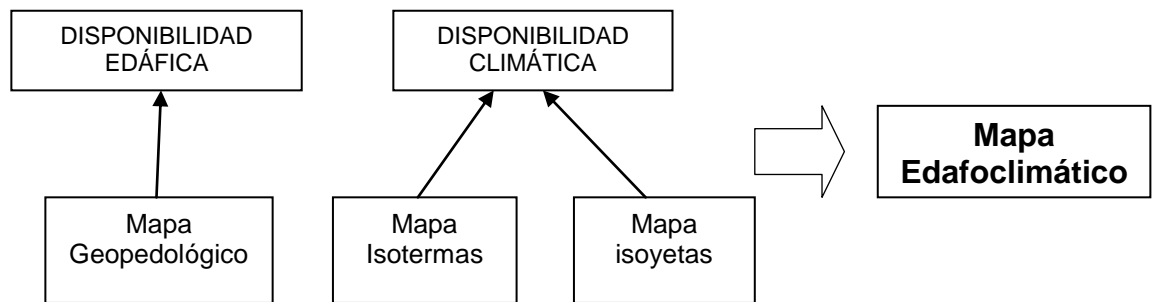
B. Climáticas:

- Temperatura
- Precipitación

C. Requerimiento de los cultivos:

Entre los parámetros seleccionados están: pendiente, textura, drenaje, profundidad efectiva, pedregosidad, salinidad, pH, precipitación óptima, temperatura óptima.

Figura N° 02: Proceso de Unión de los mapas



Fuente: (Iñiguez Mayra, 2015).

CLIRSEN (2010), emplea el sistema de Información Geográfica (SIG), para realizar la unión entre los mapas geopedológico con el climático, lo que da lugar a la agrupación de las capas de datos de los mapas mencionados, consiguiendo un mapa con datos geopedológicos y clima, y con el uso de un lenguaje estructurado de consulta se establecen las zonas optimas que tienen las adecuadas condiciones agroecológicas de adaptación de un cultivo específico. Ver Figura N° 02.

2.2.8. Aplicación de la Información Geoespacial (Geomática).

Geomática es el término científico moderno que hace referencia a un conjunto de ciencias en las cuales se integran los medios para la captura, tratamiento, análisis, interpretación, difusión y almacenamiento de información geográfica. En los años 1960 el estudio de la forma y dimensiones de la Tierra estuvo sujeto a constantes cambios científicos y tecnológicos a nivel internacional, por otro lado el problema de la superposición de distintas capas de información en un mismo territorio y su interrelación era un problema que enfrentaba una serie de problemáticas que eran difíciles de resolver. Los problemas se presentaban con tecnologías relacionadas a este campo como la Fotogrametría, la Cartografía, la Geodesia y la Topografía que buscaban mecanismos que permitieran sistematizar procedimientos complejos. (Castillo E. 2009).

2.2.8.1. Percepción Remota o Teledetección.

La Percepción Remota (Remote Sensing) o Teledetección puede definirse como “aquella técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre” (Chuvienco Salinero, 2006).

El término “teledetección” o “percepción remota” como también se le conoce, fue originado por la existencia de sensores situados en plataformas espaciales. Es empleada como complemento a estudios orientados al medio ambiente en las distintas áreas de la ciencia: oceanografía, recursos pesqueros, estudios costeros, contaminación, hidrogeología, estimación de cosechas, control de plagas, producción agrícola, usos del suelo, planificación urbana, etc. (Bava y Dogliotti, 2000).

A. Imágenes de Satélite.

Las imágenes son matrices de celdas llamadas píxeles, formadas por un determinado número de filas y columnas. Cada una de esta representa un área geográfica indivisible, determinando así el detalle espacial mínimo que se puede distinguir dentro de la imagen. El tamaño de superficie que puede ser representada; es decir el tamaño del pixel, varía dependiendo del satélite y del tamaño del sensor que tome la imagen. (Quiroz, 2011)

2.2.8.2. Fotogrametría.

La fotogrametría puede definirse como el arte, ciencia y tecnología cuyo fin es el de obtener información cuantitativa fiable relativa a objetos físicos y su entorno, mediante procesos de registro, medida e interpretación de imágenes fotográficas. (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing- 1979).

La fotogrametría puede definirse como la técnica para obtener información cuantitativa y cualitativamente válida, a partir de fotografías. (PAUL R., 1994)

2.2.8.3. Sistemas de Información Geográfica.

Se denomina Información Geográfica a aquellos datos espaciales georreferenciados requeridos como parte de las operaciones científicas, administrativas y/o legales.

El manejo de un gran volumen de datos espaciales depende de la existencia de sistemas capaces de transformar estos datos en información útil (MARBLE et al, 1988).

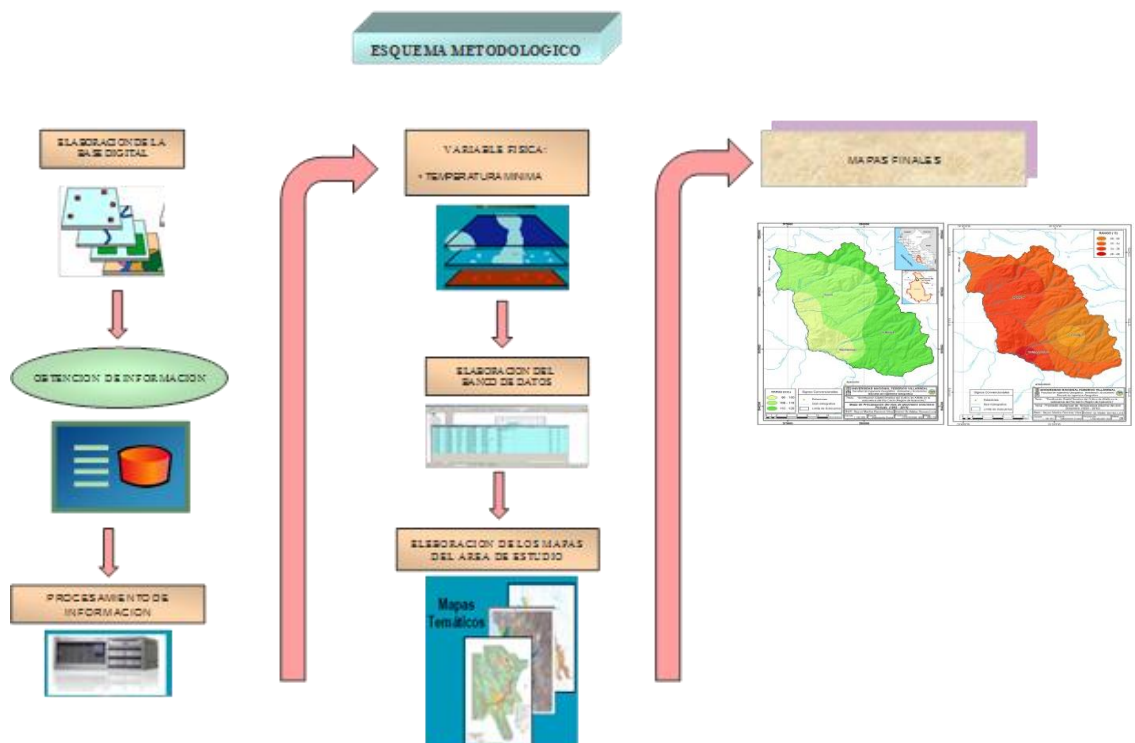
En los últimos años, hay una demanda creciente para el almacenamiento, análisis y despliegue de datos medio ambientales, lo que ha hecho necesario el uso de ordenadores

para el manejo de estos datos y la creación de sofisticados Sistemas de información (Tomlinson, 1976).

Tomlin D., (1990). Es un elemento que permite analizar, presentar e interpretar hechos relativos a la supercie terrestre. En palabras habituales, un SIG es un conjunto de software y hardware diseñado especialmente para la adquisicion, mantenimiento y uso de datos cartograficos.

Eurrough (1986) define un GIS como “un poderoso conjunto de herramientas capaz de capturar, almacenar, recuperar a voluntad, transformar y desplegar datos espaciales del mundo real para determinadas aplicaciones”. Ver Figura N° 03.

Figura N° 03: Entrada de datos en un GIS



Fuente: OTI - Oficina de la tecnología de la información.

2.2.8.4. Metodología de Superposicion de Mapas.

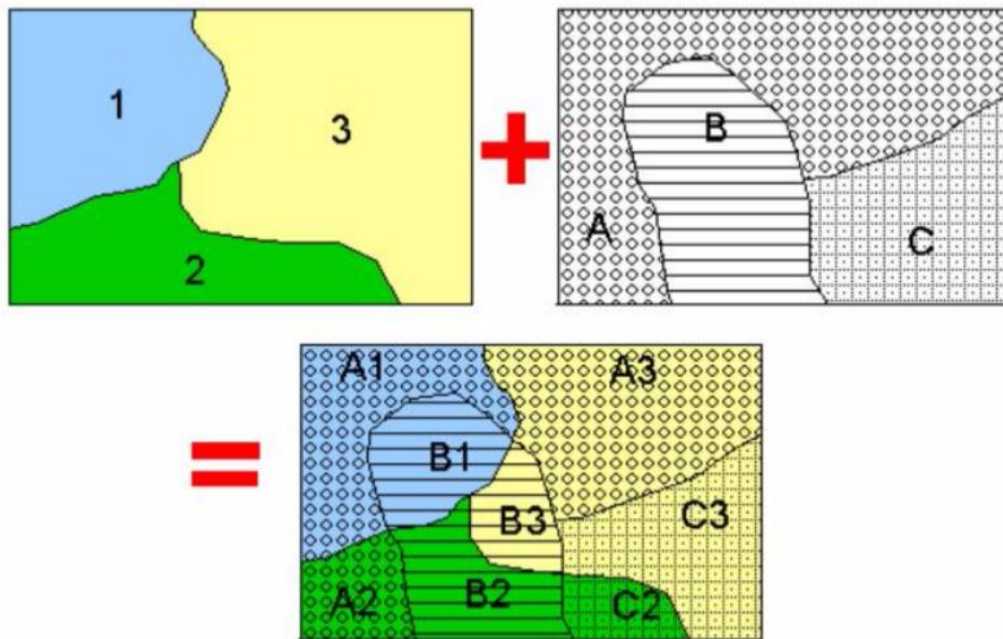
La superposición de mapas constituye una herramienta elemental y ampliamente usada en la actualidad en aplicaciones SIG como son los procesos de análisis espacial, en donde se hace un estudio de varias capas con la finalidad de lograr una capa que brinde respuestas de zonas edafoclimaticas. De la misma manera es un recurso útil para la

evaluación de alternativas asociadas con la planificación y ordenamiento territorial, su manejo proporciona resultados rápidos y bastante precisos.

A. Definición.

La superposición es el tipo de análisis donde se cruza la información georeferenciada de diversas capas, cada una con datos diferentes, para obtener nuevas capas con datos que son el resultado de la operación que implique el cruce de las iniciales. Es importante que todas estén georeferenciadas, de forma correcta, ya que el resultado para cada punto del terreno dependerá del dato de entrada en cada capa para ese mismo punto (INYPSA, 2008). Ver Figura N° 04.

Figura N° 04: Proceso de Superposición



Fuente: PLANTILLA DYNAMIC VIEWS (2013)

B. Superposición de mapas por operadores.

More et al. (2003) citados por Lucero (2013), indica que la superposición puede ser en función a la zona final que se va a incorporar, donde existen tres operaciones ejecutables, que unen tablas y dan como resultado nuevas entidades que adquiriendo los atributos de las que proceden, estos son:

➤ Union:

Genera una nueva capa a partir de otras, usado solamente en capas de polígonos, se logra unir o combinar la geometría y la información de todas las capas, excluyendo superposiciones, ajustando bordes, con la probabilidad de respetar gaps o logrando polígonos en ellos y con varias elecciones de transferencia de atributos (inypsa, 2008).

➤ Intersect:

Varias capas de entrada dan como resultado una capa de salida, cuyo contenido es la intersección de todas ellas. Es decir, si alguna de ellas no interseca con ninguna parte de las demás, el resultado será una capa sin ninguna entidad (INYPSA, 2008).

➤ Identity:

El comportamiento en capas de polígonos es similar al de la unión, con la diferencia de que, en este caso, los únicos atributos pasados a la capa resultante son los de la capa “identity” y no los de la capa de entrada. Otra diferencia, es que puede usarse con capas de puntos y líneas, como capas de entrada, aunque la capa identity siempre ha de ser de polígonos. Los atributos se transfieren de la misma forma que lo hacen en los polígonos con la herramienta identity (INYPSA, 2008).

El procedimiento seguido por Mora et al. (2003) citado por Lucero (2013), para calcular el valor de la variable temática de las nuevas entidades se lo realiza por medio de los operadores lógicos con dos variables booleanas, son: Y (AND), O (OR), Ni (NOR), No (NOT).

Según a lo anterior Lucero (2013), emplea intersecciones entre mapas de isotermas e Isoyetas obteniendo la disponibilidad climática, a su vez entre el mapa de pendientes y suelos para obtener la disponibilidad edafológica.

C. Superposición Ponderada.

Magap (2012) superpone las capas de zonificación edáfica y climática aplicando herramientas SIG como el software ArcGIS, creando zonas homogéneas agroecológicas

para el cultivo. Las categorías que constan en la tabla N° 03 de la zonificación son: óptima, buena, restringida y no apta.

Tabla N° 03: Zonificación en función de la disponibilidad climática y edáfica.

ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA		ZONIFICACIÓN EDÁFICA	
Zonas óptimas	C1	Zonas óptimas	S1
Zonas buenas	C2	Zonas buenas	S2
Zonas restringidas	C3	Zonas restringidas	S3
Zonas no aptas	C4	Zonas no aptas	S4

Fuente: Iñiguez Mayra, 2015.

La capa de salida muestra que cada unidad edáfica le pertenece una climática, con los requerimientos agroecológicos del cultivo, se eligió las áreas que cumplen estos requerimientos, ejecutando la herramienta Select Layer By Attribute y la expresión SQL (Query Builder) de ArcToolbox (MAGAP , 2012)

D. Superposición de Mapas Pixel a Pixel.

En este tipo de superposición de mapas pixel a pixel, conforme lo presenta CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL ESPACIO (2007), se considera el mismo pixel que esta en la misma posición, es decir, tienen igual fila e igual columna. Esto conlleva a un grupo de valores temáticos sobre los que se efectúan una serie de operaciones cada una de las cuales crea el valor característico en ese pixel, en esa posición del mapa de salida.

De la misma manera, se puede desarrollar operaciones lógicas desde variables booleanas (AND, OR, NOT, XOR), en base a los valores de las variables iniciales, determinar el valor de la nueva variable temática.

Asimismo, se puede establecer el álgebra de mapas, donde le concierne por medio de una ecuación algebraica una nueva variable temática en base a las variables temáticas de los mapas fuente (CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL ESPACIO, 2007).

E. Superposición de Mapas Raster y Vectoriales.

La zonificación agroecológica del café, descrita en MI CIELO (2014), estuvo fundamentada por la metodología que maneja sistemas de información Geográficos (SIG), la misma que combina procesos de análisis como la superposición de mapas ráster y vectoriales, la reclasificación y una técnica de indexación binaria, para la generación de mapas de zonificación agroecológica.

Igualmente, el SENAMHI, por medio de su dirección de Agrometeorología, en sus investigaciones en zonificación vinculados con el periodo de crecimiento de la vegetación, periodos de siembra de cultivos, precipitaciones y humedad del suelo, con resultados básicos para el desarrollo de cultivos. Estos factores fueron generados por la combinación de información espacial y alfanumérica, vinculados a un SIG metódico y concepciones brindadas por parte de técnicos agrícolas (MI SCIELO, 2011).

2.2.9. Marco Legal.

2.2.9.1. Acuerdos Nacionales.

➤ La Constitución Política del Perú, 1993.

Fija formas que garantizan el derecho que tienen toda persona a la protección de su salud y gozar de un ambiente equilibrado (título I, Cáp. I Derechos Fundamentales de la persona). Establece, asimismo, que es el Estado quien determina las políticas nacionales de salud y medio ambiente (Título III, Cáp. II del Ambiente y los Recursos Naturales, Art. 66°).

➤ El Código del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales:

Decreto Legislativo N° 613.

Título Preliminar Art. 1, Derecho a gozar de un ambiente saludable, equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida “Toda persona tiene el derecho irrenunciable a gozar de un ambiente saludable, ecológicamente equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida y asimismo la preservación del paisaje y la naturaleza. Todos tienen el deber de conservar dicho ambiente.

- **Decreto Legislativo N° 613, Capítulo II. De la Planificación Ambiental, Título Preliminar 1.** Este Código señala que la planificación ambiental comprende el ordenamiento del territorio, de los asentamientos humanos y de los recursos para permitir una utilización adecuada del medio ambiente a fin de promover el desarrollo económico sostenido del país.

- **Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales N° 26821**
Artículo 2º, establece como objetivo «promover y regular el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, renovables y no renovables, estableciendo un marco adecuado para el fomento a la inversión, procurando un equilibrio dinámico entre el crecimiento económico, la conservación de los recursos naturales y del ambiente y el desarrollo integral de la persona humana».

- **Decreto Supremo N° 087-2004-PCM.**
La norma define la zonificación como un proceso dinámico y flexible que identificar diferentes alternativas de uso sostenible de un territorio, a partir de la evaluación de sus potencialidades y limitaciones. Los criterios que se asumen en la norma son los siguientes: físicos, biológicos, ambientales, sociales, económicos y culturales. La ZEE servirá de marco de referencia espacial a los planes sectoriales y regionales, así como para promover y orientar la inversión privada.

- **Decreto Consejo Directivo N° 010-2006-CONAM.**
Que aprueba la Metodología sobre Zonificación Ecológica Económica - ZEE. “la manipulación interactiva de los mapas a través de diferentes submodelos preparados y organizados de acuerdo a una hipótesis planteada”.

.2.2.10. Definición de Términos Básicos.

- **Zonificación:** Es un proceso de sectorización de un territorio en unidades espaciales relativamente homogéneas, de acuerdo al criterio que se utilice. Estos criterios pueden variar, de acuerdo a los propósitos de la zonificación, y generalmente están relacionados a factores biofísicos, sociales, económicos, culturales, políticos o administrativos. (Rodríguez A., IIAP, 2007).

- **Zonificación Edafoclimática:** Una zonificación edáfica y climática (edafoclimática) corresponde a la detección de áreas geográficas homogéneas en sus características climáticas y edáficas. (Köppen, 1948; Thornthwaite, 1948; Bagnouls y Gausson, 1957).

- **Zona Edafo-Climática:** Es una unidad cartográfica de recursos de tierras, definida en términos de clima, fisiografía y suelos, y/o cubierta de tierra, y que tiene un rango específico de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras. (FAO, 1997).

- **Celda Edafo-Climática:** Se define como una combinación única de fisiografía, suelo y características climáticas. La celda es la unidad básica de referencia para el análisis físico en estudios de ZEC. (FAO, 1997).

- **Unidad cartográfica de suelos:** Área de tierras delineada sobre un mapa. Puede incluir un solo tipo de suelo, o diversos tipos que se presentan como una asociación. (FAO, 1997).

- **Alfalfa:** Es planta forrajera muy productiva, que resiste muy bien la sequía. Prefiere los suelos saneados y calcáreos. Por lo contrario, no le conviene los húmedos y asfixiantes. El Forraje que produce es de buena calidad. (Duthil, 1971).

- **Áreas Potenciales:** Son tierras que presentan las mejores condiciones y características climáticas y topográficas para soportar diferentes actividades productivas de vegetación adaptadas al clima. (Velásquez R., Pascual D.).

CAPITULO III. MATERIALES, EQUIPOS Y MÉTODOS

3.1.MATERIALES.

3.1.1. Cartografía Básica.

Carta Nacional a escala 1: 100,000 elaborada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Hojas correspondientes a la Subcuenca del río Cachi: 26-ñ, 27-ñ.

3.1.2. Datos Climáticos.

- Serie de Precipitación Total mensual (mm).
- Serie de Temperatura máxima diaria (°C).
- Serie de Temperatura mínima diaria (°C).
- Serie de Temperatura media diaria (°C).

3.1.3. Datos Agrícola.

La información estadística sobre la producción, rendimiento, así como el área sembrada del cultivo de la alfalfa proviene de la dirección Regional Agraria (DRA) de la región de Ayacucho.

3.1.4. Imágen Satelital.

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizaron 02 imagenes satelitales ASTER con una resolución de 15 metros, tomadas el 03 de julio del 2009.

Las imagenes satelitales se obtuvieron del Subproyecto de investigación: “ECOLOGIA, APTITUD Y MANEJO DE LAS ESPECIES FORRAJERAS NATIVAS Y CULTIVADAS POTENCIALES PARA LA PRODUCCION DE SEMILLA EN LA REGION ANDINA” del programa Nacional de investigación en pastos y forrajes del Instituto Nacional de Innovación Agraria - Estación experimental Agraria Canaan.

3.1.5. Fotografías Aéreas.

09 Fotografías aéreas correspondientes a la Subcuenca del rio cachi, a una escala aproximada 1:80 000 del año 1960 tomadas por la USA, verticales.

Las fotografías aéreas se obtuvieron del Subproyecto de investigación: “ECOLOGIA, APTITUD Y MANEJO DE LAS ESPECIES FORRAJERAS NATIVAS Y

CULTIVADAS POTENCIALES PARA LA PRODUCCION DE SEMILLA EN LA REGION ANDINA” del programa Nacional de investigación en pastos y forrajes del Instituto Nacional de Innovacion Agraria - Estación experimental Agraria Canaan.

3.1.6. Modelo de Elevación Digital (DEM).

Se requirió para la interpolación el modelo de elevación digital (DEM), llamado oficialmente Aster GDem (ASTER global digital elevation model) de la NASA, producido a partir de los datos estereoscópicos mediante la banda del infrarrojo de onda corta (0.76µm a 0.86µm, Banda 3n y 3b) obtenidos por el sensor ASTER de Japón a bordo del satélite TERRA, el cual se encuentra a una resolución de 30 mt. (1 arco segundo) por pixel.

La información de referencia espacial de los archivos utilizados durante el proceso de elaboración de los mapas fue: WGS 84, UTM zona 18 Sur.

3.2. EQUIPOS.

- ✓ 01 GPS
- ✓ 01 Escaner
- ✓ 01 Impresora a color HP 1120C
- ✓ 01 Cámara fotográfica digital
- ✓ 01 Laptop TOSHIBA I7
- ✓ 01 Eclimetro
- ✓ 01 Martillo pedólogo
- ✓ 03 Palas
- ✓ 03 Picos
- ✓ 01 Wincha
- ✓ 01 Estereoscopio de espejo.
- ✓ Cilindros Infiltrómetros y muestreadores

3.2.1. Software.

- ✓ ArcGis versión 10.2
- ✓ Auto cad 2012
- ✓ Office 2012
- ✓ Google earth Pro

3.3. MÉTODOS.

3.3.1. Diseño y Nivel de Investigación.

El tipo de investigación según el diseño o estrategia adoptada se realizará de manera Documental, es decir, el estudio del problema se hace ampliando y profundizando el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente en la revisión de trabajos previos, así como de otras fuentes documentales secundarias.

El nivel de investigación con el que se realizará el estudio, es de tipo Aplicativa con nivel Exploratorio, Descriptivo y Correlacional, ya que se caracterizarán los elementos esenciales del tema, con el fin establecer su comportamiento, para posteriormente ser analizados.

3.3.2. Caracterización Climática.

3.3.2.1. Control de Calidad de los Datos.

El control de la calidad de la data meteorológica se refiere a una serie de procedimientos o secuencia de pasos cuyo fin es la obtención de la representatividad del dato respecto a su magnitud real. Esta secuencia pasa desde una simple exploración de la información, hasta una serie pruebas de inferencia estadística que me permiten conocer la homogeneidad de la información.

Para la realización del análisis se inició una búsqueda sistemática de los datos disponibles hasta la fecha, con el fin de determinar la ubicación, tipo de estación y años de registro y evaluar cuál es la situación en que se encuentran las series históricas de las estaciones, si la serie ha sido paralizada, si se ha reubicado la estación o fue clausurada. Lo cual permite conocer cuanta información existente hay en cada estación. Todo ello con el objetivo de Seleccionar las estaciones meteorológicas considerando el periodo inicial y final de los registros.

Una vez organizados los datos, el segundo paso consiste en realizar un análisis estadístico Figura de las variables con el fin de tener una idea inicial de la información contenida en el conjunto de datos y determinar valores extremos o picos, saltos y tendencias que no cumplen con el comportamiento habitual de la variable, así como detectar la existencia de posibles errores.

Estos datos sospechosos pueden ser de origen humano como en el caso de los errores realizados durante la digitalización de los datos, errores sistemáticos por mala calibración o reemplazo de los instrumentos, cambio de ubicación de la estación o

cambio de observador (Jones et. Al., 1997), aunque podrían ser registros verídicos de las ocurrencias de eventos extremos.

3.3.2.2. Homogeneidad de las Series.

Una vez que se ha realizado el control de calidad minuciosa en la serie de datos climáticos se puede proceder a probar la homogeneidad de la serie de tiempo.

Se usaron pruebas paramétricas y no paramétrica para demostrar que una serie de tiempo de una variable climática es razonablemente homogénea, tienen por objeto el garantizar que las variaciones contenidas en las observaciones correspondan únicamente a los procesos climáticos (Peterson et al., 1998) y no a otros factores “artificiales”.

La comprobación de la hipótesis puede realizarse tanto por métodos Figuras (por medio de histogramas, diagramas de cajas o Figuras de normalidad) y mediante tests estadísticos (test de Kolmogorov-Smirnov, test de Shapiro-Wilks). Se explicará brevemente cada una de las pruebas realizadas:

1. Prueba t de Student.

La distribución t-Student se obtiene a partir de considerar que la muestra pequeña se obtiene a partir de una población con distribución normal, si la hipótesis anterior no se cumple será necesario utilizar los métodos no paramétricos para la prueba de hipótesis.

La distribución t-student o simplemente distribución t es al igual que la distribución normal una distribución continua en forma de campana simétrica, cuyo estadístico de prueba es:

Ecuación N° 01: Distribución t-Student

$$T = \frac{\bar{X} - \mu}{s / \sqrt{n}} \dots\dots\dots (1)$$

La probabilidad acumulada para la distribución t-student es:

Ecuación N° 02: Probabilidad Acumulada- Prueba T

$$P(-\infty < T < x) = \frac{1}{\sqrt{v\pi}} \frac{\Gamma\left(\frac{v+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{v}{2}\right)} \int_{-\infty}^x \left(1 + \frac{t^2}{v}\right)^{-(v+1)/2} dt \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

Ecuación N° 03: Función Gamma

$$\Gamma(n) = \int_0^{\infty} t^{n-1} e^{-t} dt \dots\dots\dots (3)$$

Es la llamada función gamma.

Con la ayuda de tablas se obtiene a partir de dicho estadístico el p-valor. Si $p < 0.05$ se concluye que hay diferencia entre los dos tratamientos. Si la prueba estadística T-Students concluye que existe homogeneidad, entonces la serie es consistente y por lo tanto el parámetro analizado es validado.

2. Prueba de F-fisher

La prueba f se utiliza principalmente para probar la igualdad entre dos varianzas poblacionales que provienen de poblaciones que tiene una distribución normal, también se ha desarrollado un procedimiento basado en esta prueba para investigar la igualdad entre tres ó más medias poblacionales, procedimiento que comúnmente se denomina análisis de varianza (ANOVA).

El estadístico de prueba para la prueba F es la razón de los estimadores insesgados de dos varianzas poblacionales.

Ecuacion N° 04: Prueba F - Fisher

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} > 1$$

Se debe cumplir siempre que $S_1^2 > S_2^2$ para que la razón sea mayor que uno ($F \geq 1$).

La probabilidad acumulada para la distribución Fisher se obtiene de la siguiente ecuación:

Ecuación N° 05: Probabilidad Acumulada- Prueba F

$$P(0 < F < x) = \frac{\Gamma\left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right) v_1^{v_1/2} v_2^{v_2/2}}{\Gamma\left(\frac{v_1}{2}\right)\Gamma\left(\frac{v_2}{2}\right)} \int_0^x t^{(v_1/2)-1} (v_2 + v_1 t)^{-(v_1+v_2)/2} dt$$

La distribución F tiene 2 variables v_1 y v_2 que son los grados de libertad de cada una de las poblaciones.

$v_1 = n_1 - 1$ grados de libertad de la población..... (1)

$v_2 = n_2 - 1$ grados de libertad de la población..... (2)

Entonces, para cada pareja de valores v_1 y v_2 se tendrá una tabla correspondiente a los valores porcentuales de α más utilizados. En general los valores críticos F_{α, v_1, v_2} es diferente de F_{α, v_2, v_1} , esto es, si se intercambian los valores de v_1 y v_2 no se obtiene el mismo valor crítico, por lo que hay que tener cuidado al utilizar las tablas y recordar que v_1 se asocia la población que tiene la mayor varianza y v_2 a la que tiene la menor varianza.

Si la probabilidad de p es menor que 0.05, menor que el valor hipotético previsto, se acepta que la diferencia entre las varianzas es significativa (las varianzas son heterogéneas o heterocedásticas); si p es mayor que 0.05, se dice que las varianzas son iguales (homogéneas u homocedásticas).

3. Prueba Kruskal-Wallis.

En estadística, la prueba de Kruskal Wallis (de William Kruskal y W. Allen Wallis) es un método no paramétrico para probar si un grupo de datos proviene de la misma población. Intuitivamente, es idéntico al ANOVA con los datos reemplazados por categorías.

El estadístico está dado por:

Ecuación N^o 06: Prueba Kruskal-Wallis

$$K = (N - 1) \frac{\sum_{i=1}^g n_i (\bar{r}_i - \bar{r})^2}{\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} (r_{ij} - \bar{r})^2} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

n_i es el número de observaciones en el grupo i

r_{ij} es el rango (entre todas las observaciones) de la observación j en el grupo i

N es el número total de observaciones entre todos los grupos

$$\bar{r}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} r_{ij}}{n_i} \dots\dots\dots (2)$$

$$\bar{r} = (N + 1)/2 \text{ , es el promedio de } r_{ij} \dots\dots\dots (3)$$

La prueba dará como resultado serie homogénea si la significancia es mayor a 0.05.

4. Análisis de Doble Masa.

El análisis de doble masa es la forma más usual de detectar periodos donde se han producido posibles errores, los cuales se observan en forma de quiebres en la pendiente de la curva doble másica.

Cuando se quiere comprobar si los registros de una estación pluviométrica, anuales o estacionales, no han sufrido variaciones que conduzcan a valores erróneos, se utiliza la técnica de Doble Masa. Esas variaciones pueden ser por un cambio en la ubicación del instrumental, una variación en las condiciones periféricas del lugar de medición o un cambio del observador que efectúa las lecturas.

Tal como lo señala UNESCO-ROSTLAC (1982) y UNESCO (2006), “el primer paso que debe realizarse al efectuar la evaluación espacial de la precipitación es verificar que el periodo de la estadística pluviométrica que se va a analizar es consistente, o sea, que la estación haya sido observada durante dicho periodo, de la misma forma, con el mismo criterio y que su instalación no haya sufrido variaciones de ningún tipo. Para esta verificación se recomienda el método de las curvas doble acumuladas, o de doble acumulación (CDA) o método de doble masa (MDM).

3.3.2.3. Completación de Datos Faltantes.

Para la determinación de datos faltantes se utilizan varios métodos, los cuales normalmente se basan en formulas empíricas, donde se relacionan determinadas variables que independientemente de su base teórica, responden a la estructura de un estudio estadístico (Mintegui y López, 1990).

Existen algunos métodos de Completación de series de tiempo que utilizan el concepto de variable regionalizada y estructura de correlación por lo que es posible adoptar los registros de estaciones vecinas en el proceso de Completación.

Dependiendo de cuál es la variable a completar, los métodos son levemente diferentes ya que por ejemplo la precipitación tiene una distribución asimétrica, por lo que los métodos basados en datos normales no son aplicables directamente.

Se mencionan los métodos analizados, posteriormente se seleccionó uno de ellos como método de completado definitivo:

a) Método basado en la regresión lineal.

Este método es uno de los más utilizados; se recomienda para la estimación de datos mensuales y anuales de la estación en estudio y las de una estación pluviométrica cercana, que cuente con una estadística consistente y observada. Para ello se realiza la regresión de los datos previamente estandarizados entre la estación a completar y las más cercanas, mediante una ecuación lineal de dos variables (1), del tipo:

Ecuación N° 07: Regresión Lineal

$$Y = a + b \cdot x$$

Donde;

Y^{\wedge} = Valor estimado de la precipitación para la estación carente (mm).

x = Valor de precipitación registrado en la estación patrón (mm).

a, b = constantes de regresión

Se generarán los datos faltantes usando las relaciones de las estaciones que poseen mayor correlación con la estación incompleta. Para esto se utilizan los coeficientes de la regresión y el coeficiente de correlación.

Este método, a pesar de ser de muy fácil aplicación, no puede ser aplicado indiscriminadamente, dado que es necesario saber si la calidad del ajuste es buena o mala. Una mala calidad del ajuste, puede llevar a la generación de información sin consistencia, lo cual, en lugar de mejorar la situación, la empeora por la agregación estadística de datos no representativos de la realidad que se pretende (UNESCO-ROSTLAC, 1982).

3.3.2.4. Interpolación de la Variable de Precipitación

Los métodos de interpolación presentan diversas características, para interpolar, existen varios métodos en ArcGis, en especial tres algoritmos en el módulo Spatial Analyst, IDW, Spline y Kriging. Estos algoritmos han sido ensayados para estudios de modelos digitales, climatológicos y de relieve (Solis, Z & Florez J.G, 2005). Autores como (Ariza, F.J., 2002) comentan que ningún método de interpolación es mejor que otro.

Las técnicas Geoestadísticas de interpolación utilizadas se denominan Krigeado (interpolación univariante) y cokrigeado (interpolación multivariante). En esta etapa se dispuso utilizar el método de interpolación del Kriging.

El método de interpolación Kriging asume que la distancia y/o la dirección entre puntos de muestreo es una expresión de la correlación espacial entre los puntos y que por tanto dicha información puede utilizarse para explicar la variabilidad encontrada en la superficie muestreada. El algoritmo ajusta una función matemática a un determinado número de puntos o a aquellos que se encuentren en un radio de búsqueda.

Ecuación N°08: Kriging

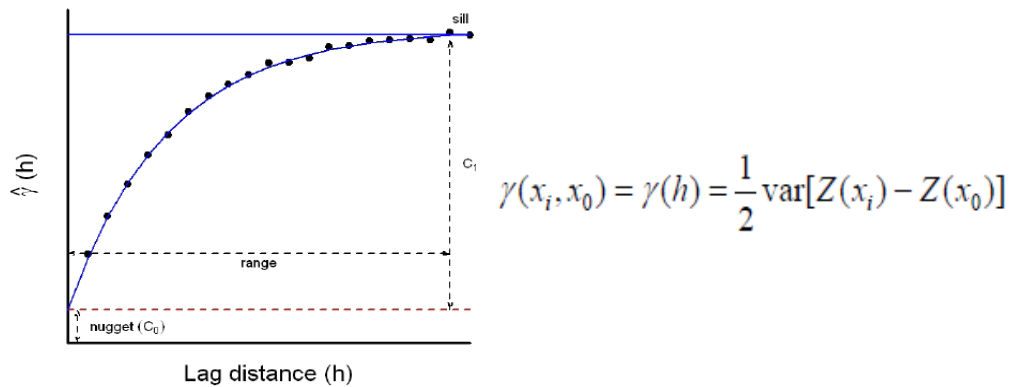
$$\hat{Z}(x_0) - \mu = \sum_{i=1}^n \lambda_i [Z(x_i) - \mu(x_0)]$$

Se asume que la varianza es isotrópica

En general, Kriging es considerado como uno de los mejores métodos de interpolación ya que provee estimaciones insesgadas y de varianza mínima (Oliver, 1990).

El método del semivariograma consistió en encontrar una fórmula que representará la distribución de la variable a nivel espacial. La fórmula se halló con los datos anuales de precipitación. En este caso no se consideró trabajar con el método coKriging debido a que no se encontró relación de la precipitación con la altura.

Ecuación N° 09: Semivariograma



Para la metodología empleada se hizo uso de la herramienta Geostatistical Analyst del software ArcGIS 10.3. Los Grids o mapas raster obtenidos presentan la tendencia de la precipitación mensual y anual.

Para la ejecución de esta metodología se hará uso de la herramienta Geostatistical Analyst del Software ArcGis 10.3, la cual permite explorar la variabilidad de datos examinando tendencias globales y permitiendo investigar a su vez la autocorrelación y la correlación entre los datos seleccionados, así como también crear predicciones y calcular errores de predicciones que es el fin de este proyecto.

3.3.2.5. Interpolación de la Variable de Temperatura.

El método de regresión lineal múltiple fue el segundo método tomado en cuenta para esta etapa, el cual fue propuesto por Pons (1996) y Ninyerola et al. (2000), basado en técnicas de regresión lineal múltiple y de interpolación espacial de los datos provenientes de las estaciones meteorológicas, relaciona la información geográfica (variables independientes) con la información climática (variable dependiente). Lo resaltante de este método es que al final los mapas resultantes son corregidos utilizando sus propios residuales del mismo análisis de regresión lineal múltiple. Los residuales

son luego interpolados por los métodos conocidos en SIG (splines e inverso a la distancia: IDW).

La fórmula general de la regresión lineal múltiple usada se expresa así:

Ecuación N° 10: Regresión Lineal Múltiple

$$Y = AX1 + BX2 + CX3 \dots$$

Donde:

Y, variable dependiente (información climática)

X1, X2, X3; variables independientes (longitud, altitud, latitud)

A, B, C; constantes

La metodología del análisis de regresión está basada en la correlación espacial entre variables, mostrando la relación entre la variable dependiente, que en este caso es la Temperatura y, las variables independientes, que son las características topográficas y posicionales indicadas (X e Y). Es un método analítico, por lo que sólo se aplicará cuando la relación entre variables sea alta.

3.3.2.6. Álgebra de Mapas.

El método consiste en aplicar un conjunto de operadores sobre una o varias capas ráster de entrada para producir uno o varios ráster de salida. Estos operadores, que pueden ser aritméticos, trigonométricos, lógicos o condicionales, se aplican mediante ecuaciones a cada celda del ráster de entrada. Para realizar esta operación se hizo uso de la herramienta Map Calculator, del programa ARCGIS 10.1; el cual además permite realizar cálculos matemáticos entre mapas temáticos o varios mapas resultantes.

3.3.2.7. Método de Validación.

Para evaluar la efectividad de las técnicas de interpolación se usó la técnica de validación-cruzada (Goovaerts, 1997). Posteriormente se calcularon las diferencias (residuales o errores [Hunner, 2000]) entre los valores interpolados y los valores observados.

Para verificar la calidad de un mapa interpolado debe utilizarse un conjunto de validación formado por una serie de puntos de muestreo (de los que por tanto se conoce el valor real) en los que se va a hacer una estimación de dicho valor real (sin utilizar por supuesto el valor medido en ellos). La diferencia entre el valor medido y el estimado es el error de estimación en ese punto. De este modo a cada punto de validación se asigna un error. El conjunto de los errores debe tener las siguientes características:

1. Media de errores y media de errores al cuadrado próxima a cero.
2. Los valores de error deben ser independientes de su localización en el espacio y no estar autocorrelacionados.
3. La función de distribución de los errores debe aproximarse a la distribución normal

El problema es que en muchos casos se dispone de pocos puntos de muestreo, por lo que no resulta conveniente reservar algunos de ellos como puntos de validación, la alternativa es el procedimiento de validación cruzada.

La validación cruzada consiste en la estimación del valor de la variable, con el procedimiento de interpolación que quiere validarse, en cada uno de los puntos de muestreo, aunque sin incluir dicho punto de muestro. De esta manera se conoce para cada punto de muestreo tanto el valor real como el valor estimado de forma que puede llevarse a cabo el análisis estadístico de errores antes mencionado.

Para la validación de los mapas se utilizó el método de la validación cruzada generalizada (GCV, Generalizad Cross-Validation), el cual se define como el error cuadrático promedio entre los valores estimados y los valores observados, cuando el valor observado en cuestión es dejado fuera del proceso de estimación. Esta es una medida de qué tan bien la superficie es capaz de estimar un valor observado cuando éste no es utilizado en el proceso de estimación.

Como indicador de la bondad del ajuste se ha usado el coeficiente de determinación (R^2) y como medida de error el Root Mean Square Error (RMSE). Mientras menores sean estos dos índices, mejor será el funcionamiento del modelo.

Ecuación N° 11: Media de errores al cuadrado.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Q_{est} - Q_{obs})^2}$$

$$Bias = \frac{1}{n} \sum (Q_{est} - Q_{obs})$$

La eficiencia del modelo está definido como:

Ecuación N° 12: Media de Errores.

$$ME = 1 - \frac{\sum [(Q_{obs} - Q_{est})]^2}{\sum (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2}$$

3.3.3 Caracterización Edáfica.

La metodología de caracterización está basada en la lectura de calicatas seleccionadas en función de una clasificación fisiográfica establecida para este fin. La lectura de calicatas se efectúa según los lineamientos establecidos en el “Manual de Levantamiento de Suelos” (Soil Survey Manual, 1993), del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norte América.

La clasificación práctica o interpretativa, se basó en el “Reglamento de Clasificación de Tierras”, establecido por D.D. N°0062/75-AG del 22 de enero de 1975 y su ampliación efectuada por ONERN (1980).

El presente estudio se ha realizado a través de una secuencia de actividades de gabinete, campo y laboratorio.

3.3.3.1 Fase Preliminar de Gabinete.

A. Determinación de Unidades Geomorfológicas.

Se realizará la fotointerpretación en base a 09 fotografías aéreas de la Subcuenca del Río Cachi: Escala 1/80000, del año 1960, tomadas por la USA, verticales, pancromáticas de 23 x 23 cm. y el plano topoFigura de la zona a escala 1:100,000 adquiridas en el Instituto GeoFigura Nacional (IGN) y por ultimo nos apoyaremos también con una imagen de satélite Áster. Estas fotos fueron interpretadas utilizando un estereoscopio de espejos mediante el método de análisis fisioFigura y través de la

estereovisión, permitiendo la identificación y delimitación de las unidades naturales, tales como forma de tierra, posición topográfica, litología drenaje y pendiente separando unidades de mapeo (unidades fisiográficas o edáficas) en base a elementos interpretativos formas del terreno, pendientes, tonalidades, erosión, vegetación, patrones de drenaje y uso de la tierra, luego se procedió a pasar la interpretación fisiográfica al mapa base y a confeccionar la respectiva leyenda fisiográfica. Finalmente se seleccionó los itinerarios a seguir en la etapa de campo. Ver Fotografía N°02.

Fotografía N° 02: Fotografías aéreas en líneas de vuelo de la Subcuenca del Río Cachi.



Fuente: Subproyecto Ecología, Aptitud y Manejo de las Especies Forrajeras Nativas y cultivadas potenciales para la producción de Semilla en la Región Andina, INIA- CANAAN.

3.3.3.2 Fase de Campo.

Se inicia con un reconocimiento general del área de estudio, tratando de identificar las unidades mapeadas en la fotointerpretación donde se procedió a realizar los ajustes en la delimitación preliminar. Para realizar estos ajustes se tuvo en cuenta las siguientes características: Subpaisaje, grado de erosión, afloramientos rocosos, pedregosidad, y pendiente, esta última se obtendrá del mapa base de pendientes, y el resto de las características se determinó visualmente evaluando la topografía.

En esta etapa se procede al examen y evaluación minuciosa de las calicatas. Obteniéndose datos referentes a las características físico-morfológicas de las calicatas o perfiles del suelo, estos son: Profundidad, textura, pendiente, erosión, pedregosidad superficial, afloramiento rocoso, topografía circundante.

Se evalúa las características físico-morfológicas del suelo, para obtener la Profundidad efectiva, pendiente, erosión, pedregosidad superficial, Afloramiento rocoso y Topografía circundante.

A. *Profundidad Efectiva.*

Es el espesor de las distintas capas que posee (superficiales y subsuelo) en donde la raíz puede penetrar sin problemas, en busca de agua, nutrientes y sostén, el límite mínimo esta determinado por capas u horizontes, por la cantidad de materiales gruesos (gravas, piedras y/o rocas), presencia de la capa freática alta, concentraciones de minerales tóxicos (salinidad, carbonatos), que son restrictivos para el desarrollo de las raíces (SIGTIERRAS-SINAGAP, 2012).

La profundidad efectiva se evaluó con un tornillo de profundidad, que fue utilizado introduciendo a presión manual el tornillo en el suelo hasta donde lo permitiera el suelo. Esta profundidad corresponde a la longitud donde crecen las raíces, es decir, la capa arable y que generalmente coincide con el horizonte A. Ver tabla N° 04.

Tabla N° 04: Clasificación de la Profundidad Efectiva.

Clase	Profundidad Efectiva	Rango
1	Muy Superficial	0-25 cm
2	Superficial	25-50 cm
3	Moderadamente Profundidad	50-75 cm
4	Profundidad	> 75 cm

Fuente: Elaboración Propia

B. Pendiente.

Es el grado relativo de la inclinación con respecto a su horizontal. La pendiente se evaluó utilizando un equipo denominado Clinómetro, que mide el grado de inclinación del terreno en grados y porcentaje. Se presenta en la tabla N° 05:

Tabla N° 05: Clasificación de la Pendiente.

Clase	Pendiente	Rango
1	Plana	0-2 %
2	Moderadamente ondulada	2-8 %
3	Ondulada	8-16 %
4	Empinada	16-30 %
5	Muy empinada	30-60 %
6	Montañosa	> 60 %

Fuente: INIA – CANAÁN AYACUCHO

C. Erosión.

Corresponde a la pérdida de suelo superficial por el agua de escorrentía (hídrica) o por la fuerza del viento (eólica).

El grado de erosión se mide mediante observación visual, clasificando la erosión según el tipo: Laminar, Surcos y Cárcavas.

El grado de erosión se evaluó: Nula, Ligera, Moderada y Severa.

D. Pedregosidad Superficial.

Es el contenido de rocas que obstaculizan el laboreo, desarrollo de raíces y el movimiento de agua (SIGTIERRAS-SINAGAP, 2012).

A continuación, en la tabla N° 06, se muestra el porcentaje de rocas:

Tabla N° 06: Indicadores de Pedregosidad

Clase	Rango (%)	Descripción
1	< 0.01 %	Sin o muy pocas piedras
2	0.01 – 0.1 %	Con frecuencia de piedras
3	0.1 – 3%	Con abundantes piedras
4	3 – 15%	Pedregoso
5	15 – 70%	Terreno muy pedregoso y/o rocoso
6	> 70%	Tierras prácticamente pavimentadas

Fuente: INIA-CANAÁN AYACUCHO

E. Afloramiento Rocos.

Es la presencia porcentual de rocas con respecto al área del sitio. Pueden ser: < 2 No hay exposición del estrato rocoso o es demasiado escaso como para interferir la labranza (menos del 2 % del área)

El estrato rocoso está expuesto lo suficiente como para interferir con la labranza, pero no para hacer impracticable los cultivos de aradura (rocoso, los afloramientos distanciados entre sí, aprox de 30 a 100 m y cubre de 2 a 10 % de la superficie.

El estrato rocoso está expuesto lo bastante como para hacer impracticable la aradura, pero no impide que pueda trabajarse en cultivos de forraje o pasturas mejoradas (Muy rocoso, los afloramientos distanciados entre sí, aprox de 10 a 30 m y cubre de 10 a 25 % la superficie.

Afloramientos de rocas lo suficientes como para hacer impracticable el empleo de maquinaria muy liviana e instrumentos manuales (Extremadamente rocoso o terreno rocoso; los afloramientos o suelo delgado están distanciados aprox 3 a 10 m y cubren aprox 25 a 50 % la superficie.

Afloramientos rocosos o suelos muy delgados lo suficientes como para hacer impracticable todo uso de cualquier maquinaria (tierra rocosa los afloramientos están distanciados entre si 3 m o menos y cubren 50 a 90 % de la superficie.

Más del 90 % de la superficie está constituida por afloramientos de roca firme (afloramiento rocoso).

F. Drenaje.

Se describe al drenaje como la urgencia con que el agua corre, ya sea por escurrimiento superficial o por su movimiento a través del perfil de suelo hacia sitios profundos (SIGTIERRAS-SINAGAP, 2012). Ver Tabla N° 07.

Tabla N° 07: Drenaje del Suelo

Clase	Descripcion
1	Excesivo
2	Bueno
3	Moderado
4	Mal drenado

Fuente: INIA – CANAÁN AYACUCHO

G. Topografía Circundante.

Está referido a las características fisiográficas que rodean a la zona en evaluación. Ver tabla N° 08.

Tabla N° 08: Clasificación de la Topografía.

Clase	Topografía	Rango
1	Plana	< 2
2	Ondulada	2-8
3	Moderadamente ondulado	8-16
4	Colinado	16-30
5	Empinado disectado	30-60
6	Montañoso	>60

Fuente: INIA – CANAÁN AYACUCHO

Al término del estudio se procede a la toma de muestra de suelo, que consiste en extraer 1 kg de suelo de la capa arable del suelo para analizarla en el laboratorio.

3.3.3.3 Fase de Laboratorio.

Las determinaciones físicas y químicas de los suelos se realizarán en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga a través de muestras empleándose los siguientes métodos analíticos siguientes:

A. Determinaciones Físicas.

I. Textura.

La textura esta correspondida con la constitución mineral, la zona superficial y el espacio poroso, interviniendo así en los factores del crecimiento de las plantas, especialmente el movimiento y disponibilidad del agua en el suelo, aireación, absorción de nutrientes y resistencia de la penetración de las raíces, además interviene en las cualidades físicas que tiene que ver con la susceptibilidad del suelo a la degradación (FAO, 2000).

El análisis físico-mecánico se determinó mediante el método del hidrómetro de Bouyoucos usando como dispersante Calgon (hexametáfosfato de sodio), obteniéndose % de arcilla, % de limo y % de arena que posee el suelo. Puede ser según la tabla N° 09:

Tabla N° 09: Descripción de la Textura del Suelo.

Clase	Sigla	Descripción		
1	A	Arena	Suelos de Textura gruesa	Arenosos
	AF	Arenas Franca		
2	FrA	Franco Arenoso	Suelos de Textura moderada	Francos
	FrAf	Franco Arenoso fino		
3	FrAmf	Franco Arenoso muy fino	Suelos de Textura media	
	F	Franco		
	FrL	Franco limoso		
	L	Limoso		
4	FrAr	Franco Arcilloso	Suelos de Textura moderadamente fina	
	FrArA	Franco Arcillo Arenoso		
	FrArL	Franco Arcillo Limoso		
5	ArA	Arcillo Arenoso	Suelos de textura fina	
	ArL	Arcillo Limoso		
	Ar	Arcilloso		

Fuente: INIA – CANAÁN AYACUCHO

B. Determinaciones Químicas:

I. Ph (Reacción del Suelo).

El pH es fundamental para las plantas debido a que perjudica la disponibilidad de los nutrientes útiles para el desarrollo adecuado de las plantas. Cuando los suelos son demasiados ácidos o muy alcalinos no benefician la solución de compuestos, limitando la existencia de iones de nutrientes necesarios para las plantas (ECOPLEXITY, 2010).

Se agrupó en once clases (Tabla N°10):

Tabla N° 10: Clasificación de la Reacción del Suelo.

Clase	Descripción	Rango
1	Extremadamente ácido	3.5 - 4
2	Muy fuertemente ácido	4.0 - 4.5
3	Fuertemente ácido	4.5 - 5.0
4	Moderadamente ácido	5.0 - 5.5
5	regularmente ácido	5.5 - 6.0
6	ligeramente ácido	6.0 - 6.5
7	Muy ligeramente alcalino	6.5 - 7.0
8	Ligeramente alcalino	7.0 - 7.5
9	regularmente alcalino	7.5 - 8.0
10	Moderadamente alcalino	8.0 - 8.5
11	Fuertemente alcalino	8.5 - 9.0

Fuente: INIA – CANAÁN AYACUCHO

II. Materia Orgánica.

Método de Walkey and Black modificado (Método 24 Manual 60, USDA), oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio. % MO = %Cx1.724. Ver Tabla N° 11.

Tabla N° 11: Clasificación de la Materia Orgánica

Clases	Rango
Bajo	< 2 %
Medio	2 - 4
Alto	> 4

Fuente: INIA – CANAÁN AYACUCHO

III. Nitrógeno.

Método del semi micro kjeldahl. Ver tabla N° 12.

Tabla N° 12: Clasificación del Nitrogeno

Clases	Rango
Bajo	< 0.1
Medio	0.1 - 0.2
Alto	> 0.2

Fuente: INIA – CANAÁN AYACUCHO

IV. Fósforo

Método de Bray Kurtz I y método de Olsen modificado, extracción con $\text{NaHCO}_3 = 0.5$ M, pH 8.5. Ver Tabla N° 13.

Tabla N° 13: Clasificación del Fosforo.

Clases	Rango
Bajo	< 12
Medio	12 - 18
Alto	> 18

Fuente: INIA – CANAÁN AYACUCHO

V. Potasio

Extracción con acetato de amonio, pH 7 cuantificaciones por complexometría. Ver Tabla N° 14.

Tabla N° 14: Clasificación del Potasio.

Clases	Rango
Bajo	< 100
Medio	100 - 240
Alto	> 240

Fuente: INIA – CANAÁN AYACUCHO

VI. CE

Medida de la conductividad del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1 o en el extracto de la pasta de saturación. Ver tabla N° 15.

Tabla N° 15: Clasificación del CE

Clases	Rango
Muy ligeramente salino	< 2
Ligeramente salino	2-4
Moderadamente salino	4-8
Fuertemente salino	> 8

Fuente: INIA – CANAÁN AYACUCHO

VII. CIC

Saturación con acetato de amonio, pH 4.8. Ver Tabla N° 16.

Tabla N° 16: Clasificación del CIC

Clases	Rango
Muy Bajo	< 5
Bajo	5-10
Medio	10-20
Alto	> 20

Fuente: INIA – CANAÁN AYACUCHO

C. Análisis de Calidad de Agua para Riego:

I. Muestreo Manual:

Para la mayoría de análisis físicos y químicos se toma 2 litros de muestra en un recipiente de plástico. Para determinados análisis puede ser necesario un mayor volumen de muestra. Para pruebas químicas, bacteriológicas y microscópicas se deben tomar muestras por separado debido a que los métodos de recolección y manejo son diferentes.

Las muestras representativas se pueden obtener sólo colectando muestras compuestas, en periodos de tiempo predeterminados o en diferentes puntos de muestreo; las condiciones de recolección varían con las localidades y no existen recomendaciones específicas que puedan ser aplicables en forma general.

II. Refrigeración:

Almacenar a 4° C en ausencia de luz. La preservación de la muestra debe realizarse en el momento de la toma de muestra. Para muestras compuestas, cada alícuota debe preservarse en el momento de su recolección. Cuando el uso de un muestreador automático haga imposible la preservación de cada alícuota, las muestras deben mantenerse a 4° C hasta que se complete la composición.

Las muestras compuestas deben mantenerse a 4° C, con hielo o un sistema de refrigeración, durante el período de composición. Analizar las muestras lo más pronto posible después de su llegada al laboratorio; si esto no es posible se recomienda, para la mayoría de muestras, almacenamiento a 4° C.

Los tiempos listados son los periodos máximos que pueden transcurrir antes del análisis para considerarlo válido. Las muestras pueden dejarse por periodos más

prolongados solo si su monitoreo en el laboratorio ha demostrado que la muestra en estudio es estable durante un mayor tiempo. Algunas muestras pueden no ser estables por el periodo máximo dado en la tabla. Si se envían las muestras por correo, deben cumplir con las regulaciones de transporte de materiales peligrosos (consultar EPA Methods...)

II. Análisis Químico:

i. Determinación del pH:

Material: Tubos de ensayo, tiras de papel tornasol rojo y azul. Procedimiento: Colocar las tres muestras en tubos de ensayo, introducir en cada tubo una tira de papel tornasol rosa y observar lo que sucede, después introducir una tira de papel tornasol azul a cada uno de los tubos y observar lo que sucede.

ii. Determinación de conductividad eléctrica:

Material: Conductímetro, 3 muestras de agua.

Procedimiento: Introducir el electrodo en la muestra de agua, sin tocar las paredes, ni el fondo del vaso de precipitado, encender el equipo y tomar el número que nos indica en la pantalla.

iii. Determinación de dureza del agua:

Material: Solución buffer, Indicador de ericromo negro T (NET), Solución de sal de Etilen diamino tetraacético (EDTA). Procedimiento: Tomar un tubo de ensayo y agregarle agua a la mitad. Agregar 1 gota de solución 1. Agregar una pizca de frasco No. 2. (Si el color es azul parar, si es rosa continuar).

Agregar gotas de frasco No. 3 hasta que el color rosa cambie de rosa a azul y contar las gotas.

iv. Determinación de alcalinidad:

Material: Indicador de anaranjado de metilo, solución de ácido clorhídrico.

Procedimiento: Tomar un tubo con agua a la mitad y adicionar 2 gotas de indicador, agregar después gotas de ácido clorhídrico hasta que el color cambie de naranja a canela y anotar el número de gotas necesarias.

v. Determinación de cloruros:

Material: Indicador de cromato de potasio y solución de nitrato de plata.

Procedimiento: Tomar un tubo con agua a la mitad y adicionar dos gotas de indicador de cromato de potasio, agregar después 5 gotas de nitrato de plata, comparar la intensidad de color de cada una de las muestras y el resultado se expresará en el Tabla como menos o más intenso de coloración blanquecina.

3.3.3.4 Fase Final de Gabinete.

Consistió en el reajuste de la fotointerpretación inicial, la descripción de las unidades de suelo, interpretación de los análisis de laboratorio, la confección de mapas de suelos, los documentos con Figuras, esquemas que ilustran el estudio realizado.

I. Elaboración del Mapa de Suelos:

Los mapas de suelos se pueden clasificar según sus objetivos y la escala de trabajo para establecer tanto la finalidad del mapa final como la extensión a cartografiar, de acuerdo con un determinado nivel de detalle, tipo de levantamiento y representación a utilizar (Dorronsoro, 2003).

Para obtener el Mapa de Suelos se utilizan las variables de la caracterización del suelo (vegetación, suelos, relieve, disponibilidad de agua, zonas agrícolas y otras áreas alteradas que se observan en el paisaje) las cuales servirán como atributos para calcular la similitud entre unidades y las variables indicadoras (profundidad efectiva, textura del suelo, reacción del suelo, materia orgánica, pendiente del terreno, permeabilidad del suelo, grado de erosión y uso actual); que afecten el uso, manejo y tratamiento de cada porción del terreno.

Se procesó la información a partir del uso del software ArcGIS versión 10, (ESRI, 2011) para generar el Mapa de suelos se realizó la superposición de todos los mapas temáticos, Fisiografía, topografía circundante, pedregosidad superficial, profundidad efectiva, pendiente, erosión, afloramiento rocoso, textura del suelo, reacción del suelo, materia orgánica. La unión de unidades con características similares en estas coberturas determinó la unidad de suelo.

3.3.4 Caracterización Agrícola.

3.3.4.1 Requerimientos Edafoclimáticos.

Para determinar los requerimientos Edafoclimáticos del cultivo se realizará una revisión de varias referencias bibliográficas existente sobre los requerimientos climáticos y edafológicos del cultivo de la alfalfa. Los mismos que fueron evaluados por especialistas de la Zona (INIA CANAAN; Ayacucho).

Se determinaron los parámetros climáticos y edafológicos para la alfalfa: altitud, temperatura óptima, temperatura umbral, precipitación, textura, pH, materia orgánica y profundidad.

3.3.4.2 Calendario Agrícola.

El calendario agrícola también llamado periodo agrícola, es una herramienta de investigación, monitoreo y planificación de las actividades agrícolas. El calendario agrícola, generalmente se inicia con las actividades de siembra y finaliza con la cosecha. Para evaluar el comportamiento histórico de las épocas de siembra y cosecha del cultivo se recopiló información estadística sobre calendario agrícola del cultivo a través de la dirección regional agraria de Ayacucho del ministerio de agricultura (MINAG).

3.3.4.3 Producción por Campaña Agrícola.

El mapa de producción se realiza en función a la información secundaria obtenida de la Dirección Regional Agraria encargado de la difusión de la información agraria. Dicha información fue acondicionada al formijhato de trabajo empleado en la base de datos el cual se distribuye por provincia y sus respectivos distritos, así como por producción lograda en la última campaña agrícola, que a su vez esta expresado en toneladas métricas (Tm). Toda esta información ha sido acondicionada y jerarquizada tomando en cuenta los valores de producción mínima y máximos, en el que se toma el valor máximo y mínimo de la producción cuyo resultado se divide entre tres rangos expresados en el mapa de producción.

3.3.4.4 Superficie Cosechada por campaña Agrícola.

El mapa de superficie cosechada muestra la proyección de extensión de tierra utilizada para la producción agrícola y permite comparaciones entre distritos dentro del área en

estudio. Los rangos de superficie cosechada utilizados en el mapa de superficie cosechada se realizan en función a la información secundaria obtenida de la Dirección Regional Agraria, la cual ha sido jerarquizada tomando el valor máximo y mínimo.

3.3.4.5 Rendimiento por Campaña Agrícola.

El mapa de Rendimiento muestra la cantidad de producto económico cosechado que se obtiene por unidad de área. El rendimiento es un indicador del desempeño agronómico de un cultivo, el aumento del potencial del rendimiento depende de la interacción de los factores climáticos (temperatura, la luz, humedad relativa, entre otros); de los factores edáficos (fertilidad, textura y estructura, salinidad y pH, agua y aire); factores bióticos (bacterias, virus y hongos, insectos, y malezas); la adopción de tecnologías y la selección genética del cultivo (variedad) con mayor potencial de rendimiento y mejor adaptabilidad a cada región edafo-climática.

Los rangos utilizados en el mapa de rendimiento se realizan en función a la información secundaria obtenida de la Dirección Regional Agraria, la cual ha sido jerarquizada tomando el valor máximo y mínimo, para establecer el nivel de productividad que alcanzo el cultivo de alfalfa en la subcuenca del Rio Cachi.

3.3.5 Zonificación Edafoclimática.

3.3.5.1 Esquema Metodológico Propuesto.

La selección del modelo metodológico más adecuado para el presente trabajo de zonificación edafoclimática del cultivo de Alfalfa a escala 1:25 000, es la propuesta por CLIRSEN (2010) , que simultáneamente se fundamenta en el modelo experimental por la FAO (1997), debido a que este método incluyen procesos para la generación de la zonificación con isnumos catograficos que se han podido recopilar y considerando principalmente que ha sido aplicado y elaborado repetidas veces en investigaciones realizadas por instituciones como el SENAMHI – Direccion De Agrometeorologia y CLIRSEN, con el respectivo manejo de las capas .

El CLIRSEN (2010), en su metodología implementó el uso del software especializado y empleando como base la metodología de zonificación agro-ecologica, donde se

sobreponen diversas capas de información espacial, con la finalidad de definir zonas con cierto nivel de aptitud.

Este proceso combina las mejores condiciones edafológicas y climáticas para el desarrollo de los cultivos con los estudios de suelos estableciéndose así áreas óptimas. Además estas zonas permiten un mejor control y manejo de acuerdo a los requerimientos naturales de cada cultivo a zonificar, sumado al estudio y al conocimiento apropiado del suelo, es un componente decisivo para predecir el panorama del recurso y establecer decisiones reales de manejo sostenible de la tierra, proporcionando los fundamentos necesarios para evaluaciones de la degradación de tierras y sostenimiento de la población ganadera.

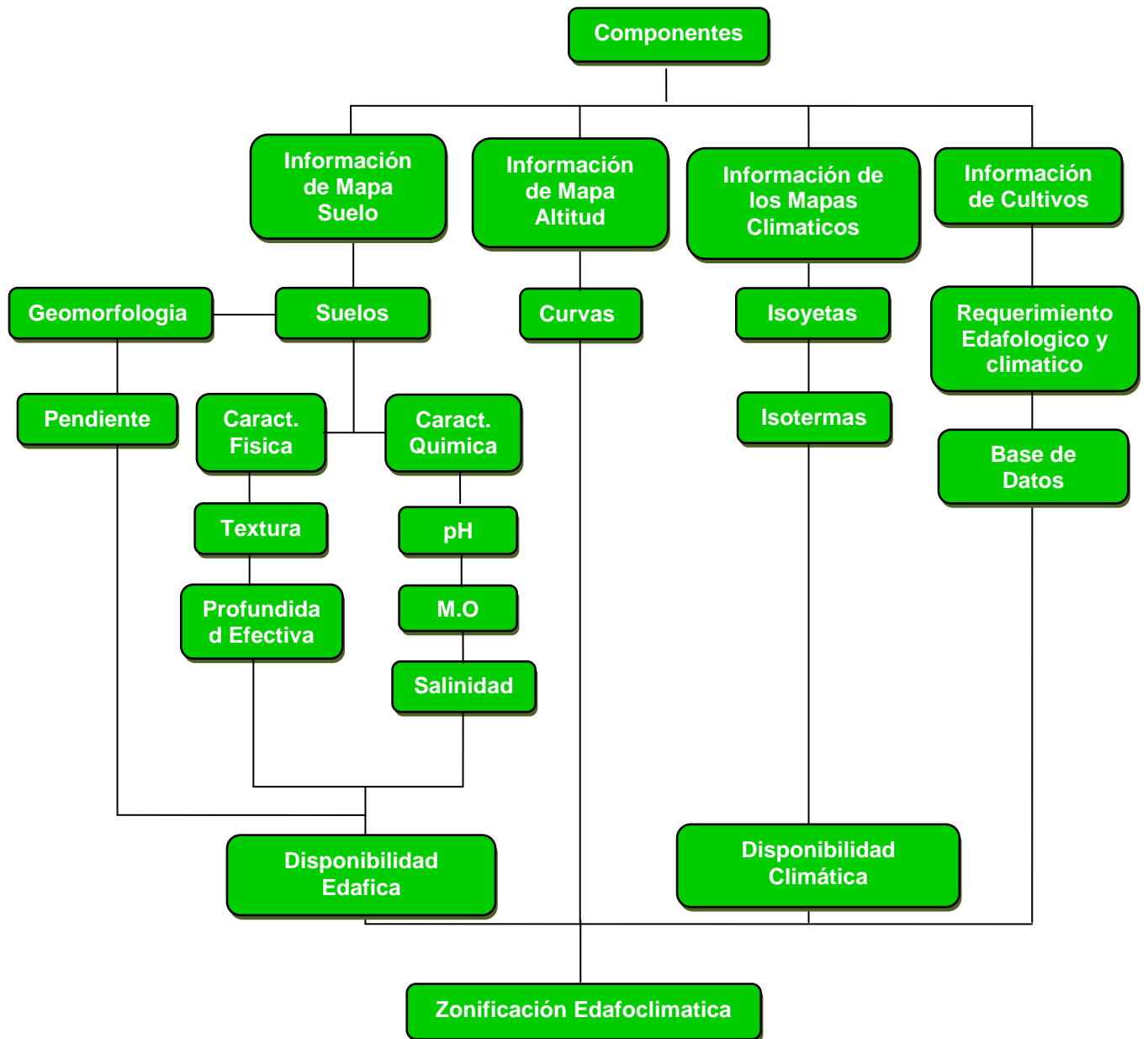
Según lo manifestado anteriormente, el estudio de tesis toma como fundamento referencial a las experiencias o fuente bibliográficas recogidas en investigaciones elaboradas por el SENAMHI en convenio con otras instituciones como el INIA, nombradas con los siguientes títulos:

- “Zonificación agrícola de riesgos climáticos para cultivos de seguridad alimentaria y agroexportación en las regiones de Ayacucho y Huancavelica”. SENAMHI; FINCYT; INIA, 2012.
- “Zonificación edafoclimática para el cultivo de alcachofa en Ayacucho”. SENAMHI; INIA; 2010.

El esquema metodológico relaciona todos los parámetros considerados en la investigación, en donde se destaca la disponibilidad de interrelacionar e integrar las diferentes capas temáticas hasta concluir en un mapa de Zonificación Edafoclimática.

En el siguiente flujograma explica el esquema metodológico propuesto (ver Figura N°05):

Figura N° 05: Flujograma metodológico de zonificación Edafoclimática.



Fuente: Elaboración Propia del Tesista

3.3.6 Estandarización de la Información.

Con las capas obtenidas según las necesidades propuestas para este análisis, se procedera a organizar la información en la parte gráfica como la base de datos, estableciéndose la estandarización de los siguientes lineamientos cartográficos y escala de trabajo:

- **Coordenadas:** Coordenadas planas (m)
- **Sistema de Referencia:** World Geodetic System – WGS 84
- **Proyección Cartográfica:** Universal Transversa de Mercator, UTM.
- **Zona:** 18 SUR
- **Datum:** Sistema Geodésico Mundial 1984 – WGS 84
- **Escala (Nivel Semidetalle):** 1:25 000
- **Software:** ArcGIS 10.3.

CAPITULO IV. CARACTERISTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

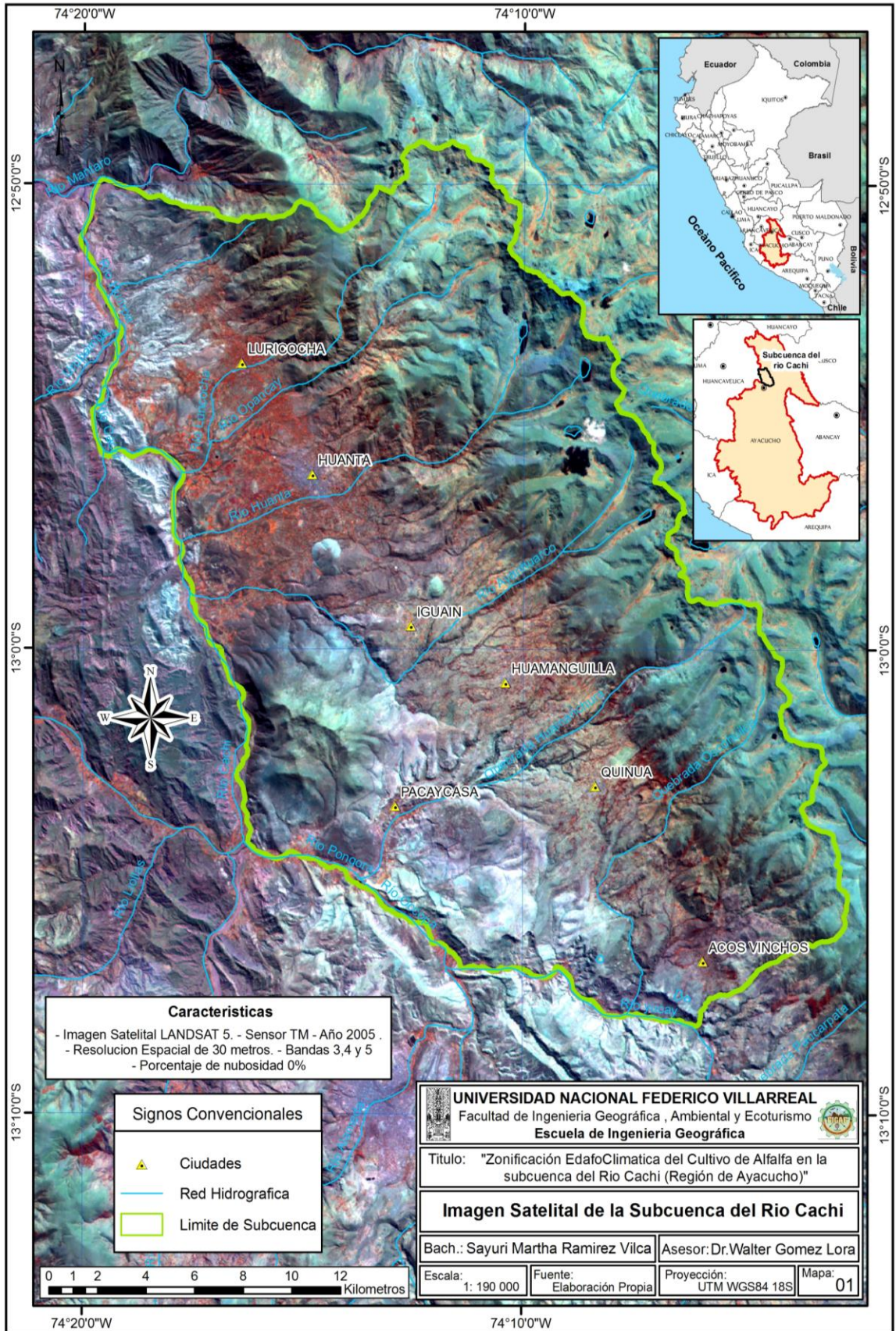
4.1. ZONA DE ESTUDIO.

El área de estudio cubre una superficie de 64600 has, está ubicada a una altura que varía desde los 2150 m.sn.m hasta los 4900 m.s.n.m. El área de estudio se encuentra dentro de la cuenca del río Mantaro. Geográficamente se encuentra localizada entre los paralelos 12°49'0" / 13°8'0" de latitud sur y los meridianos 74°12'0" / 74°3'5" de longitud oeste de Greenwich. La carretera más importante que atraviesa es la vía de L.V. (La Mejorada)-MayoTabla Huanta-Ayacucho-L.V. (PTE PAMPAS).

La Subcuenca del río cachi abarca los distritos de Luricocha, Huanta, Iguain, Huamanguilla, Pacaycasa, Quinua y Acosvinchos pertenecientes a las provincias de Huanta y Huamanga respectivamente, en el departamento de Ayacucho. En la cabecera de la Subcuenca del río Cachi, se ubican las comunidades: Churia Rosaspampa, Chuschi, Millpu, Paras, Quisillaccta Waripercca y Cancha Cancha.

El relieve general de la subcuenca es muy accidentado de quebradas bien pronunciadas y pendientes altas las que dan nacimiento y son vertientes de los ríos principales, estas se caracterizan por ser poco estable, erosionan sus cauces, producto de sus altas pendientes, esto es característico de cuencas de cabecera como lo es el Cachi sobre los 3600 m.s.n.m el terreno no presenta muchas colinas ni altas pendientes, pero de terrenos que presentan una ondulación alta y continua. Mientras que por debajo de los 3600 m.s.n.m existen colinas altamente escarpadas, con numerosas quebradas y ríos profundos formando ocasionalmente pequeños valles y planos.

En la subcuenca del río Cachi se encuentran las fuentes hídricas para la población de la ciudad de Ayacucho, la cual está ubicada en la región Ayacucho, provincia Huamanga. (Ver Mapa N° 01).



CAPITULO V. RESULTADOS

5.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.

Se realizó una evaluación preliminar de las series de tiempo de las estaciones meteorológicas, permitiendo seleccionar aquellas que tengan datos y pequeñas lagunas de datos faltantes o hasta un 85% de datos discontinuos pero que presenten datos al inicio y final dentro del periodo 1993 - 2014 (19 años), para su completación con métodos estadísticos. (Ver el anexo N° 01,02 y 03).

La calidad de los datos de las estaciones seleccionadas se evaluó estadísticamente, se usarán Figuras de histogramas, cajas Boxplots para la detección de observaciones discrepantes (outliers) en las series de tiempo de cada variable climatológica. Ver anexo N° 04, 05, 06 y 07, Esto se hizo para cada estación de la temperara Máxima, Mínima y Precipitación mensual acumulada. También se usará una prueba estadística para verificar la normalidad de los datos usando el grafico qq-norm, ver anexo N°10.

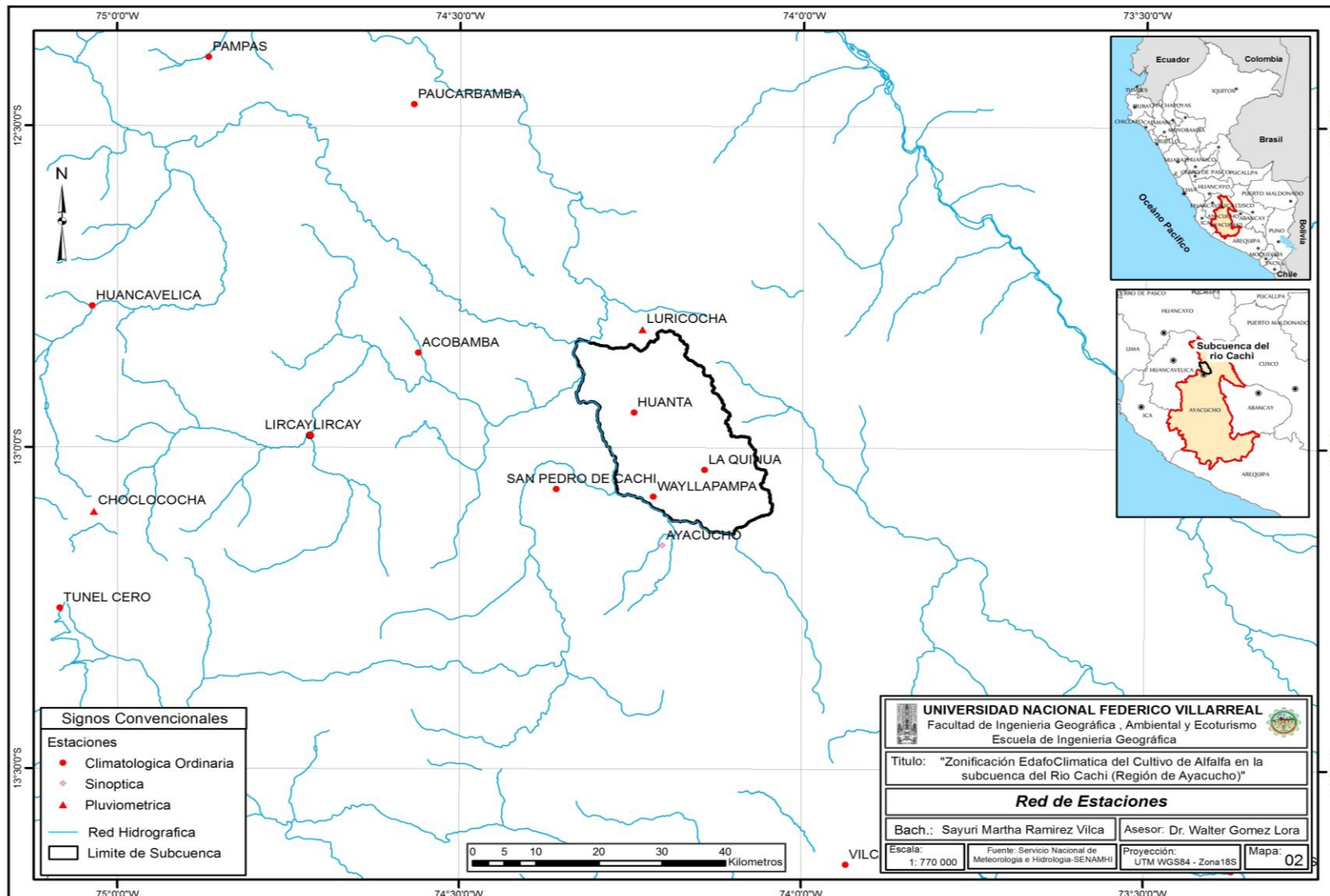
Para el estudio se utilizaron datos de 16 estaciones meteorológicas (13 climatológicas, 02 pluviométricas y 01 Sinoptica) provenientes de la Red observacional del Servicio Nacional de meteorología e hidrología del Perú-SENAMHI, en el ámbito de la Subcuenca del rio cachi y en sitios aledaños a la Subcuenca, tal como se presenta en la tabla N° 17 y el Mapa N° 02.El record de la información meteorológica utilizada fue de 1993 a 2014. Para cada estación se determinó, en lo posible, la información de metadata básica (ubicación de la estación, variables medidas, fecha de inicio, fecha de culminación, etc.) y el período de datos disponibles.

Tabla N° 17: Estaciones Meteorológicas Seleccionadas

Estación	Tipo	Longitud	Latitud	Altitud Metros	Información			
					PP	TMAX	TMIN	TMIN
Acobamba	CO	74°33'32"	12°51'51"	3236	X	X	X	X
Andahuaylas	CO	73°22'15"	13°39'25"	2866	X	X	X	X
Ayacucho	SIN	74°12'14"	13°09'10"	2761	X	X	X	X
Choclococha	PLU	73°22'15"	13°06'01"	4670	X			
Huancapi	CO	74°04'04"	13°03'36"	3120	X	X	X	X
Huancavelica	CO	75°02'02"	12°46'45"	3860	X	X	X	X
Huanta	CO	74°14'13"	12°56'55"	2610	X	X	X	X
La Quinoa	CO	74°08'07"	13°02'02"	3240	X	X	X	X
Lircay	CO	74°43'43"	12°58'55"	3300	X	X	X	X
Luricocha	PLU	74°14'01"	12°49'01"	2625	X			
Pampas	CO	74°51'50"	12°23'22"	3240	X	X	X	X
Paucarbamba	CO	74°34'01"	12°28'01"	3000	X	X	X	X
San Pedro de Cachi	CO	74°21'20"	13°02'02"	2990	X	X	X	X
Tunel Cero	CO	75°05'05"	13°15'15"	4475	X	X	X	X
Vilcashuaman	CO	73°56'56"	13°38'37"	3650	X	X	X	X
Wyllapampa	CO	74°13'13"	13°03'02"	2470	X	X	X	X

CO Climatológica Ordinaria PLU Pluviométrica SIN Sinóptica

Fuente: SENAMHI



5.1.1. Análisis de la Precipitación.

En los histogramas mostrados en el anexo N°07 lo que se aprecia es que los datos no presenta o no muestran una distribución normal, tendrá una representación tipo gamma, lo que es de esperarse, ya que estamos trabajando con datos de precipitación.

El anexo N° 04 de las cajas Blox Plots, muestran el comportamiento por mes de la precipitación mensual acumulada. En todas las estaciones se hace evidente el comportamiento estacional de la precipitación, resaltando en particular el incremento de ésta en el periodo que se extiende de julio a septiembre. Es fácil evidenciar a través de esta gráfica que las medianas representadas por la línea negra que divide a la caja en dos partes, se encuentra desplazada lo que muestra que hay un sesgo de los datos y que no llevan una distribución normal.

Para aplicar las Pruebas estadísticas, primero realizamos la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov - Smirnov y Shapiro-Wilk, en el software SPSS 15.0 (Ver Tabla N°18) se puede decir que de las estaciones analizadas ellas aceptan la hipótesis nula de que la distribución de los datos no se aproxima a la normal, los resultados llegan a ser menores de 0.5. Observamos un caso típico de falta de normalidad absoluta. Hecho que se demuestra empíricamente a través de la observación del Histograma.

Tabla N° 18: Pruebas de normalidad para los datos de Precipitación con SPSS.

Estación	Periodo de Análisis	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Acobamba	01	0.161	96	.000	.872	96	.000
	02	.126	120	.000	.902	120	.000
Andahuaylas	01	.148	96	.000	.895	96	.000
	02	.135	120	.000	.913	120	.000
Ayacucho	01	.139	96	.000	.885	96	.000
	02	.162	120	.000	.865	120	.000
Choclococha	01	.153	96	.000	.872	96	.000
	02	.142	120	.000	.888	120	.000
Huancapi	01	.182	96	.000	.851	96	.000
	02	.173	120	.000	.870	120	.000
Huancavelica	01	.133	96	.000	.903	96	.000
	02	.156	120	.000	.854	120	.000
La Quinoa	01	.143	96	.000	.900	96	.000
	02	.126	120	.000	.910	120	.000
Lircay	01	.154	96	.000	.900	96	.000

	02	.166	120	.000	.895	120	.000
Pampas	01	.151	96	.000	.902	96	.000
	02	.115	120	.001	.916	120	.000
San Pedro de Cachi	01	.140	96	.000	.882	96	.000
	02	.165	120	.000	.864	120	.000
Túnel cero	01	.146	96	.001	.890	96	.000
	02	.155	120	.000	.877	120	.000
Vilcashuaman	01	.172	96	.000	.853	96	.000
	02	.187	120	.000	.858	120	.000
Wayllapampa	01	.194	96	.001	.853	96	.000
	02	.161	120	.001	.839	120	.000

Fuente: Elaboración Propia

Lo obtenido en las gráficas qq normal de la prueba no paramétrica nos demuestra que no se ajustan a una distribución normal, ya que los datos no se ciñen por completo a la recta. Pero si cumplen la hipótesis. (Ver Anexo N°10).

Como la hipótesis fue nula se utilizó una prueba no paramétrica. La prueba no paramétrica utilizada fue la de Kruskal Wallis, para probar si un grupo de datos proviene de la misma población. (Ver Anexo N°11).

Para verificar la consistencia de los datos, se realizó el análisis de las curvas de doble masa. Si la relación resultante se ajusta a una ecuación lineal, puede afirmarse que la información es consistente (ver Figura N°05).

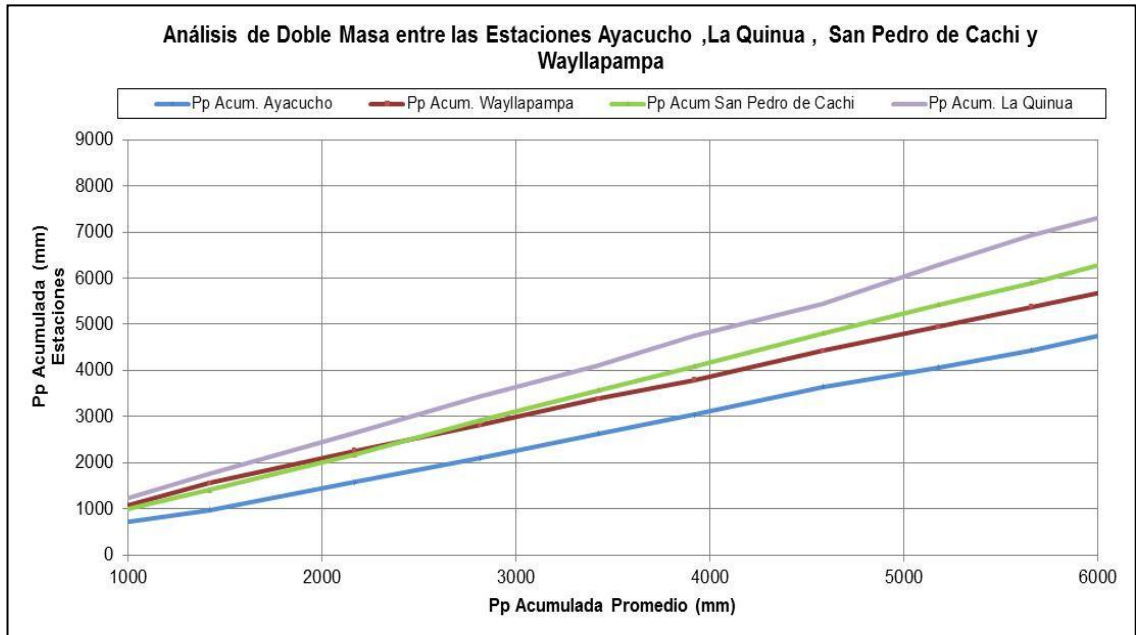
Tabla N° 19: Estaciones Seleccionadas para la estimación de la Precipitación

Estación con falta de datos (Y)	Estaciones utilizadas (X), para la estimación de la precipitación (Y)		
	1ª estación más cercana	2ª estación más cercana	3ª estación más cercana
Ayacucho	Wayllapampa	San Pedro de cachi	La Quinua

Fuente: Elaboración Propia

El criterio utilizado a la hora de escoger las estaciones entre las que se ha establecido la ecuación de regresión lineal se ha basado principalmente en la proximidad con respecto a la estación que se completa y en la cantidad de datos disponibles en cada estación. El grado de ajuste para los datos de todas las estaciones analizadas es muy elevado, tal y como puede observarse en la Tabla N° 19, en la que se incluyen las ecuaciones lineales obtenidas y el coeficiente de correlación.

Figura N° 06: Análisis de Doble Masa entre las Estaciones Ayacucho, La quinua, San Pedro de Cachi y Wayllapampa.



Fuente: Elaboración Propia

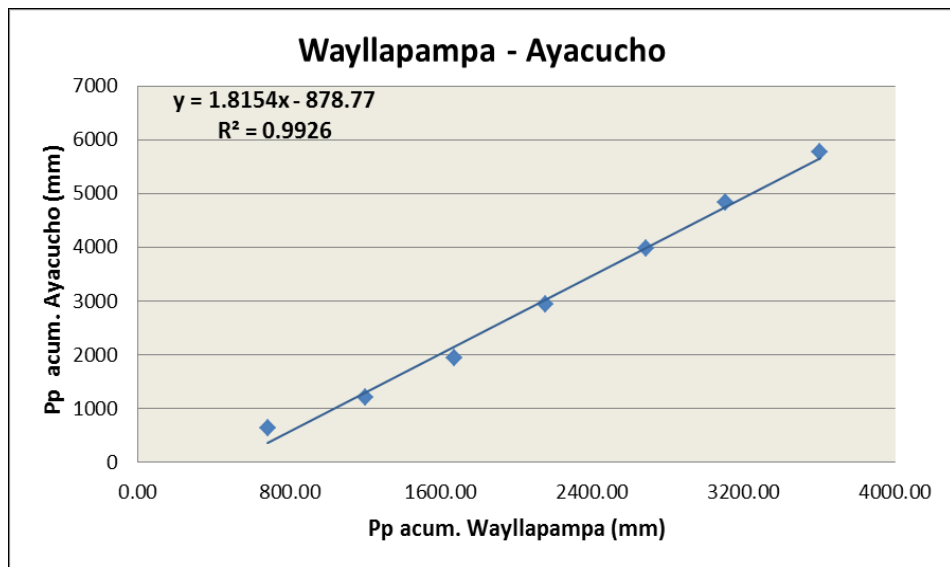
En el Figura N° 06, se observa como en ningún caso se producen cambios en la pendiente de la línea de ajuste. Una vez analizada la consistencia de los datos se procedió al relleno de los datos faltantes de la estación Ayacucho. Para ello se analizó cuál de las estaciones de la zona presentaba un mejor ajuste. En el Tabla N° 20, se presentan las ecuaciones lineales obtenidas, y el grafico se presentan en la figura N°06.

Tabla N° 20: Resultado de las ecuaciones lineales.

Estaciones		Ecuación de Regresión lineal	Coeficiente R2
X	Y		
Wayllapampa	Ayacucho	$Y=0.8988x-353.58$	0.993
San Pedro de cachi	Ayacucho	$Y=0.7662x-76853$	0.996
La Quinua	Ayacucho	$Y=0.6776x-162.69$	0.993

Fuente: Elaboración Propia

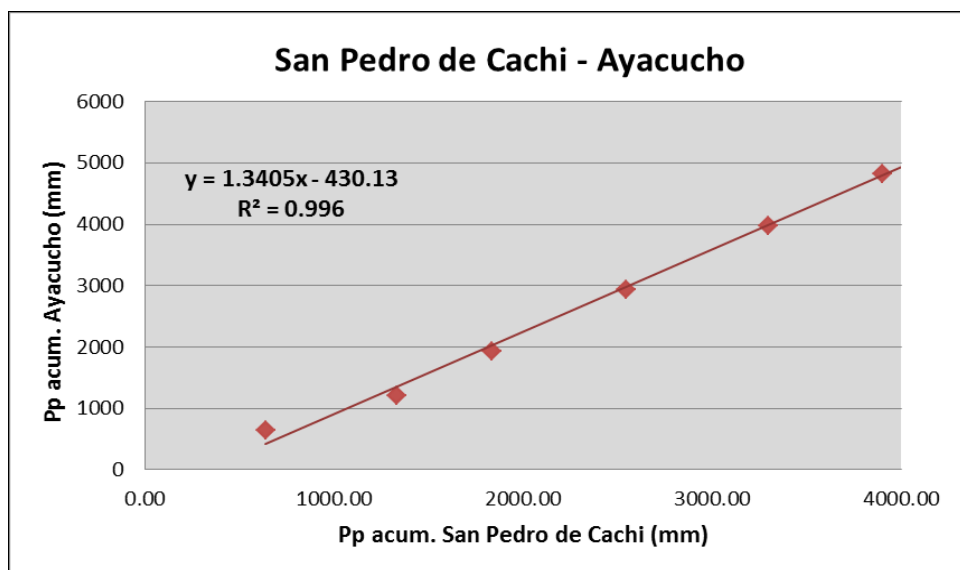
Figura N° 07: Resultados del Análisis de Doble Masa entre las estaciones Wayllapampa y Ayacucho.



Fuente: Elaboración Propia

El análisis entre wayllapampa y Ayacucho arrojó buenos resultados como lo muestra la Figura N° 07. El índice de correlación R2 es de 0,9926 y puede observarse que la línea sigue una tendencia lineal.

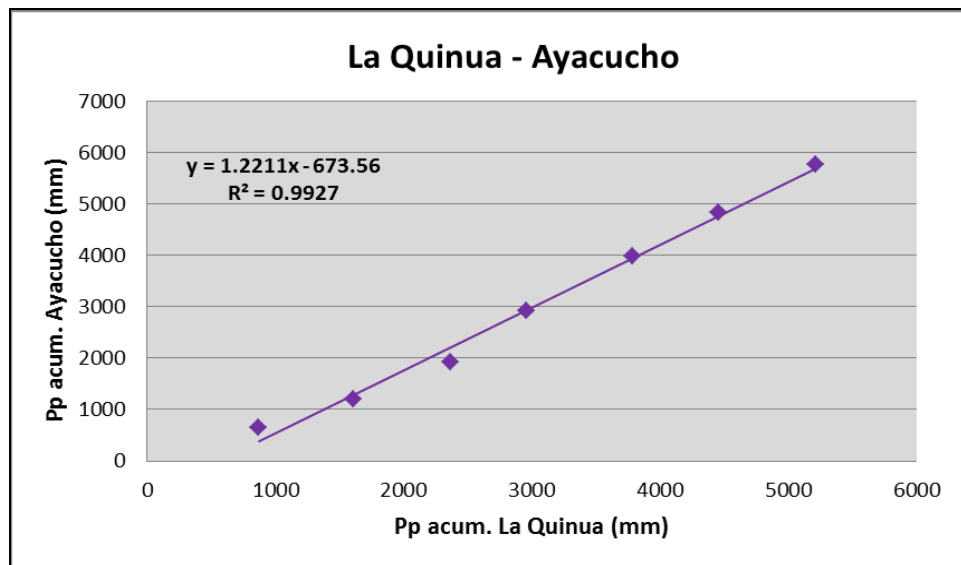
Figura N° 08: Resultados del Análisis de Doble Masa entre las estaciones San Pedro de Cachi y Ayacucho.



Fuente: Elaboración Propia

La misma metodología fue aplicada entre San Pedro de Cachi y Ayacucho, con resultados muy satisfactorios, obteniéndose un R2 de 0,996. (Ver Figura N° 08)

Figura N° 09: Resultados del Análisis de Doble Masa entre las estaciones La quinua y Ayacucho.



Fuente: Elaboración Propia

Por último, se aplicó la metodología entre La Quinua y Ayacucho obteniendo buenos resultados con un R2 de 0,9927 y una recta que se adapta bastante a una tendencia lineal. (Figura N° 09)

Para poder rellenar los datos faltantes de la estación Ayacucho, correspondientes a los años de 2000 a 2014, se utilizaron los datos de la estación que presentó un mayor coeficiente de correlación. Como se observa la estación San Pedro de Cachi presenta el mayor valor aceptable que corresponde a la correlación entre Ayacucho, La Quinua y Wayllapampa, con un R2 de 0,996 y una recta que se adapta bastante a una tendencia lineal. La ecuación utilizada para el cálculo fue: $Y=1.3405x-430.13$ (Figura N° 08). Además del análisis efectuado se realizó la completación de los datos de precipitación de la estación meteorológica de Ayacucho. (Ver Tabla N° 21).

Tabla N° 21: Regresión lineal, a nivel mensual, entre las estaciones pluviométricas elegidas.

Precipitación Total Anual (mm)								
Año	Ayacuch	Acumulado	Wayllapampa	Acumulado	La Quinua	Acumulado	San pedro de cachi	Acumulado
1993	641.06	641.06	686.0	686.0	871.10	871.10	636.60	636.60
1994	558.42	1199.48	513.9	1199.9	734.10	1605.20	691.70	1328.30
1995	732.43	1931.91	473.4	1673.3	761.90	2367.10	505.70	1834.00
1996	997.43	2929.34	477.6	2150.9	595.80	2962.90	712.40	2546.40
1997	1045.59	3974.93	534.5	2685.4	826.70	3789.60	746.80	3293.20
1998	851.96	4826.89	416.6	3102.0	671.10	4460.70	608.50	3901.70
1999	931.77	5758.66	501.5	3603.5	756.20	5216.90	665.50	4567.20
2000	929.67	6688.33	701.4	4304.9	806.60	6023.50	664.00	5231.20
2001	1033.55	7721.88	857.0	5161.9	942.40	6965.90	738.20	5969.40
2002	1074.86	8796.74	706.4	5868.3	906.20	7872.10	767.70	6737.10
2003	905.86	9702.60	548.0	6416.3	791.80	8663.90	749.46	7486.56
2004	910.91	10613.51	575.1	6991.4	669.80	9333.70	650.60	8137.16
2005	736.87	11350.38	409.5	7400.9	640.90	9974.60	526.30	8663.46
2006	999.67	12350.05	624.3	8025.2	698.30	10672.90	714.00	9377.46
2007	829.84	13179.89	523.7	8548.9	818.90	11491.80	624.01	10001.47
2008	682.97	13862.86	426.7	8975.6	647.80	12139.60	472.50	10473.97
2009	1135.48	14998.34	631.5	9607.1	793.50	12933.10	811.00	11284.97
2010	980.07	15978.41	520.1	10127.2	712.20	13645.30	700.00	11984.97
2011	1311.75	17290.16	773.3	10900.5	1021.80	14667.10	636.60	12621.57
2012	1167.54	18457.70	751.9	11652.4	766.20	15433.30	691.70	13313.27
2013	1044.33	19502.03	722.8	12375.1	903.40	16336.70	505.70	13818.97
2014	1107.20	20609.23	712.3	13087.4	919.70	17256.40	712.40	14531.37
Promedio	936.78	10107.47	594.89	6570.19	784.38	8849.25	660.52	7624.56
Des.Est	185.27	6170.68	128.13	3816.24	110.70	5021.97	91.00	4326.20
Máx	1311.75	20609.23	857.00	13087.40	1021.80	17256.40	811.00	14531.37
Mín	558.42	641.06	409.50	686.00	595.80	871.10	472.50	636.60

5.1.2 Análisis de la Temperatura del aire.

Las figuras de las cajas box plots (ver Anexo N°5 y 6) y histogramas (ver Anexo N°8 y 9), hacen evidente el comportamiento estacional de la temperatura de aire, será más cercana a una distribución normal. Casi en todas las estaciones surge el mismo comportamiento cualitativo. La Temperatura Máxima aumenta a partir de diciembre y este incremento se sostiene hasta que se alcanza las temperaturas máximas en los meses de mayo y junio. A partir de julio la Temperatura máxima disminuye sostenidamente hasta los meses de agosto y setiembre, y una vez más se inicia el ciclo a partir de diciembre. El anexo 14, muestran los mapas de isotermas de Temperatura máxima promedio mensual (1993 - 2014).

La temperatura mínima por mes se despliega gráficamente en el anexo 15. Vemos que ésta tiene un comportamiento cualitativo similar al de la temperatura máxima diaria.

No se realizó la prueba de normalidad ya que la temperatura tiene un comportamiento normal.

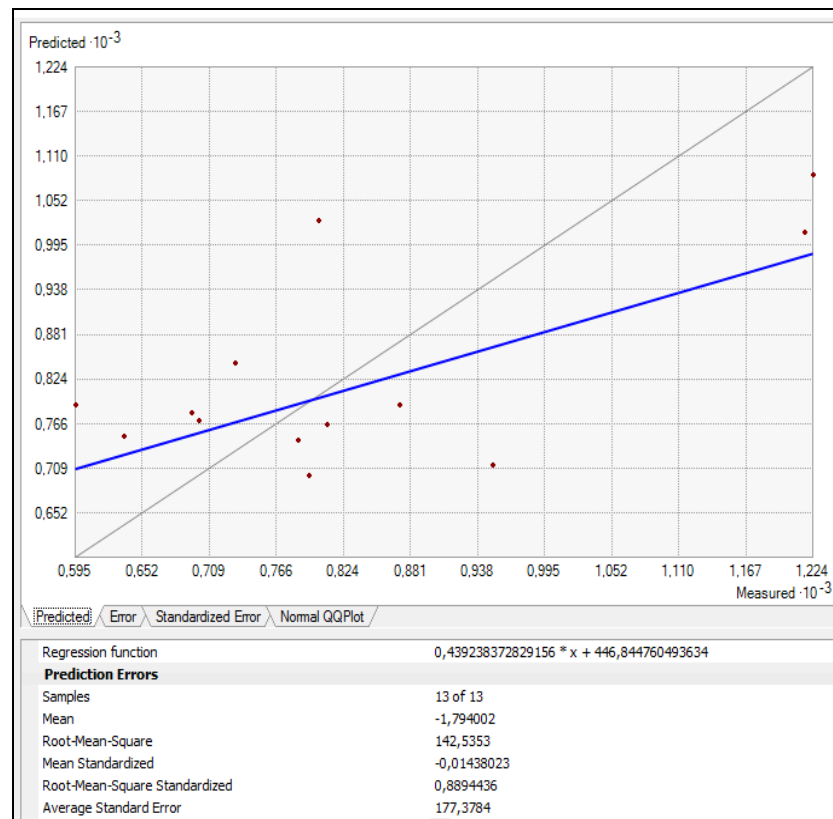
5.1.3 Interpolación Espacial de la Precipitación.

Para este trabajo, los resultados de precipitación fueron espacializados mediante el método de interpolación de KRIGING, desde el Software ArcGis 10.3 con la herramienta Geostatistical Analyst la cual permitió explorar la variabilidad de datos de precipitación permitiendo crear predicciones y calcular errores de predicciones, el método ponderó con mayor fuerza a los puntos cercanos a la celda proceso y con menor intensidad sobre aquellos ubicados a mayor distancia.

El método del semivariograma consistió en encontrar una fórmula que representará la distribución de la variable a nivel espacial. La fórmula se halló con los datos anuales de precipitación. Se encontró en la mayoría una tendencia a un comportamiento anisotrópico por la cercanía y lejanía del origen. (Ver FiguraN° 10)

Las graficas descritas a continuación muestran como se agruparon los datos arrojados por cada estación, mostrando un rango dentro de los 595 a 1224 mm de precipitación anual los cuales corresponden a las 13 estaciones en la zona de estudio. Para ello cada método hace una predicción de estos datos mostrando una tendencia previa muy parecida dentro de los 4 modelos establecidos.

Figura N° 10: Predicción método Kriging Ordinario



Fuente: Herramienta Geostatistical Analyst

Aunque en las graficas de la predicción no representan muy bien las diferencias entre los métodos, estas se visualizaran mas al detalle en la generación de mapas de interpolación y se podrá observar cual es la mejor muestra una mejor selección de áreas mediante el error estándar.

Calculado el error medio cuadrático se analiza que entre menor sea el error de cada una de las predicciones arrojadas de las 13 estaciones mejor será el ajuste del modelo y mejor será la calidad del mapa. Por ende se generara una mejor clasificación de la predicción de áreas por zonas por lo cual se considera por previa aproximación el mapa de clasificación Kriging Ordinario, como se describe en la tabla N° 22 , que a continuación presentamos:

Tabla N° 22: Error Estándar Kriging Ordinario

KRIGING ORDINARIO		
Error	StdError	Stdd_Error
87,6763	159,5337	0,5496
114,9192	261,2015	0,4400
-236,7309	146,6895	-1,6138
-204,3931	158,5571	-1,2891
-81,1631	233,4928	-0,3476
225,2070	187,0309	1,2041
115,1589	139,9734	0,8227
-38,3409	144,8974	-0,2646
-43,3468	204,5348	-0,2119
-92,7341	153,9665	-0,6023
-138,0382	179,5336	-0,7689
71,8072	145,3052	0,4942
196,6566	140,3975	1,4007

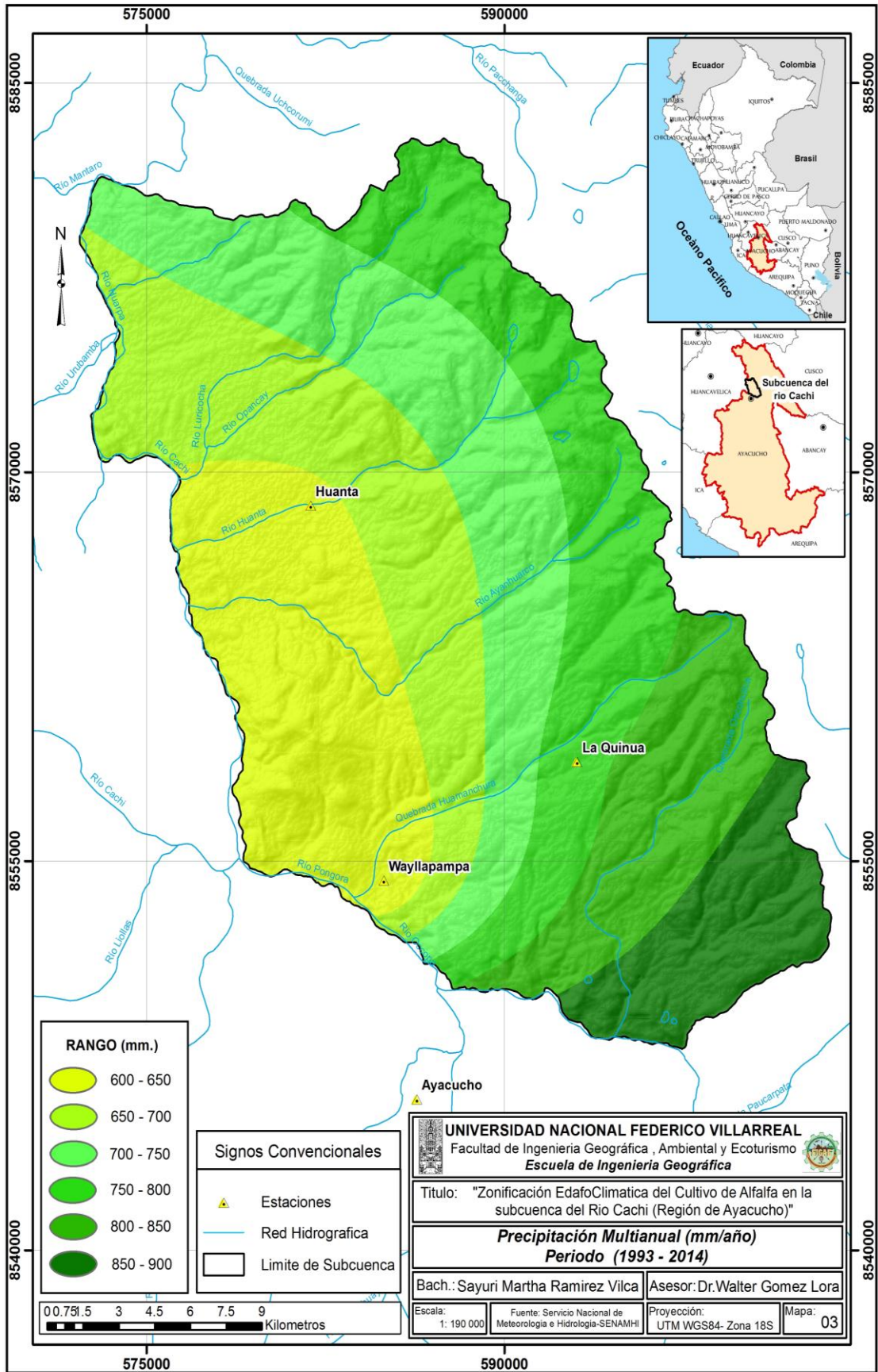
Fuente: Elaboración Propia

Para evaluar la bondad del modelo se ha calculado la validación cruzada. Las estadísticas calculadas son la Raíz el error medio cuadrático (RMSE) y el error medio absoluto (MAE). (Ver tabla N° 23)

Tabla N° 23: Resultados estadísticos del Modelo de interpolación de la precipitación.

Errores de la predicción	
Media	782.2869355
Raíz Cuadrática Media	198.5618831
Error estandarizado Promedio	49.49580284
Media estandarizada	780.7881534
Raíz cuadrática media estandarizada	197.9832113

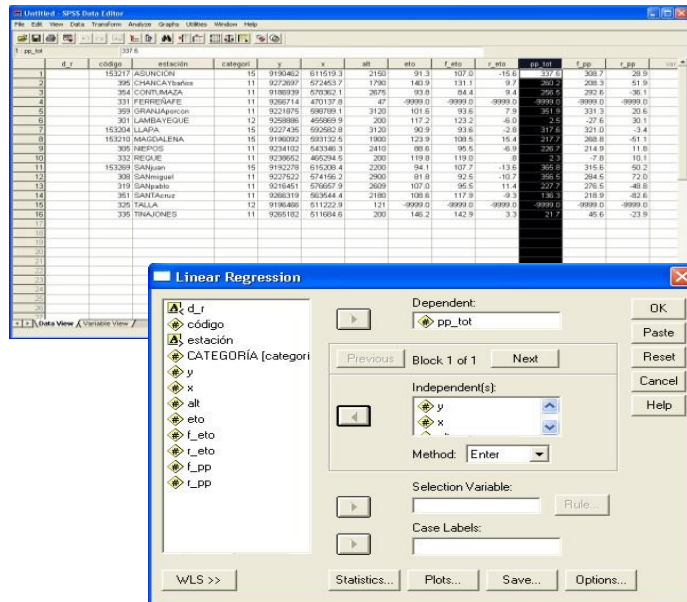
Fuente: Elaboración Propia



5.1.4 Interpolación Espacial de la Temperatura del Aire.

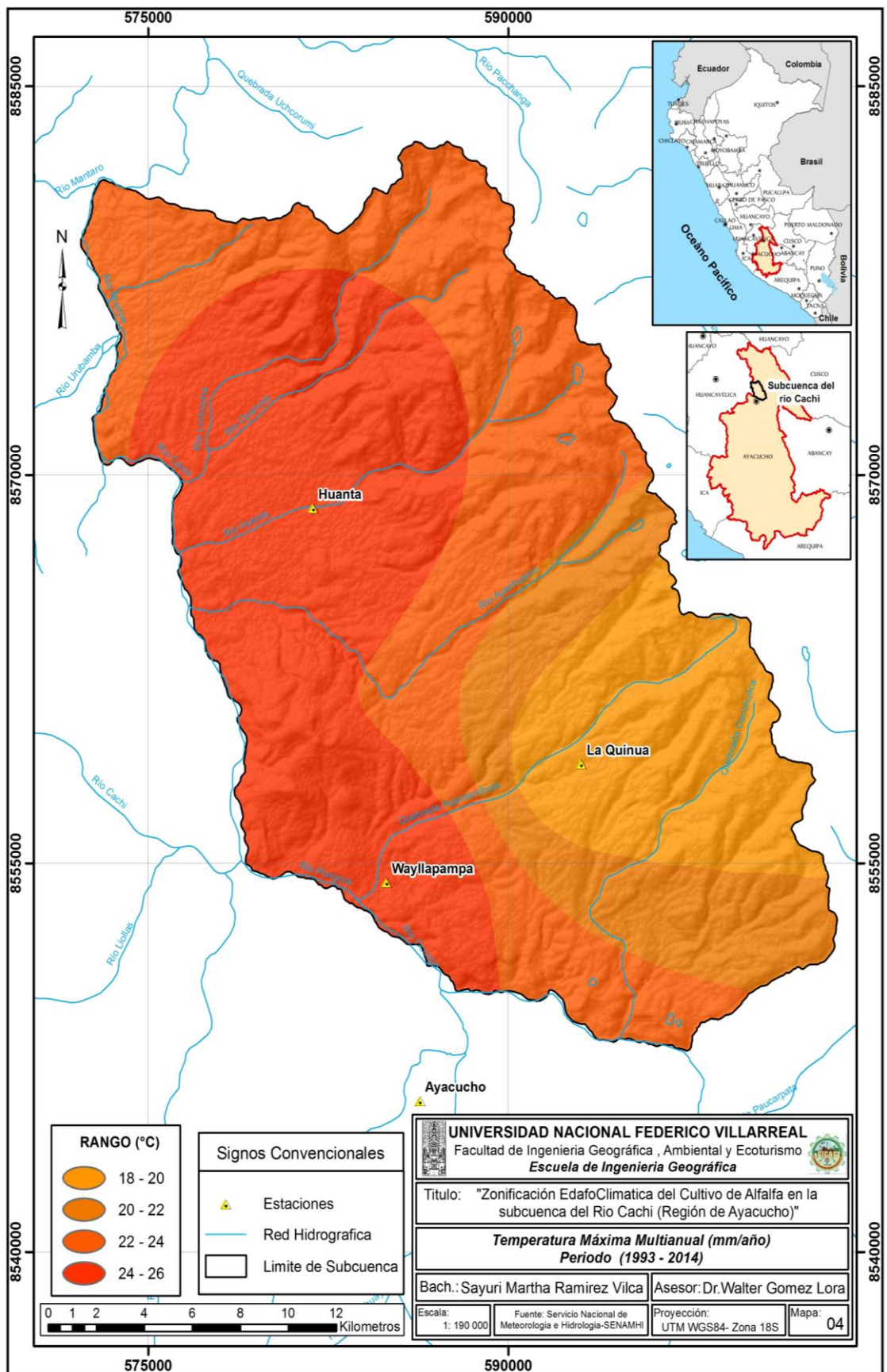
Se aplicó el modelo de Regresión Lineal Múltiple para la interpolación de los datos de temperatura con estaciones que se encuentran dentro y alrededor del área de estudio, para ello se utilizó el programa estadístico SPSS (ver Figura N° 11).

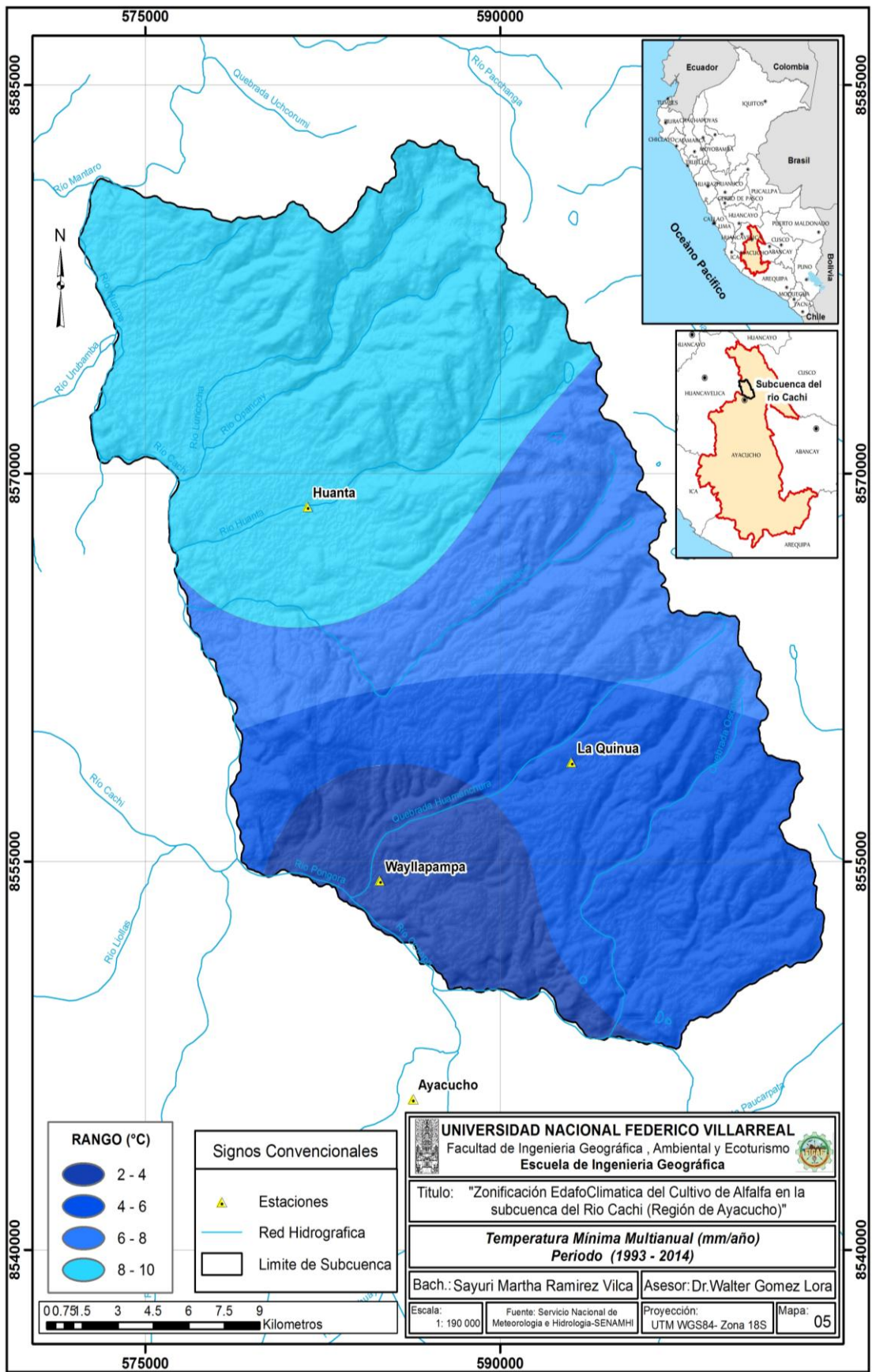
Figura N° 11: Cálculo de Análisis de Regresión Lineal

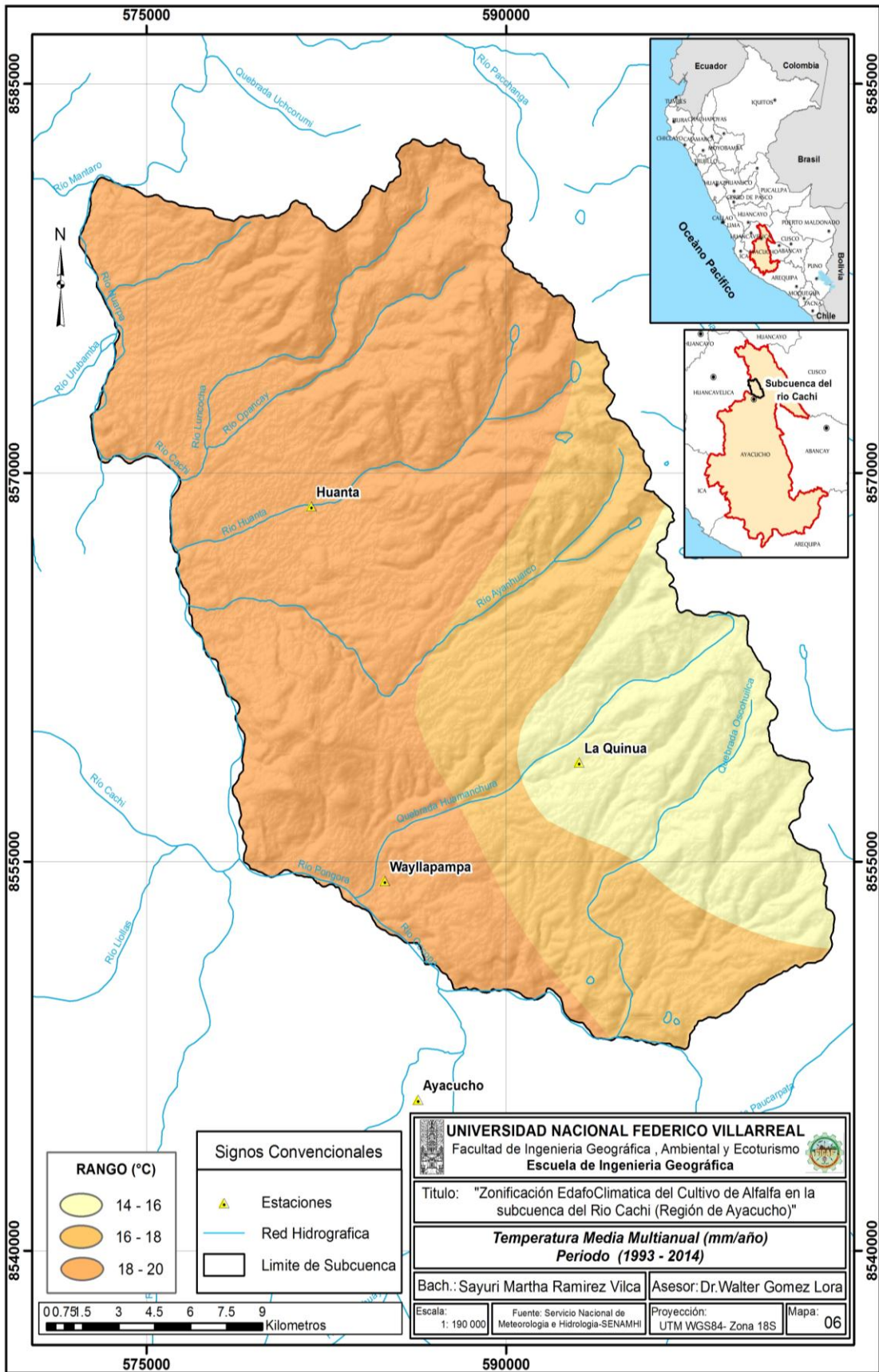


Fuente: Elaboración Propia

Para la evaluación de la confiabilidad del modelo de regresión, se utilizó el coeficiente de determinación (R^2), el cual es el indicador más recomendado para medir la fiabilidad (Vicente - Serrano et al., 2003), obtenido a partir de una regresión de los datos reales y predichos (Ver Figura N° 11). Y luego se aplicó la ecuación mediante álgebra de mapas en Ràster Calculator del programa ArcGis 10.3. Para la elaboración de las matrices ràster, utilizando las variables climáticas y geográficas.







5.2 CARACTERIZACIÓN EDÁFICA.

5.2.1 Altitud.

En el Figura N° 12, se puede apreciar la distribución de las elevaciones altitudinales en la subcuenca del río Cachi, cuyas tierras se encuentran agrupadas de 2000 a 2500 msnm, con un 12 % (7950 ha), el mayor porcentaje de ocupación es de 31 % (20032 ha) y se encuentra entre 2500 a 3000 msnm, en tanto que 24 % (15202 ha) se ubica entre 4000 a 4500 msnm y el 1% (435 ha) de ocupación es de 4500 a 5000 msnm.(Ver Mapa N° 07)

Figura N° 12: Distribución Porcentual de la Altitud.

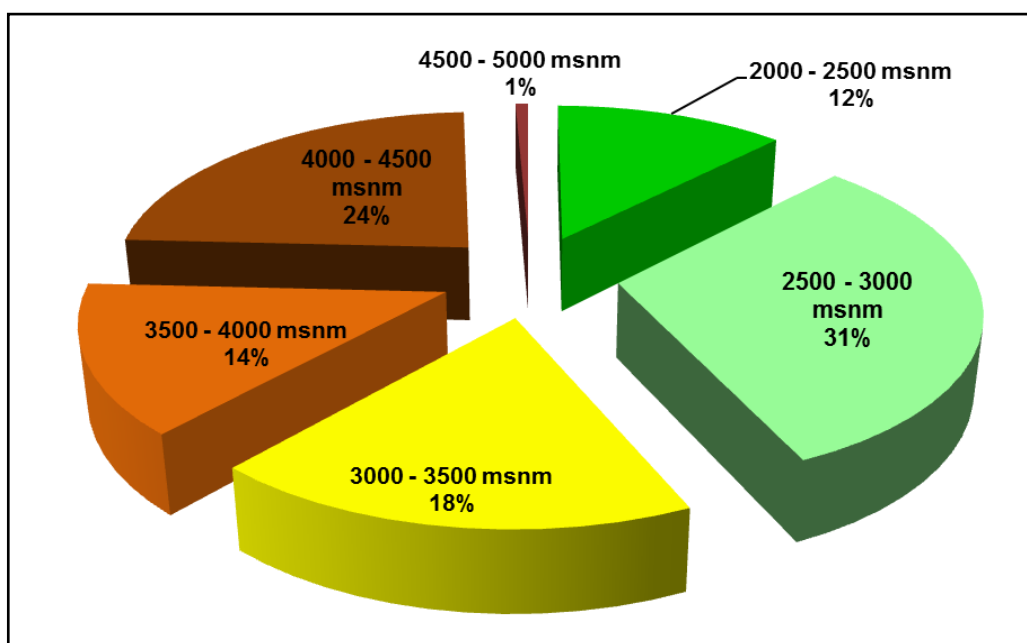
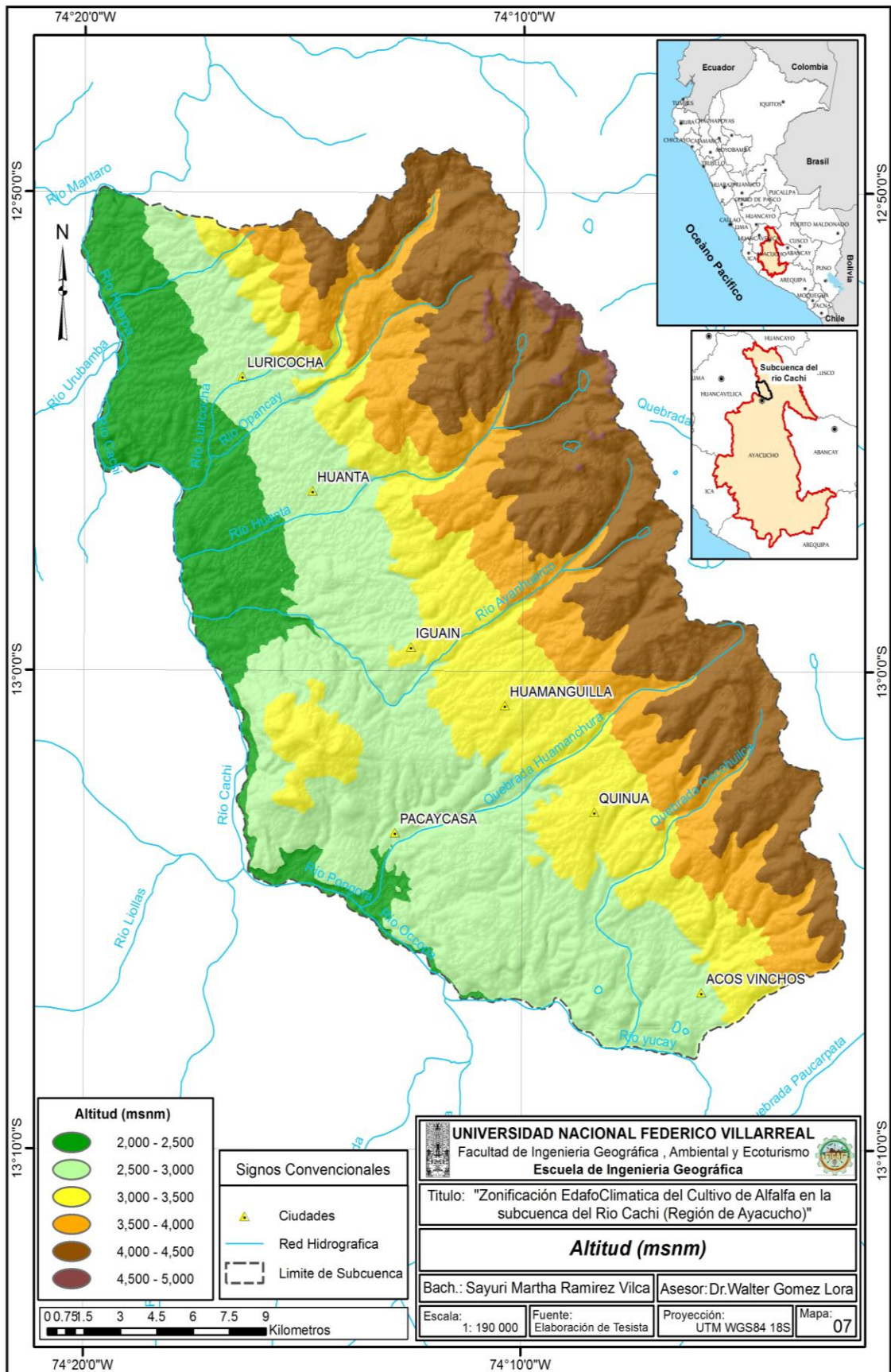


Tabla N° 24: Superficie de ocupación de los diferentes rangos de Altitud.

Rango	Superficie de Ocupación (ha)	Porcentaje de Ocupación (%)
2000 - 2500	7950	12
2500 - 3000	20032	31
3000 - 3500	11855	18
3500 - 4000	9135	14
4000 - 4500	15202	24
4500 - 5000	435	1
Total	64600	100

Fuente: Elaboración Propia



5.2.2 Pendiente.

Se puede observar en la figura N° 13 y la Tabla N° 25 , la distribución y superficie de ocupación de la pendiente en grados, donde predomina el rango de pendiente de 30 a 60 grados con un porcentaje de ocupación del 36% (23047 ha) lo que representa una pendiente Fuertemente Empinado, el segundo predominante es de 16 a 30 grados con una superficie aproximada de ocupación del 28% (18168 ha) lo que indica que es una pendiente empinado, mientras que las pendientes con rango superior al 60.1 grados se las considera como no aptas con un porcentaje aproximado de ocupación del 8% que constituye 5004 ha del área total.

Figura N° 13: Distribución Porcentual de la Pendiente.

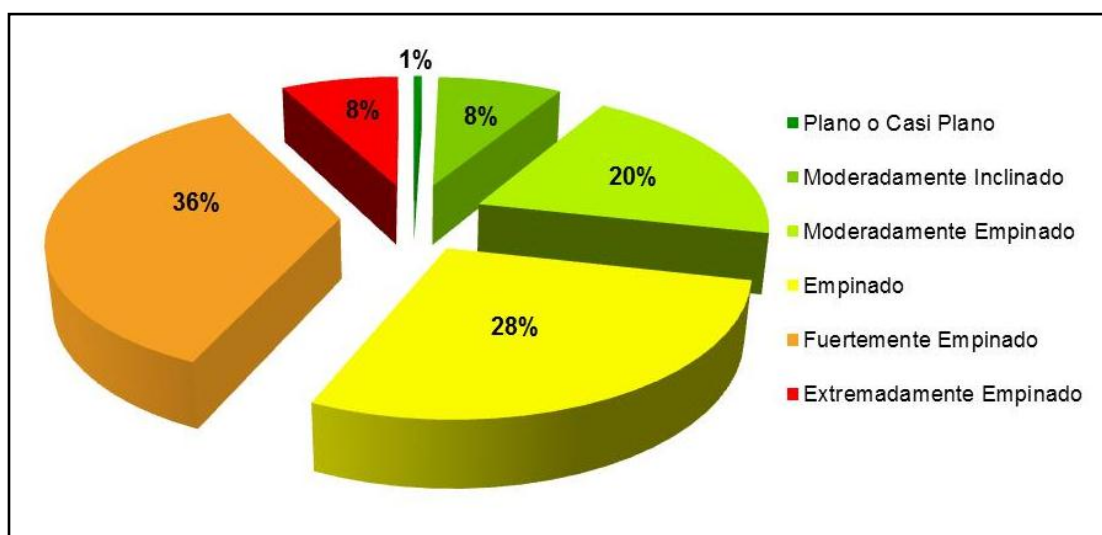
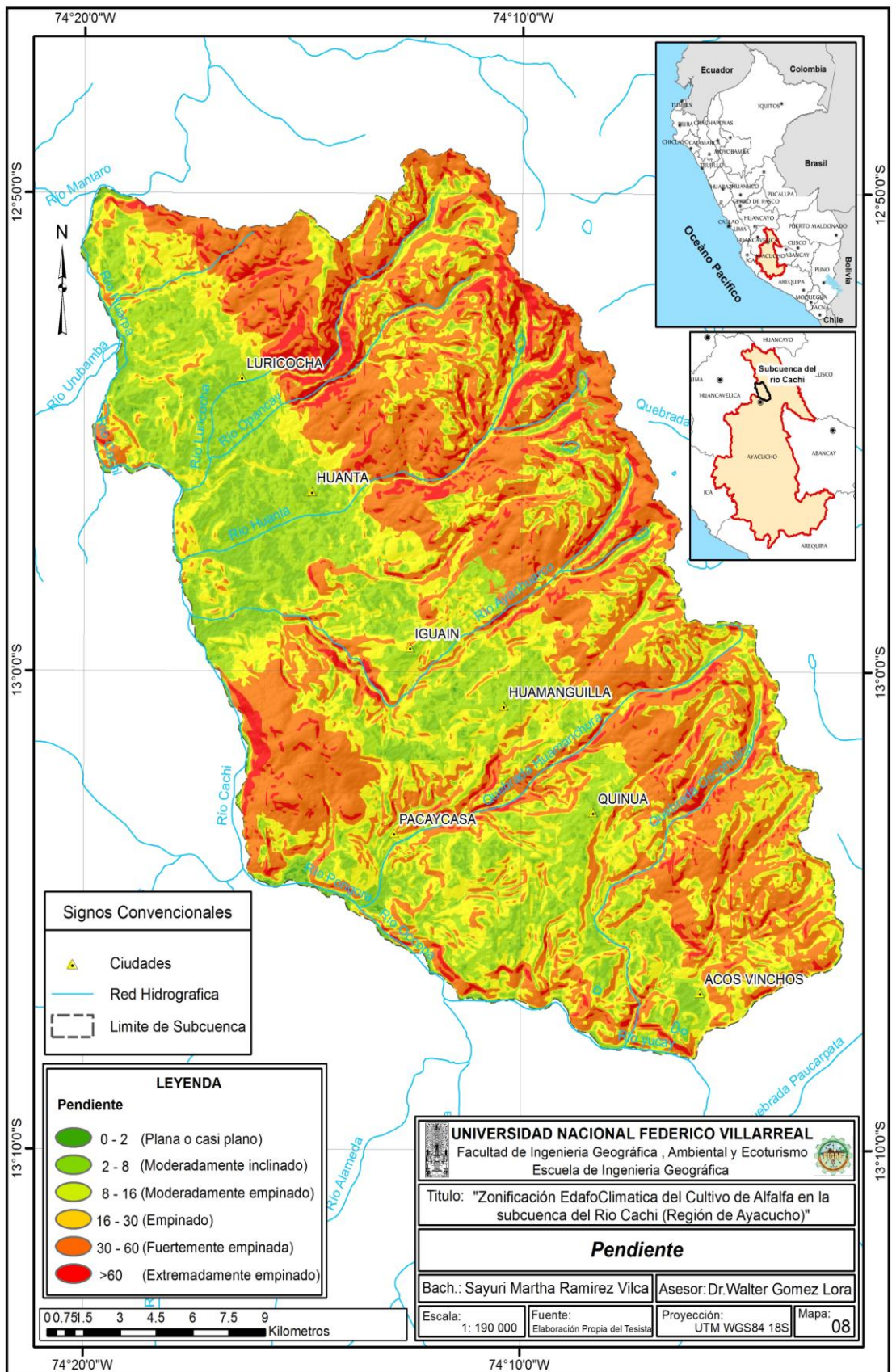


Tabla N° 25: Superficie de ocupación de los diferentes rangos de pendiente.

Rango (°)	Descripción	Superficie de Ocupación (ha)	Porcentaje de Ocupación (%)
0 - 2	Plana o casi Plana	340	1
2 - 8	Moderadamente Inclinado	5300	8
8 - 16	Moderadamente Empinado	12742	20
16 - 30	Empinado	18168	28
30 - 60	Fuertemente Empinado	23047	36
>60	Extremadamente Empinado	5004	8
Total		64600	100

Fuente: Elaboracion propia



5.2.3 Unidades Geomorfológicas.

Se han identificado 14 unidades geomorfológicas, dominadas por vertientes y cimas en toda el área de estudio (Ver Figura N° 14 y Tabla N° 26). Se aprecia que la unidad geomorfológica predominante con un 35 % con una superficie de 22533 ha.

Figura N° 14: Distribución Porcentual de las Unidades Geomorfológicas.

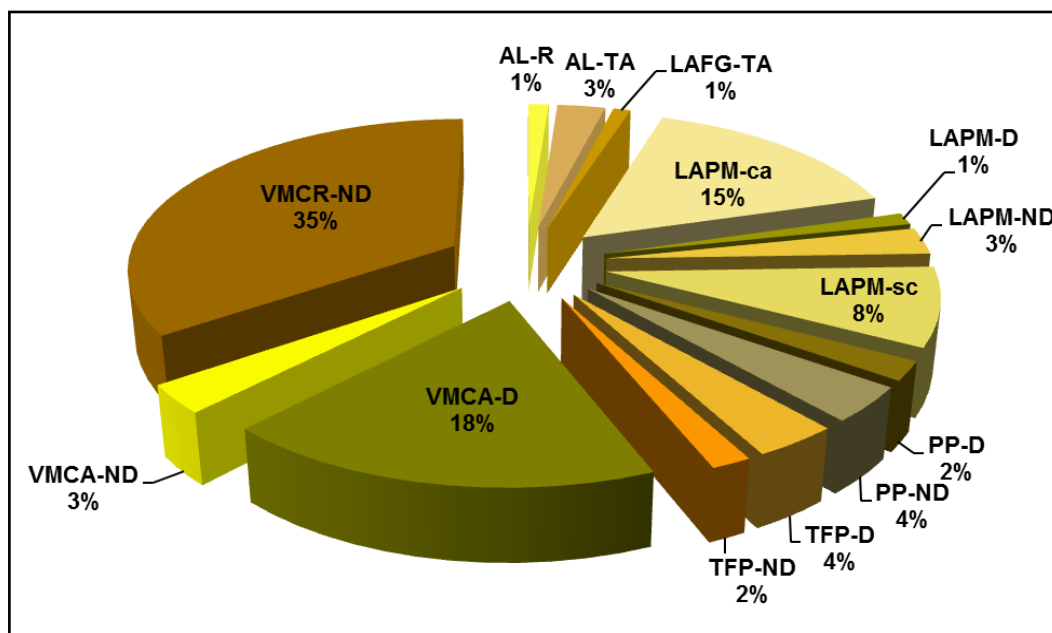


Tabla N° 26: Superficie de ocupación de las Unidades Geomorfológicas.

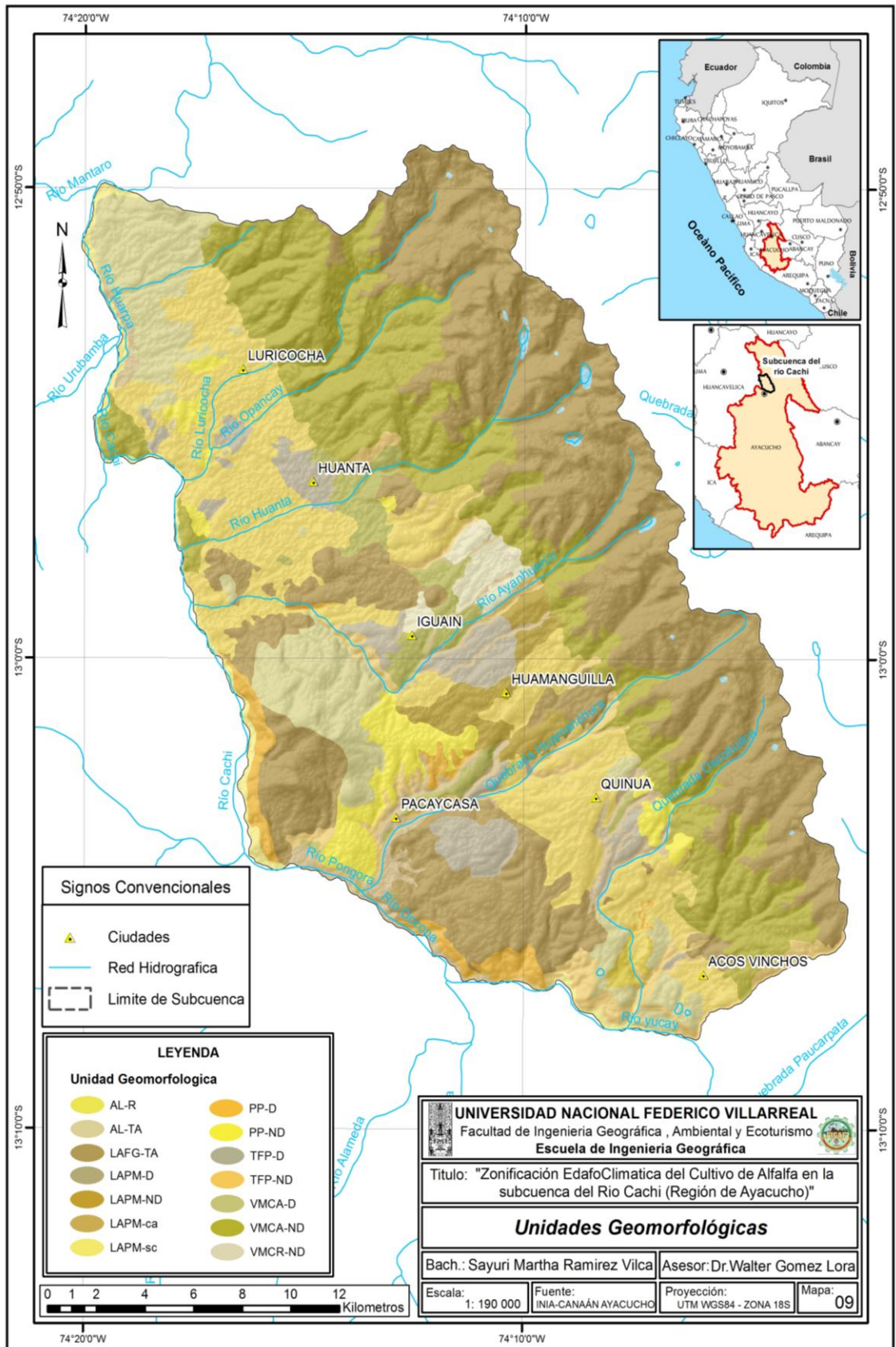
UNIDAD	DESCRIPCION	Has
AL-R	Llanura aluvial - Lecho Mayor del Río	763
AL-TA	Llanura aluvial - Terrazas Aluviales	1794
LAFG-TA	Laderas de Acumulación con Depósitos Fluvio Glaciales - Terrazas de Acumulación	203
LAPM-ca	Laderas de Acumulación con pendientes Moderadas - Cultivos Anuales	10025
LAPM-D	Laderas de Acumulación con pendientes Moderadas Disectada	830
LAPM-ND	Laderas de Acumulación con pendientes Moderadas No Disectada	1834
LAPM-sc	Laderas de Acumulación con pendientes Moderadas - Sin Cultivos Anuales	5410
PP-D	Planicies Peri glaciales Disectadas	1319
PP-ND	Planicies Peri glaciales No Disectadas	2431
TFP-D	Escarpes con Taludes de Fuertes Pendientes Disectada	2332
TFP-ND	Escarpes con Taludes de Fuertes Pendientes No Disectada	1101
VMCR-ND	Vertientes Montañosas de Cimas Redondeadas No Disectada	22533
VMCA-D	Vertientes Montañosas de Cimas Agudos Disectada	11918
VMCA-ND	Vertientes Montañosas de Cimas Agudos No Disectada	1978

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 27. Descripción de las Unidades Geomorfológicas de la Subcuenca del Río Cachi.

UNIDAD N°	UNIDAD DE MAPEO	UNIDAD DE TERRENO	FISIOGRÁFICA	COBERTURA	SUELO	PROCESOS GEODINÁMICOS	CAPACIDAD DE USO	
1	AL-TA	Llanura aluvial (AL)		Sin cobertura (sc)	Rocas, Gravas, tex med	Inundaciones, erosión severa	A3Tabla A2s	
			Terrazas Aluviales	Cultivos Anuales (ca)	S. textura media y fina	Erosión laminar, ligera		
			(T)	Vegetación arbórea (CA)	S tex. Media y gruesa			
	AL-CD				Sin Cobertura	S. tex gruesa, media	Erosión laminar, ligera , moderada	
			Conos Aluviales	Cultivos Anuales	S. textura media y fina	con formación de surcos		
			(C)	Vegetación arbórea	S tex. Media y gruesa	Procesos biológicos	A2- A	
				Vegetación arbustiva	S tex. Media y gruesa			
			Lecho Mayor del Río	S/C - bancos de arena	S tex. Media y gruesa	Inundaciones frecuentes, con		
			(R)	material rocoso y otros	S de roca, tex gruesa	cambios de cursos	Xes	
		Vegetación arbórea ribereña	S tex. Media y gruesa	Procesos biológicos				
2	LAPM	Laderas de Acumulación con Depósitos Fluvio Glaciales	Laderas de Acumulación	Sin Cobertura / pastos naturales	S roca, tex. Gruesa y media	Erosión laminar, severa, intensa	P2e- P3e	
			con pendientes Moderadas	Cultivos Anuales	S tex. Media y fina	controladas por cobertura		
					S tex. Gruesa, media y fina			
	LAFG-TA		Terrazas de Acumulación	Pastos naturales con matorrales		Erosión laminar, severa, intensa	A2- P3es	
			(TA)	Cultivos Anuales		controladas por cobertura		
			Planicies de Acumulación (Circos y Lagunas)	Cultivos Anuales	Suelos de calidad buena y media, con buen drenaje	Erosión laminar, severa, intensa	A2- P3es	
				Pastos naturales abiertos		controladas por cobertura		
LAFG-CL		S/C - pastos naturales supef.abiertas	Suelos de calidad buena y media, con drenaje medio	Erosión laminar, severa, intensa				
		Cultivos Anuales		con formación de surcos				
3	PP-ND	Planicies Peri glaciales	Planicies no Disectadas	Vegetación arbórea abierta	Textura media y fina	Procesos biológicos	P2e	
			(PD)	Centro Poblado Urbano (Ayacucho)				
			Sin Cobertura / pastos naturales- abierta	Suelos de calidad buena y media, con buen drenaje	Erosión laminar, severa, intensa			
	Planicies disectadas		Cultivos Anuales	media, con buen drenaje	con formación de surcos y	P2e		
	(PD)		Vegetación arbórea abierta	Textura media	cárcavas Procesos biológicos			

4	TFP-ND	Escarpes con Taludes de Fuertes Pendientes	Taludes no Disectados (TND)	Sin cobertura- afloramientos rocosos	No presenta suelos por su inestabilidad y drenaje exc.	Erosión laminar y crioclastismo	Xes
	TFP-D		Taludes Disectados	Sin cobertura- afloramientos rocosos	No presenta suelos por su inestabilidad y drenaje exc.	Erosión laminar y crioclastismo moderado con formación de surcos y cárcavas	P3e -Xes
5	VMCR-ND	Vertientes Montañosas de Cimas Redondeadas	Vertientes Montañosas CR no Diasectadas	Sin cobertura-pastos y matorrales abiert. Vegetación arbórea abierta con pastos n.	Suelos superficiales asociad a áreas denudadas	Erosión laminar, severa, intensa con formación de surcos y	P3e -Xes
	VMCR-D		Vertientes Montañosas CR Diasectadas	Pastos naturales abiertos	Suelos superficiales	Procesos biológicos	
			Vertientes Montañosas CR Diasectadas	Cultivos Anuales	Suelos superficiales	Erosión laminar, severa, intensa	
			Vertientes Montañosas CR Diasectadas	Vegetación arbórea	afloramientos líticos	con for. surcos , cárcavas y	Xes
			Vertientes Montañosas CR Diasectadas	Pastos naturales y matorrales abiertos		Procesos biológicos	
			Vertientes Montañosas CR Diasectadas	Pastos naturales abiertos		Procesos biológicos	
6	VMCA-ND	Vertientes Montañosas de Cimas Agudos	Vertientes Montañosas CA no Disectadas	Sin cobertura- afloramientos rocosos	Suelos superficiales	Erosión laminar, severa, intensa con formación de surcos	
	VMCA-D		Vertientes Montañosas CA Diasectadas	Vegetación arbórea abierta	Suelos muy superficiales	Procesos biológicos	Xes -X
			Vertientes Montañosas CA Diasectadas	Pastos naturales abiertos	gravosos	Procesos biológicos	
			Vertientes Montañosas CA Diasectadas	Sin cobertura- afloramientos rocosos	Suelos superficiales con afloramientos líticos	Erosión laminar, severa, intensa con form de surcos, cárcavas y	Xes -X
			Vertientes Montañosas CA Diasectadas	Vegetación arbórea abierta		Procesos biológicos	
			Vertientes Montañosas CA Diasectadas	Pastos naturales abiertos		Procesos biológicos	



5.2.4 Textura del Suelo.

La textura tiende a ser arcillosa, presentándose textura franco arcillosas, franco arcillo arenosos y Arcilloso. La variación parece no ser en la textura un factor en la zona andina. Ver Figura N° 15 y Tabla N° 28.

Figura N° 15: Distribución Porcentual de la Textura del suelo.

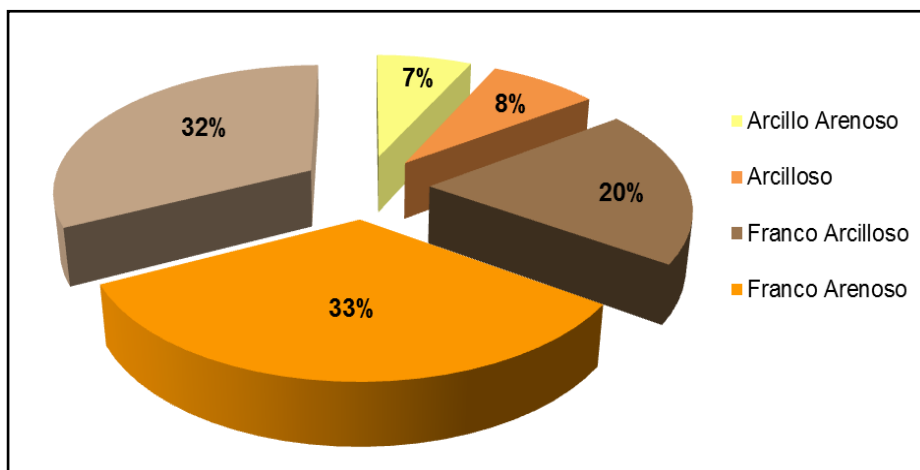
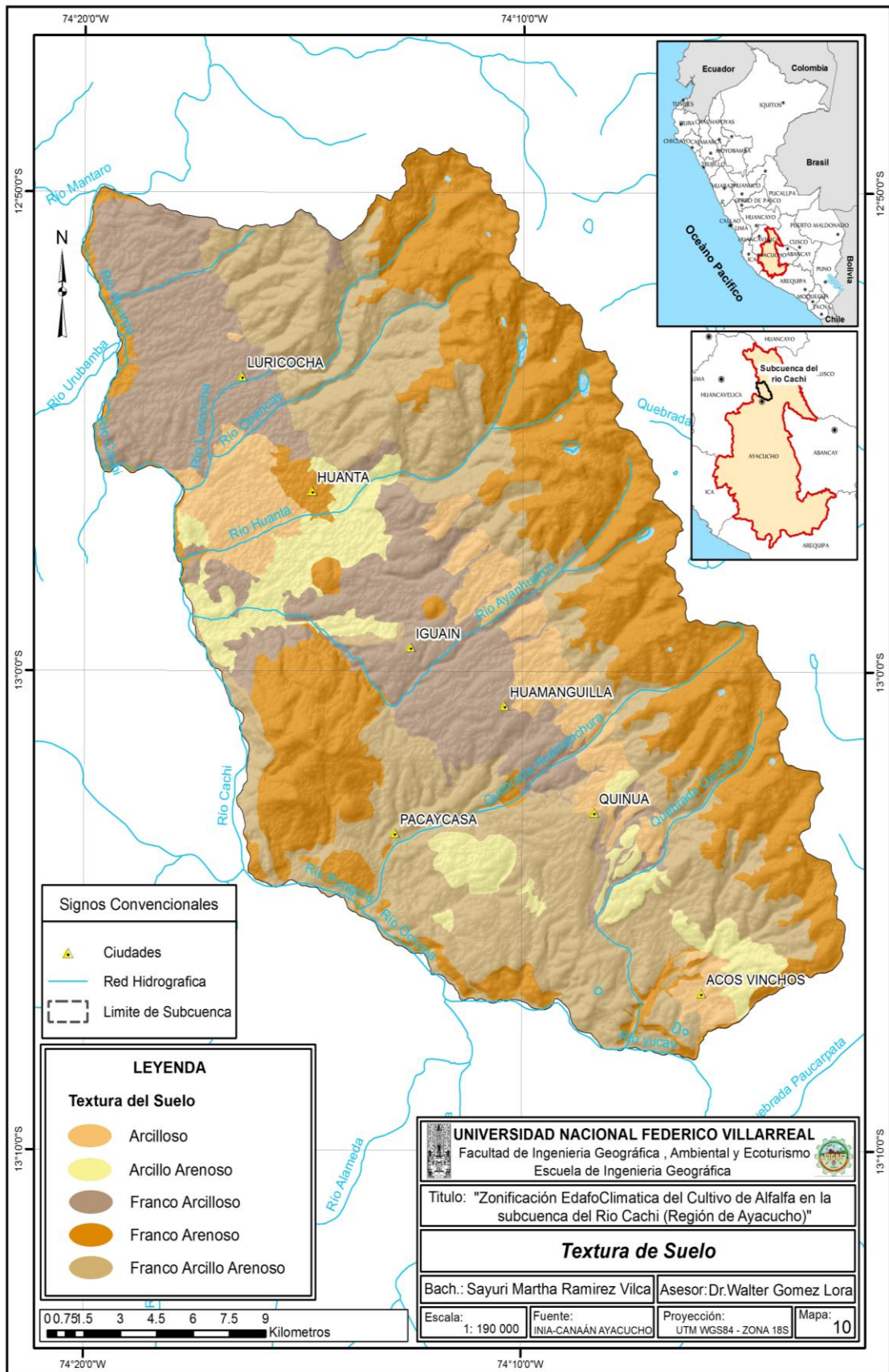


Tabla N° 28: Superficie de ocupación de la textura del suelo.

Textura	Superficie de Ocupación (ha)	Porcentaje de Ocupación (%)
Arcilloso	5167	8
Arcillo Arenoso	4544	7
Franco Arcilloso	12700	20
Franco Arenoso	21341	33
Franco Arcillo Arenoso	20847	32
Total	64600	100

Fuente: Elaboracion Propia



5.2.5 Formación Geológica.

En la figura N° 16 se presenta la distribución del material parental en la zona. Predominan las limolitas y tobas. Las rocas son mayormente sedimentarias de origen marino: calizas y areniscas. Ver tabla N° 29.

Figura N° 16: Distribución Porcentual de la Formación Geológica.

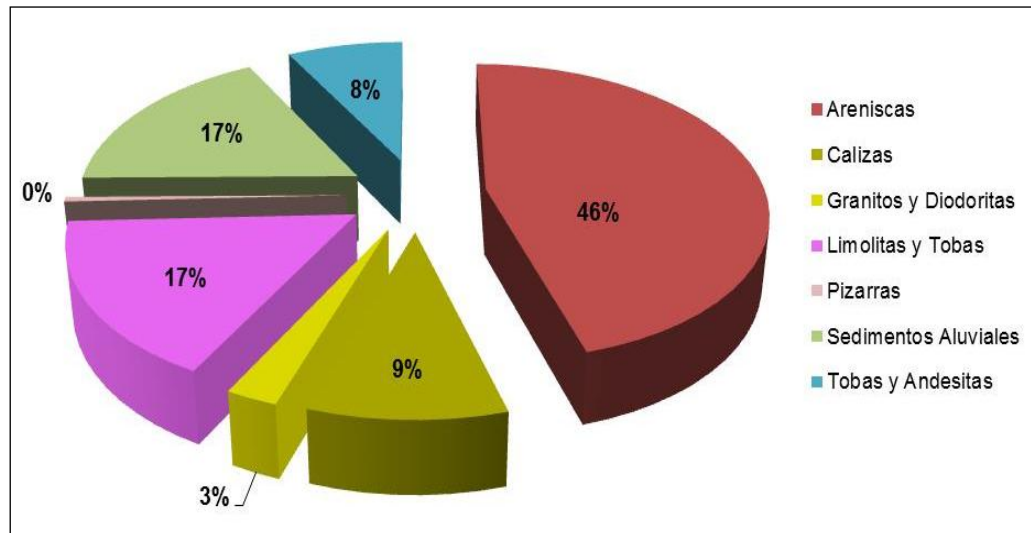
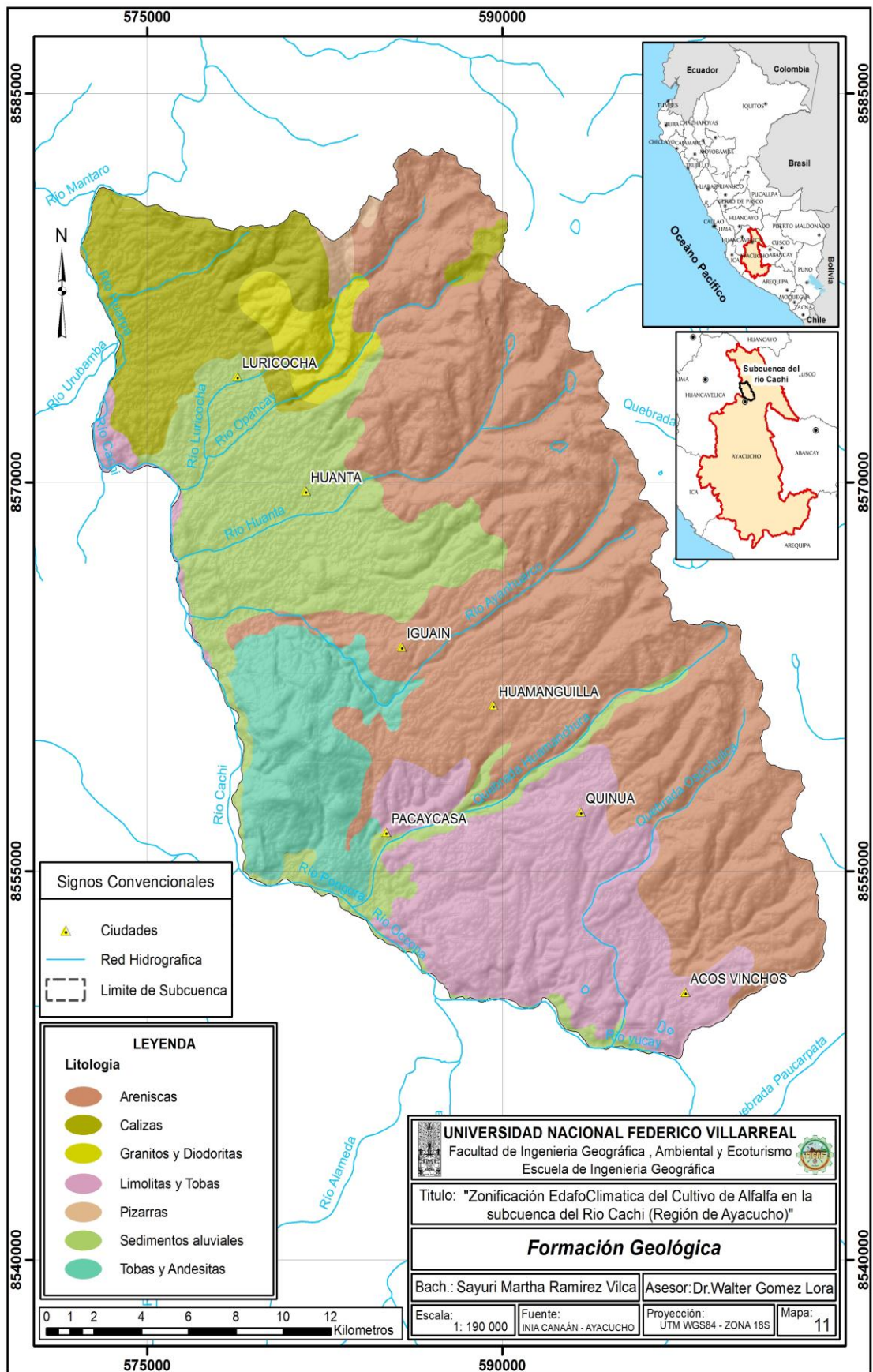


Tabla N° 29: Superficie de ocupación de la Formación Geológica.

Litología	Superficie de Ocupación (ha)	Porcentaje de Ocupación (%)
Areniscas	29455	46
Calizas	6135	9
Granitos y Diodoritas	1622	3
Limolitas y Tobas	10783	17
Pizarras	328	1
Sedimentos Aluviales	11184	17
Tobas y Andesitas	5078	8
Total	64600	100

Fuente: Elaboración Propia



5.2.6 Profundidad Efectiva.

Se puede observar en la Figura N° 17, que la profundidad efectiva que predomina es la mayor superficie con 49 % de ocupación y una superficie 31383 ha.

Figura N° 17: Distribución Porcentual de la Profundidad Efectiva.

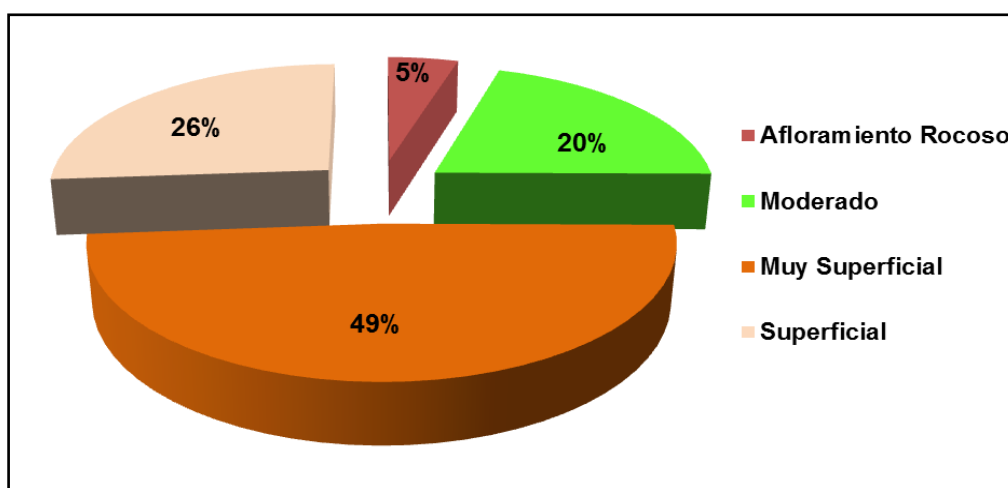
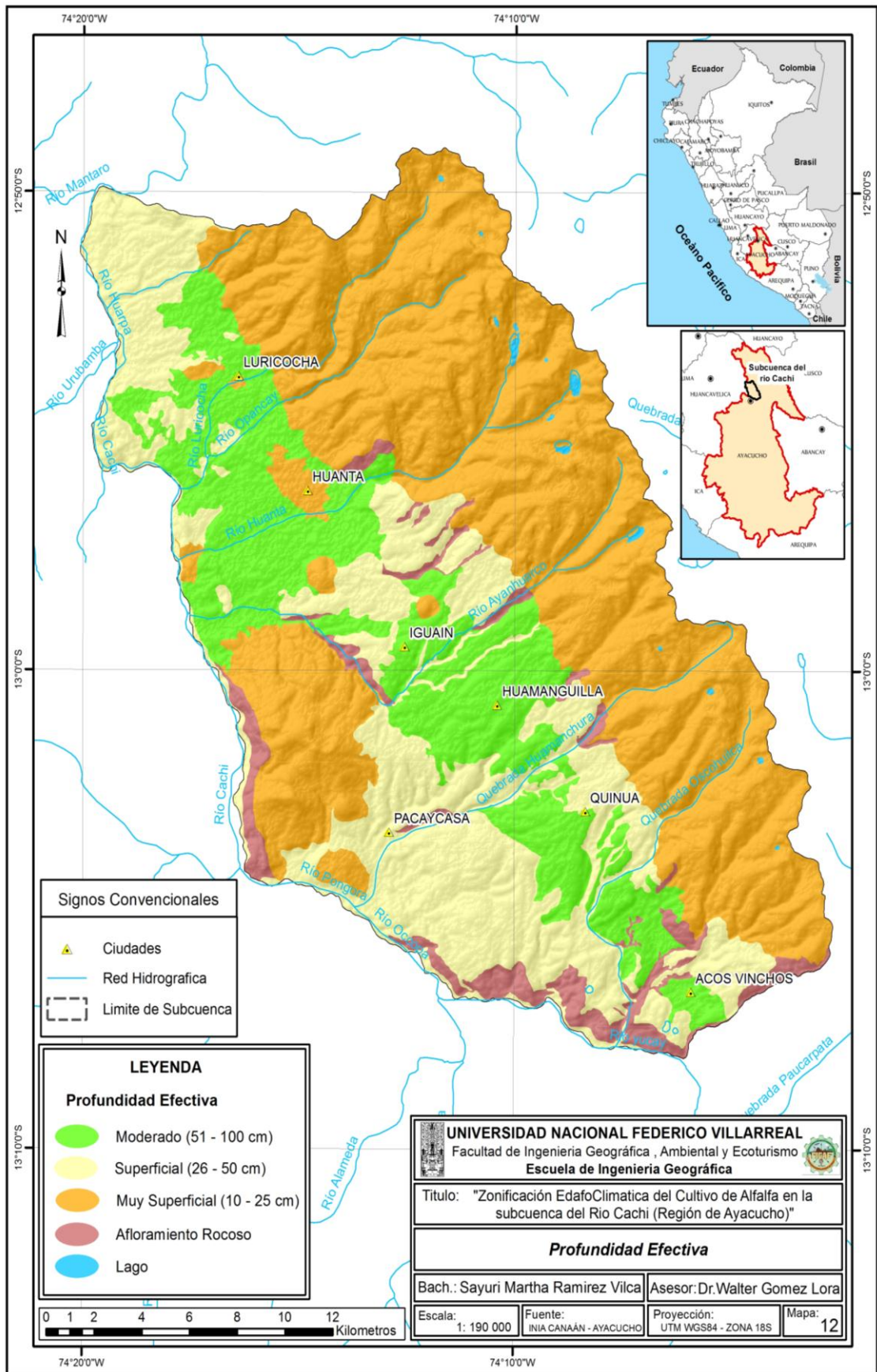


Tabla N° 30: Superficie de ocupación de la Profundidad Efectiva del Suelo.

Profundidad Efectiva	Superficie de Ocupación (ha)	Porcentaje de Ocupación (%)
Afloramiento Rocoso	3026	5
Moderado	13172	20
Muy Superficial	31383	49
Superficial	16887	26
Sub total	64468	100
Otros (Lago)	134	0
Total	64600	100

Fuente: Elaboracion Propia



5.2.7 Análisis Físico - Químico.

Los suelos de la Subcuenca del Río Cachi son de pH ligeramente ácido a ligeramente alcalino. Al igual que los suelos de la Subcuenca del Río Pampas, la textura tiene a ser arcillosa, presentándose texturas franco arcillosas, franco arcillo arenosas y Arcilloso. La variación parece no ser en la textura un factor en la zona andina. La materia orgánica de estos suelos son bajos en general, presentándose algunos suelos con niveles medio de materia orgánica.

En cuanto a los macronutrientes los niveles de Fosforo se encuentran en niveles medio y bajos a nivel de la subcuenca, y muy pocas zonas superan los niveles altos. En cuanto a Potasio el nivel es bajo a nivel de la subcuenca con menos de 100 ppm. En cuanto a Nitrógeno los niveles son bajos con menos de 0.1 %, esto se explica por la baja cantidad de Materia Orgánica existente en zonas bajas como las estudiadas, a diferencias de la Subcuenca del Río Pampas, donde por ser de mayor altitud la materia orgánica es superior y por tanto también los niveles de nitrógeno. Los niveles de CIC son de niveles medios en general entre 10 y 20 meq/100 gr de suelo. (Ver tabla N°31 y N°32).

Tabla N° 31. Análisis del suelo en la Subcuenca del Rio Cachi.

Sub Unidad	Textura	pH	CO3 %	Mat. Org. %	N Total %	Elementos disponibles		Cationes cambiables			CIC (meq/ 100 gr)
						P (ppm)	K (ppm)	Ca++	Mg++	K+	
1	Arcilloso	7.50		0.64	0.03	10.7	39.7	21.1	11.0	0.2	36.0
2	Franco Arcilloso	7.56		0.9	0.04	27.3	45.1	18.6	4.9	0.23	21.5
3	Franco arcillo arenoso	7.42		0.64	0.03	10.7	39.7	9.10	3.50	0.15	13.0
4	Arcilloso	7.30		1.53	0.07	19.1	28.9	14.8	10.9	0.14	24.5
5	Franco arcillo arenoso	7.29		1.65	0.08	29.7	26.3	11.0	3.2	0.13	13.5
6	Arcillo arenoso	7.44		1.4	0.06	13.3	29.5	19.7	4.20	0.15	21.5
7	Franco arcillo arenoso	8.04		1.39	0.06	5.3	29.1	20.5	1.2	0.15	18.0
8	Franco arcilloso	8.21		2.16	0.1	9.7	55.8	17.8	2.5	0.28	14.0
9	Franco arcilloso	8.05		1.65	0.08	9.9	25.2	22.6	1.7	0.12	20.5
10	Arcilloso	6.79		2.16	0.10	4.9	28.9	14.4	4.4	0.14	19.5
11	Franco arcilloso	7.83		1.4	0.06	10.7	36.5	19.6	2.0	0.18	17.0
12	Franco arcillo arenoso	8.42		1.02	0.05	3.8	59.6	17.6	0.80	0.3	15.5
13	Franco arcillo arenoso	7.55		2.92	0.14	42.4	80.0	18.8	3.8	0.41	24.0
14	Franco arcillo arenoso	6.90	1.27	1.27	0.06	2.4	76.2	7.3	2.3	0.39	13.0
15	Arcillo arenoso	5.69		1.39	0.06	10.6	78.8	4.1	1.1	0.4	10.5
16	Arcilloso	5.76		1.91	0.09	45.8	87.9	8.7	1.9	0.45	18.0
17	Franco arcillo arenoso	5.70	NC	1.41	0.07	21.76	190	12.96	0.68	0.97	28
18	Franco Arcilloso	7.90	6.54	1.41	0.09	1.78	220	30.80	0.24	1.13	33
19	Franco arcillo arenoso	7.40	0.06	1.7	0.09	28.78	260	16.64	1.02	1.33	23
20	Franco arcillo arenoso	5.30		1.78	0.09	9.63	215	5.44	0.2	1.1	17

Fuente: Laboratorio de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH)

Tabla N° 32: Análisis de Calidad de Agua para riego de los Ríos de la Subcuenca del Rio Cachi.

	Cationes (meq/litro)					Aniones (meq/litro)						Otras Determinaciones				
	Ca	Mg	K	Na	NH4	HCO ₃	CO ₃	Cl	PO ₄	NO ₃	SO4	pH	CE (dS/m)	S.A.R.	Sales solubles (g/l)	Dur Total (ppm CaCO ₃)
1	5.16	0.22	0.08	0.10	0.00	5.05	0.25	0.11	0.00	0.00	0.11	7.28	0.584	0.16	647.0	258.0
2	0.80	0.24	0.12	0.07	0.00	0.80	0.00	0.39	0.00	0.00	0.10	7.83	0.101	0.09	106.0	40.0
3	6.10	0.52	0.11	0.08	0.00	5.98	0.10	0.22	0.00	0.00	0.32	7.90	0.643	0.04	703.0	330.0
4	2.56	0.60	0.18	1.62	0.00	2.30	0.2	1.62	0.0	0.00	0.97	8.29	0.536	1.29	598.0	128.0
5	6.20	1.64	0.05	0.06	0.00	6.20	0.10	0.91	0.00	0.00	0.69	7.66	0.719	0.03	886.0	310.0
6	5.56	1.32	0.76	1.68	0.00	5.80	0.4	1.67	0.00	0.00	1.51	8.06	0.896	0.91	1029.0	278.0
7	2.44	0.36	0.87	1.66	0.00	2.45	0.15	1.54	0.00	0.00	1.23	8.36	0.568	1.40	634.0	122.0
8	2.32	0.64	0.52	1.48	0.00	2.30	0.1	1.52	0.00	0.00	1.09	8.18	0.529	1.22	593.0	116.0
9	4.92	0.68	0.27	0.52	0.00	5.20	0.1	0.5	0.0	0.0	0.62	8.01	0.612	0.31	682.0	246.0
10	0.46	0.42	0.00	0.00	0.0	0.70	0.0	0.12	0.0	0.0	0.03	6.83	0.090		60.0	54.0
11	0.36	0.24	0.00	0.00	0.0	0.60	0.0	0.02	0.0	0.0	0.01	6.87	0.100		63.0	20.0
12	0.30	0.14	0.05	0.00	0.0	0.40	0.0	0.1	0.0	0.0	0.02	6.88	0.100		63.0	22.0
13	0.56	0.18	0.11	0.06	0.0	0.80	0.0	0.09	0.0	0.0	0.05	6.86	0.130		84.0	32.0
14	0.34	0.14	0.19	0.18	0.0	0.70	0.0	0.0	0.08	0.0	0.14	6.82	0.210		135.0	24.0

Fuente: Laboratorio de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH)

5.3 CARACTERIZACIÓN AGRÍCOLA.

5.3.1 Requerimientos Edafoclimáticos.

Los parámetros considerados como requerimientos edafoclimáticos, adoptados para esta investigación son: pendiente, textura, profundidad efectiva, pH, materia orgánica, precipitación óptima, temperatura óptima. Para determinar estos requerimientos edafoclimáticos de la Alfalfa, se realizó una revisión de varias referencias bibliográficas. Los resultados de esta revisión están resumidos en el Tabla N° 33. En la parte derecha de cada Tabla se ha detallado las distintas referencias bibliográficas que permitieron construir y sintetizar la información disponible.

Tabla N° 33: Requerimientos Edafoclimáticos del Cultivo de Alfalfa.

Zona	Altitud (msnm)		Fuente		
	Mín.	Max.			
Costa y sierra	0	3000	Anaya Camacho M, 2 004. Cultivo de alfalfa con riego por goteo subsuperficial. México / SALAMANCA 1990		
Requerimientos climáticos					
Temperatura	U. mín.	Optima		U. máx.	Fuente
		Mín.	Máx.		
	9	18	26	30	SENAMHI - Dirección General de Agrometeorología, 2002.
Precipitación (mm/año)	Mín.	Optima		Máx.	Fuente
		Mín.	Máx.		
		500	1 000		Duarte Gustavo, 2007; Díaz Zorita Martín, 2007.
Requerimientos Edáficos					
Textura del suelo	Optima		Menos óptima	Fuente	
	Francos, Franco arenoso, Franco arcillo arenoso			Arcillosos, limosos, arenoso	
				Camacho, 2004; Mayhua et al, 2008; Arrieta y Romero, 2008.	
pH del suelo	Mín.	Optima		Máx.	Fuente
		Mín.	Máx.		
	4	6,2	7,5	8,5	Del pozo, 1974; Mayhua et al, 2008; Camacho M, 2004; Villareal; Arrieta y Romero, 2008.
Materia orgánica (%)	Optima		Menos óptima	Fuente	
	4%			0-4%	
Profundidad (cm)	Optima		Menos óptima	Fuente	
	Profundos			Menos profundos	
				Del pozo, 1974; Mayhua et al, 2008; Camacho M, 2004; Villareal; Arrieta y Romero, 2008.	

Fuente: Elaboración Propia

5.3.2 Calendario Agrícola

De acuerdo al MINAG, (2010) en el Perú el calendario agrícola se inicia en el mes de agosto de cada año y culmina en julio del siguiente año. El cultivo de alfalfa en Ayacucho se desarrolla bajo riego. La siembra se realiza entre los meses octubre a enero, y la cosecha se realiza mensualmente durante todo el año. (Ver Tabla 34).

Tabla N° 34: Calendario agrícola del cultivo de alfalfa

Campaña	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
2008/2009												
2009/2010												

Siembra
 Cosecha

Fuente: DRA - Ayacucho

5.3.3 Producción, Superficie Cosechada y Rendimiento.

La evolución de la superficie sembrada, el rendimiento promedio y producción del cultivo de maíz se presenta en la Tabla N° 35.

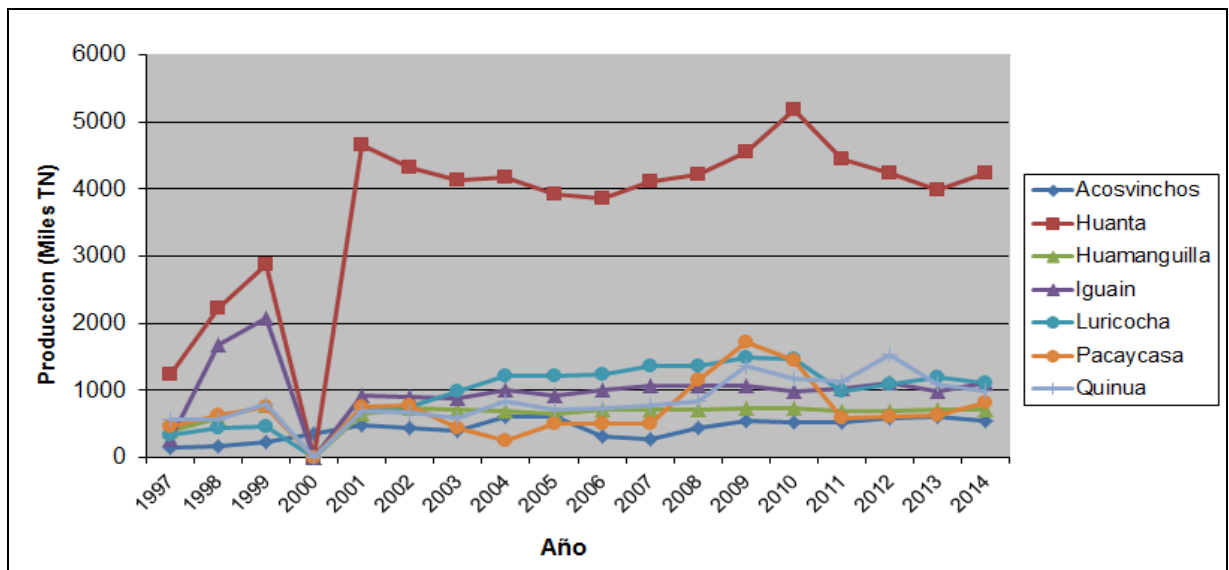
Tabla N° 35: Indicadores del cultivo de Alfalfa (1997 -2014).

Distritos	Producción (Miles TM)	Superficie (Has.)	Rendimiento (TM / Ha.)
Acosvinchos	399,86	12,71	35,05
Huanta	3538,86	114,43	32,19
Huamanguilla	629,36	21,36	31,87
Iguain	993,71	32,07	32,95
Luricocha	935,21	29,39	32,82
Pacaycasa	711,29	19,00	39,56
Quinua	734,86	25,64	30,90

*Fuente: Ministerio de Agricultura. Dirección General de Información Agraria.
Elaboración: Tesista*

La zona de mayor producción de alfalfa dentro de la Subcuenca del río Cachi es el Distrito de Huanta con 3538.86 TM, en el periodo de 1997 - 2014. Pero el distrito de Pacaycasa tiene una importancia creciente en la Siembra de Alfalfa, explicada básicamente por el rendimiento alcanzado (Ver Tabla N° 35).

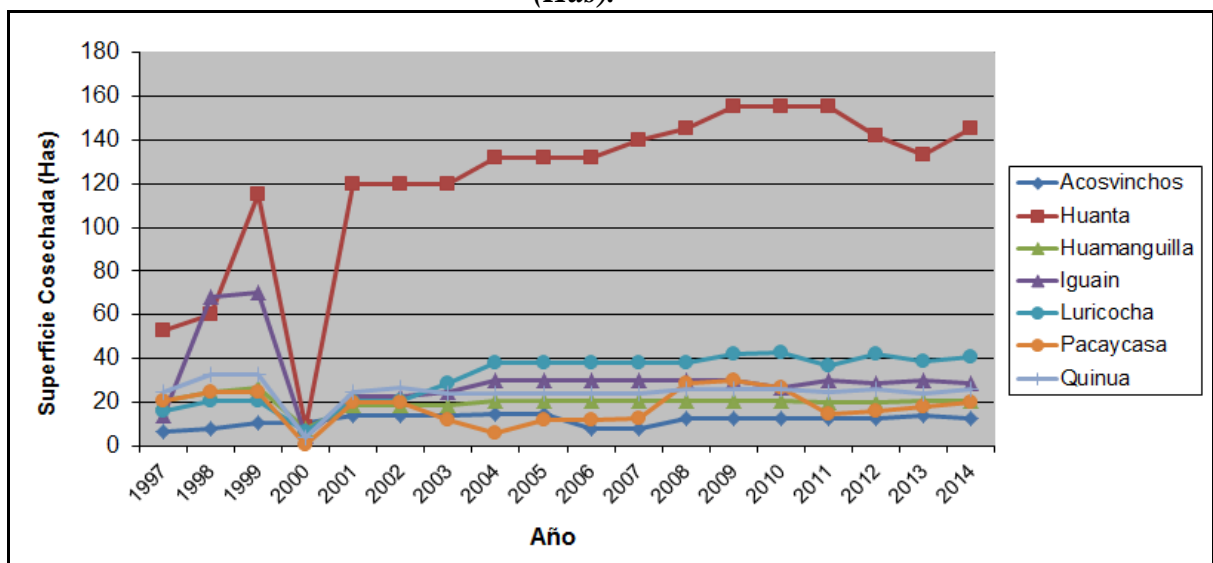
Figura N° 18: Evolución de la producción del cultivo de alfalfa por Distrito (miles TN)



Fuente: Dirección Regional Agraria Ayacucho
Elaboración: Tesista

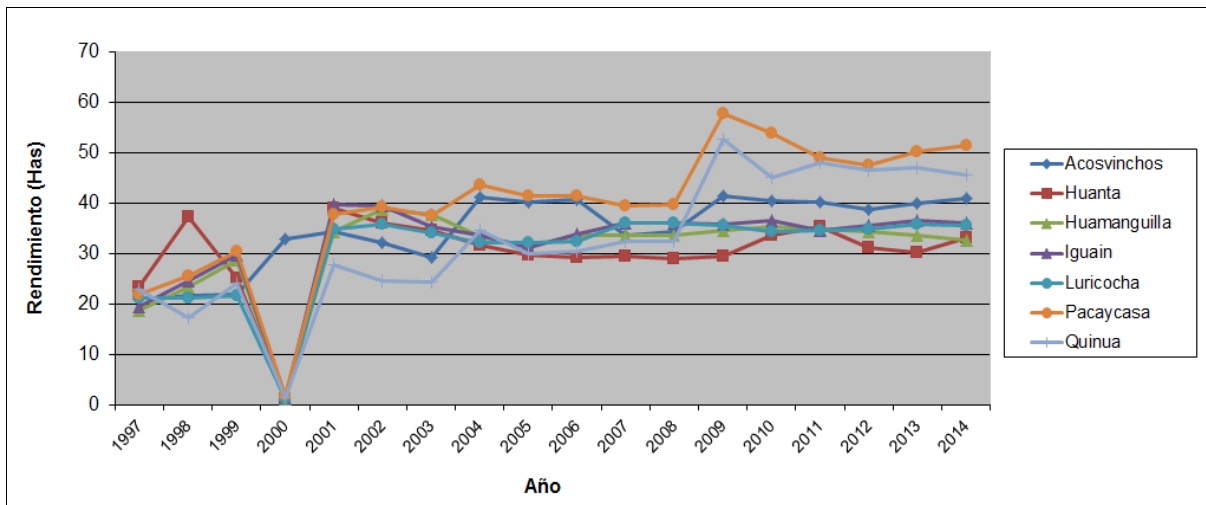
En términos de la superficie cosechada con alfalfa (1997 - 2014), Ayacucho reportó 7607.714286 hectáreas (MINAG, 2012), pero la Subcuenca del Rio Cachi tiene 35.51 hectáreas lo cual representa el 0.47 % del total de la superficie cultivada en el Departamento de Ayacucho.

Figura N° 19: Evolución de la superficie cosechada del cultivo de Alfalfa por Distrito (Has).



Fuente: Dirección Regional Agraria Ayacucho
Elaboración: Tesista

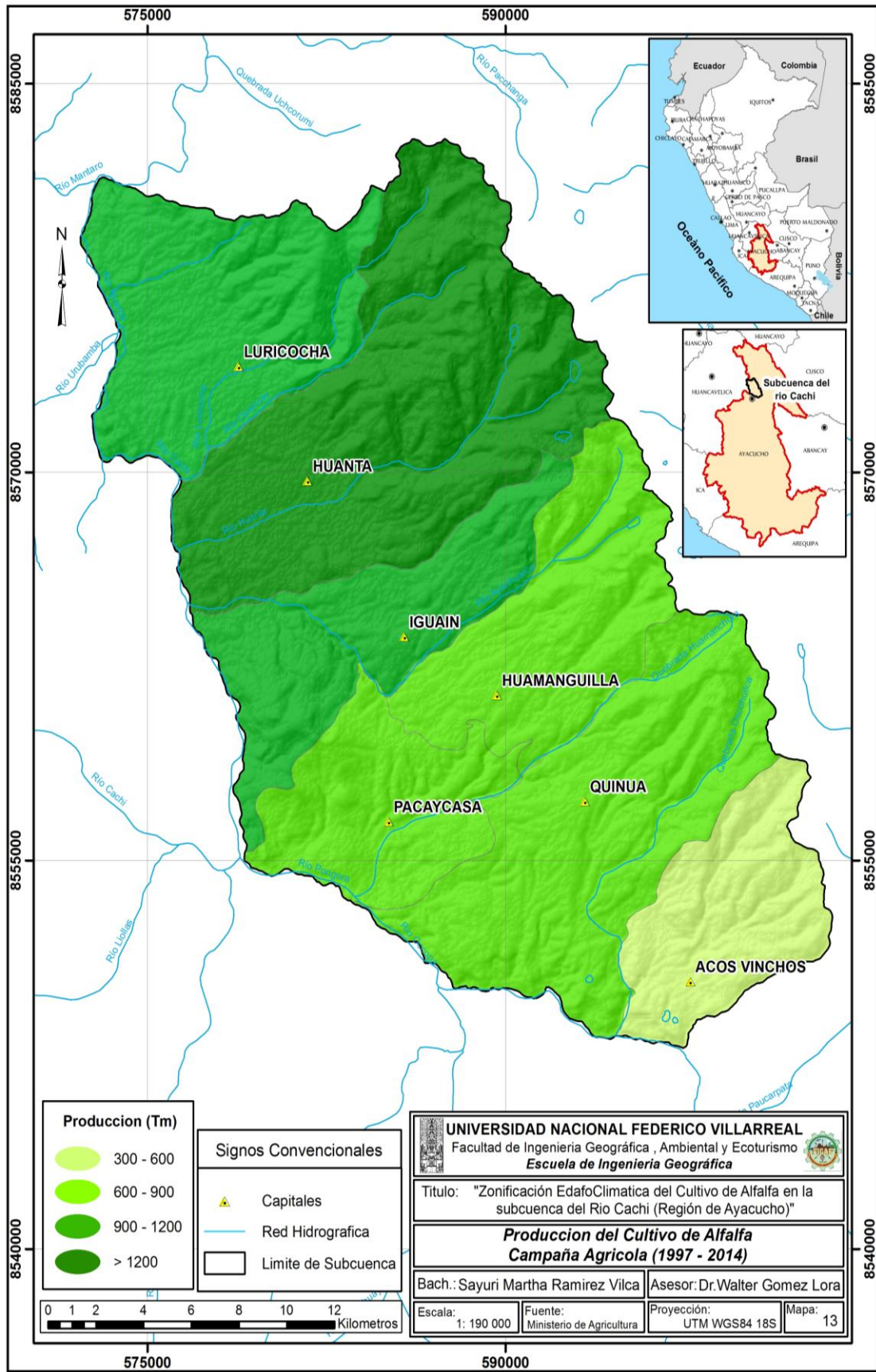
Figura N° 20: Evolución del Rendimiento del cultivo de Alfalfa, 1997-2014.

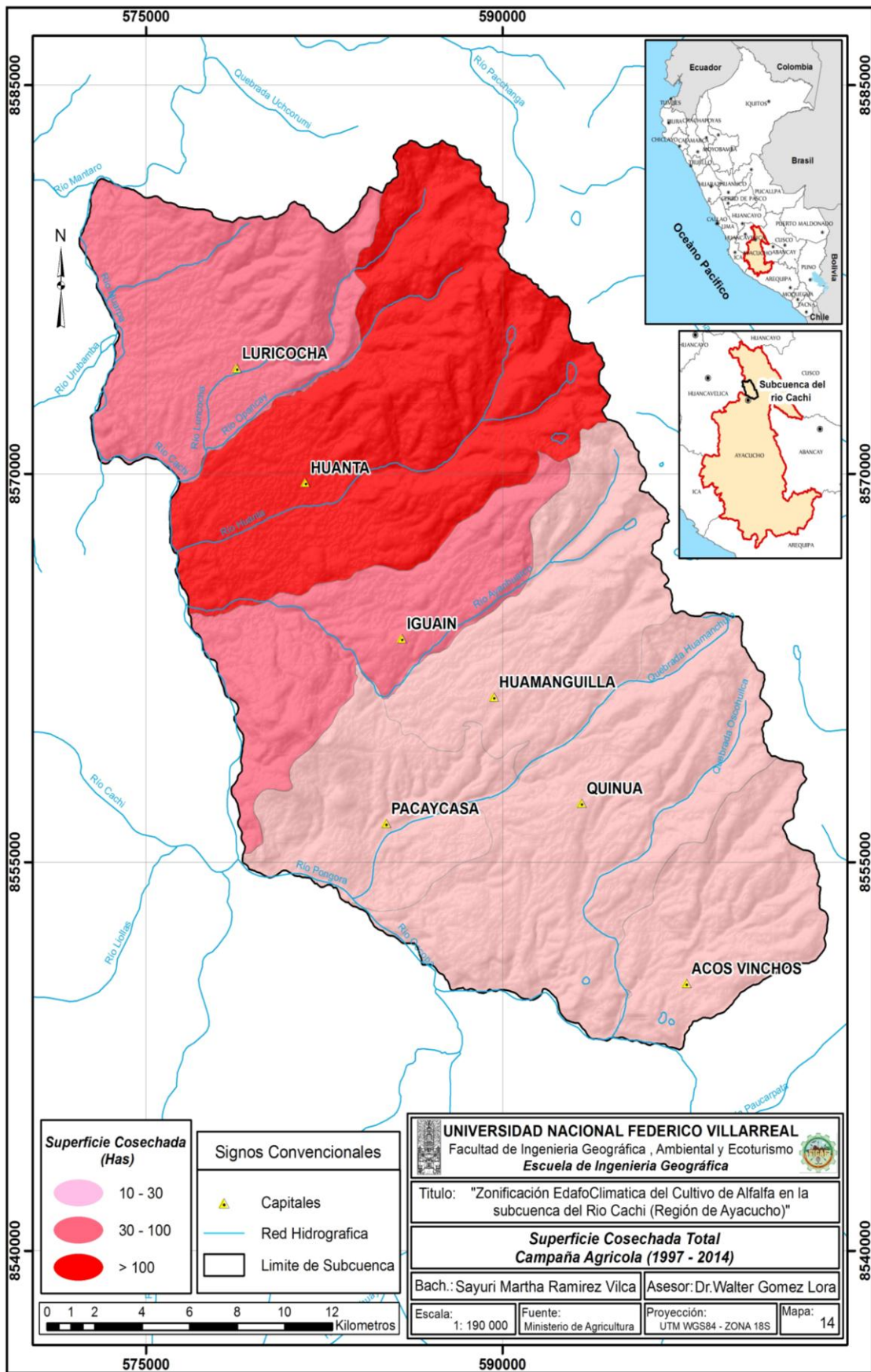


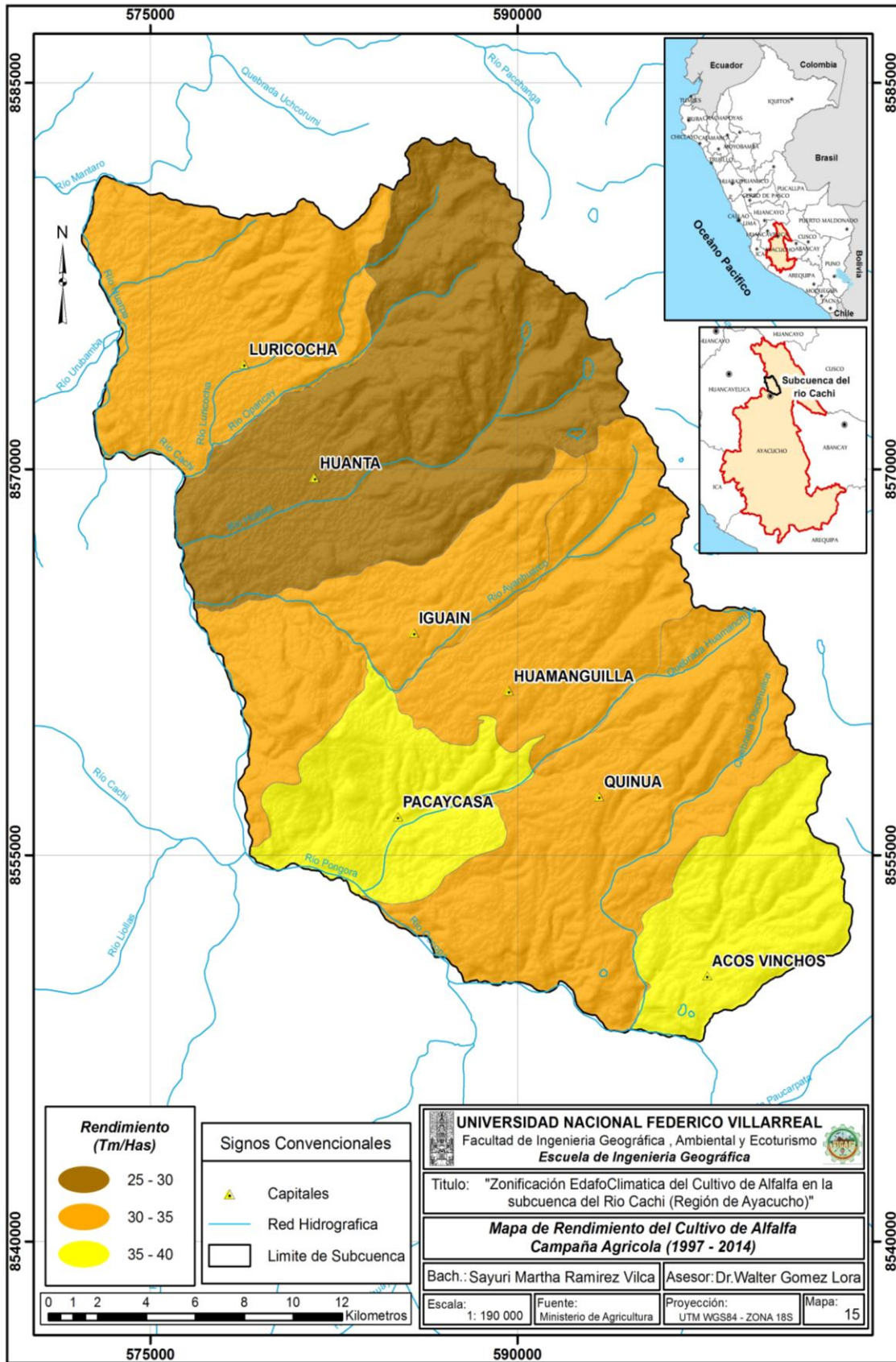
Fuente: Dirección Regional Agraria Ayacucho
Elaboracion: Tesista

En los últimos 14 años, el rendimiento de la Alfalfa en el Distrito de Pacaycasa ha fluctuado entre 0 a 57.73 Tm/ha con un promedio de 36.36 Tm/ha. Lo cual indica que las condiciones para este cultivo son limitados. (Ver Figura N° 20)

Cabe señalar que, al analizar variables de producción agrícola como superficie cosechada, rendimiento y Producción se observa una caída de las mismas en el año 2000, producto de una sequía que afectó a la Región Ayacucho y principalmente a Pacaycasa (Solid Perú, 2007). Sin embargo, las variables antes mencionadas tuvieron un repunte al año siguiente.







5.4 CARACTERIZACIÓN EDAFOCLIMÁTICA.

5.4.1 Zonas Climáticas.

Dentro del área de estudio se ha podido identificar zona climática óptima, zona climática menos óptima y zona climática no óptima. Para nuestro interés del 100% de la zona climática es el 60% corresponde a la zona climática óptima con una superficie de 38758 ha, un 27% a la zona climática menos óptima y superficie de 17175 ha y un 13% a la zona climática no óptima y superficie de 8667 ha. (Ver figura N° 21 y Tabla N° 36).

Figura N° 21: Distribución Porcentual de zonas climáticas.

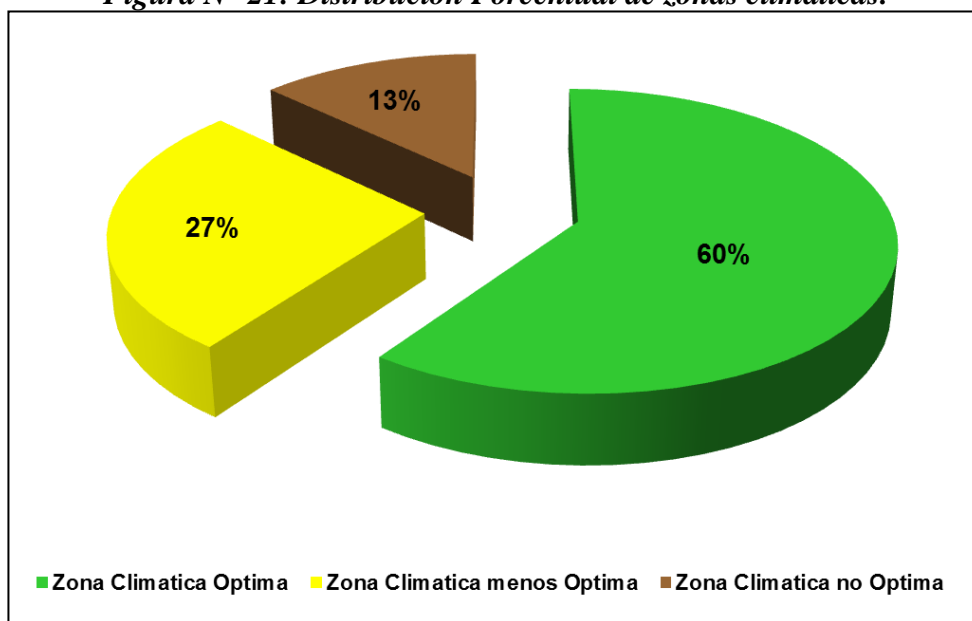
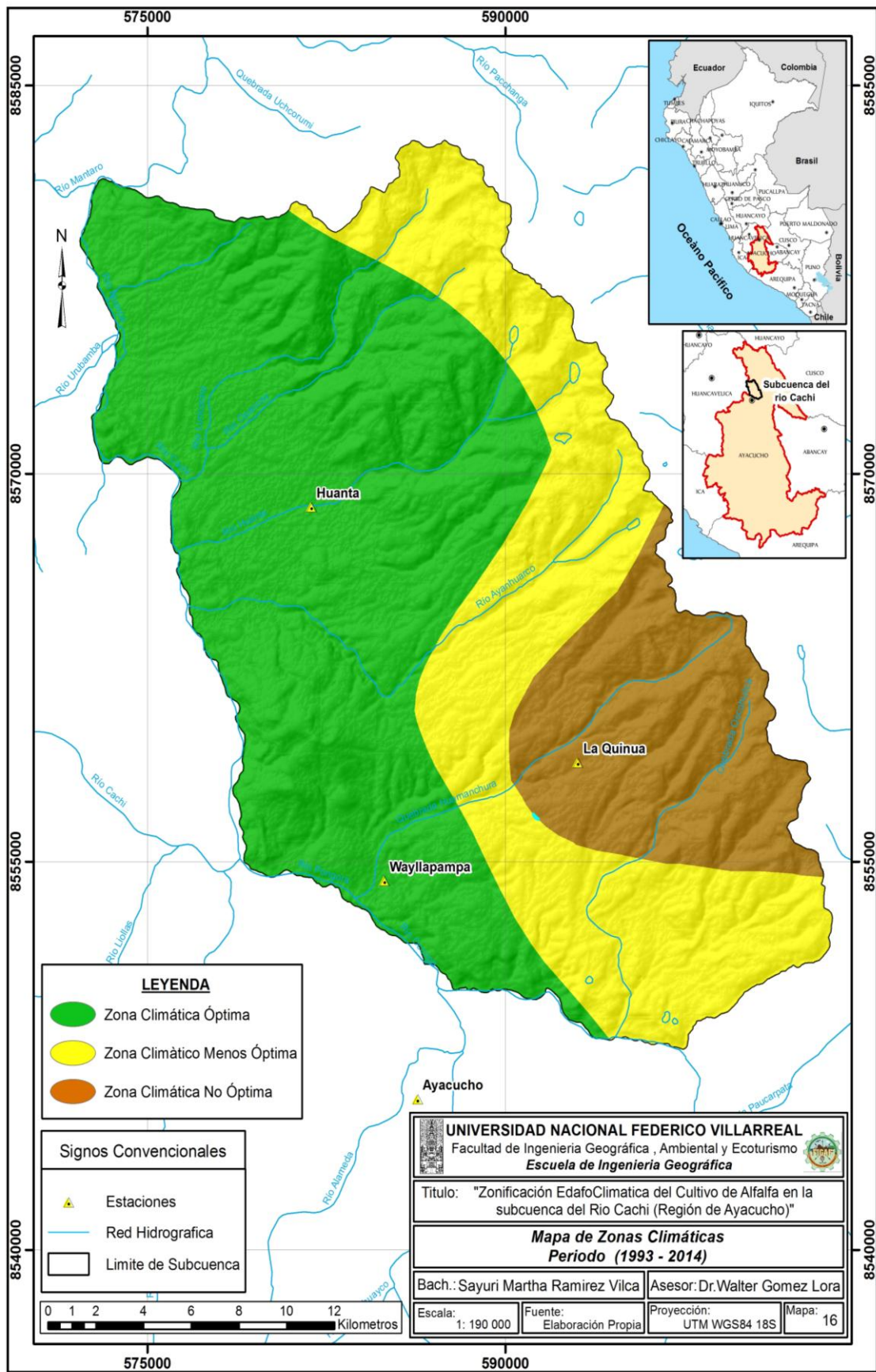


Tabla N° 36: Superficie de ocupación de zonas climáticas.

Zonas Climáticas	Superficie de Ocupación (ha)	Porcentaje de Ocupación (%)
Óptima	38758	60
Menos Óptima	17175	27
No Óptima	8667	13
Total	64600	100

Fuente: Elaboración Propia



5.4.2 Zonificación Edafoclimática

Se ha podido identificar zonas Edafoclimáticas, las cuales son óptima, menos óptima y no óptima. Para nuestro interés del 100% de la zonas Edafoclimaticas es el 20% corresponde a la zona climática óptima con una superficie de 13325.13 ha, un 40% a la zona climática menos optima y superficie de 25626.25 ha y el otro 40% a la zona climática no optima y superficie de 25648.62 ha. (Ver figura N° 22 y Tabla N° 37).

Figura N° 22: Distribución Porcentual de la Zonificación Edafoclimática.

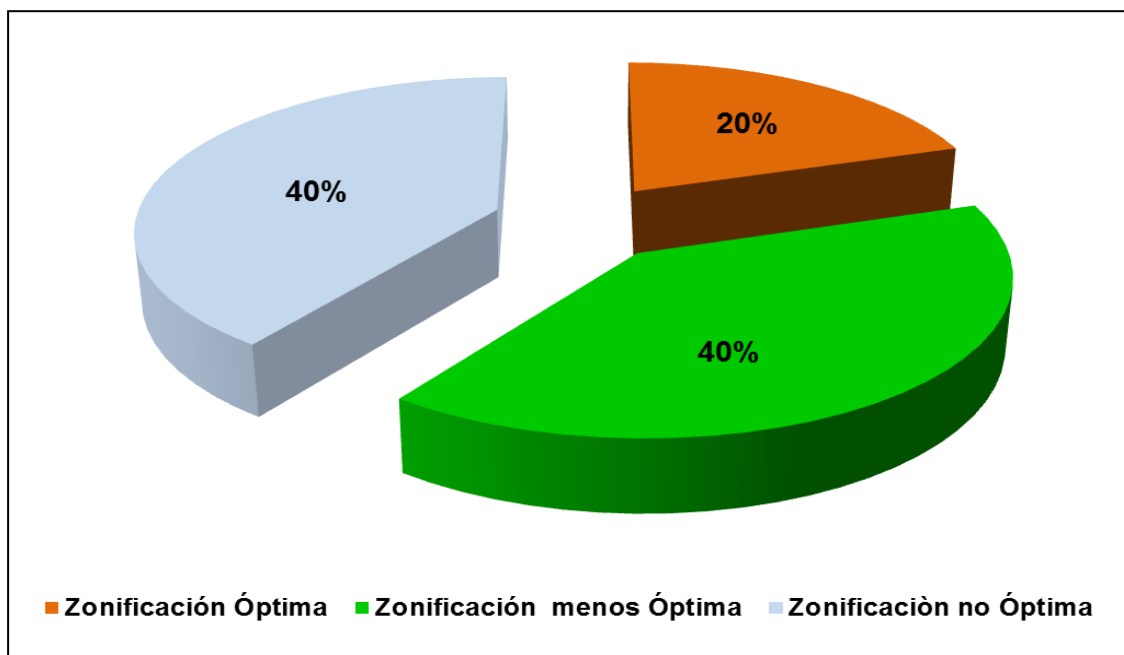
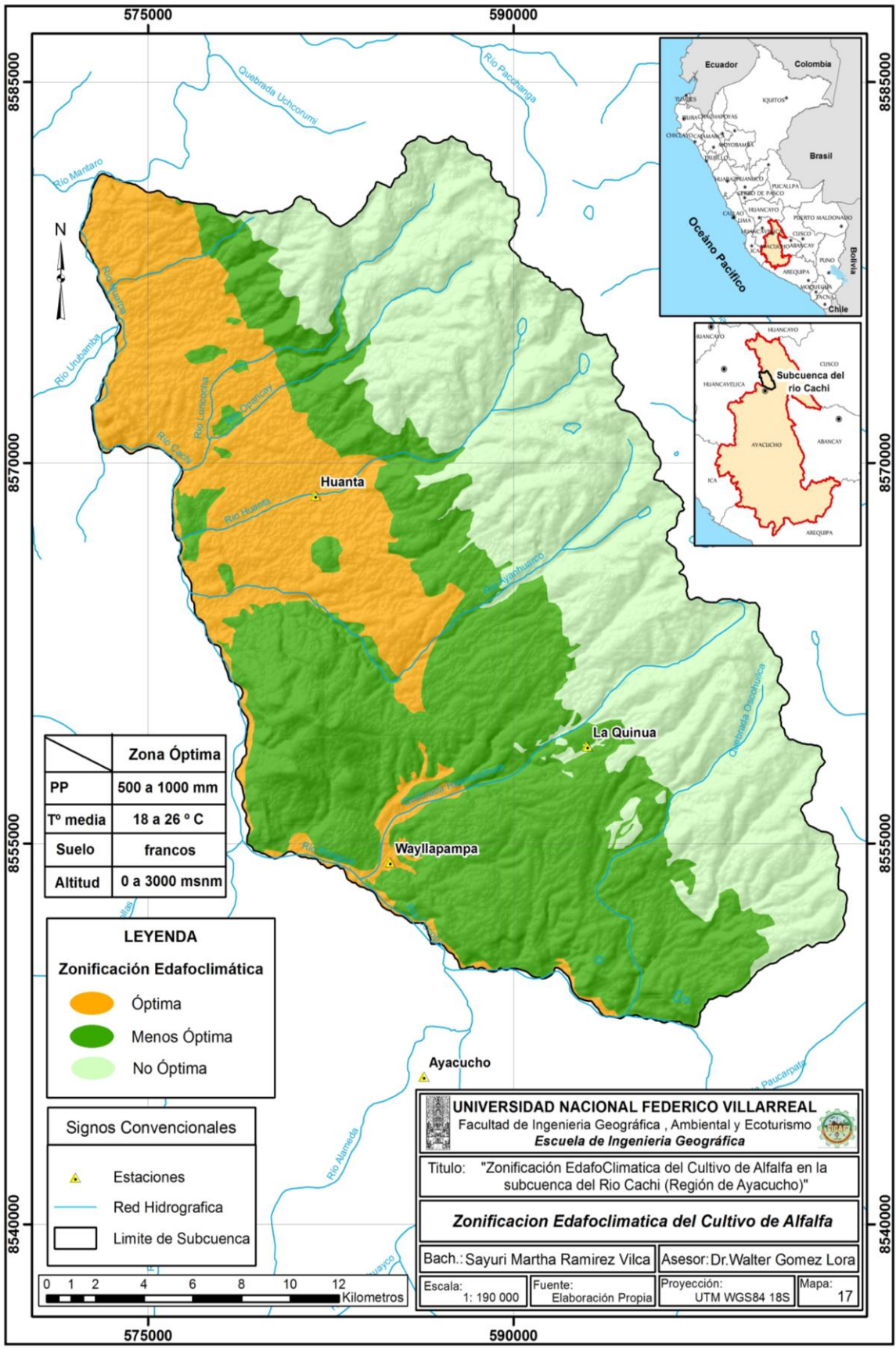


Tabla N° 37: Superficie de ocupación de la Zonificación Edafoclimática.

Zonificación Edafoclimática	Superficie de Ocupación (ha)	Porcentaje de Ocupación (%)
Óptima	13325.13	20
Menos Óptima	25626.25	40
No Óptima	25648.62	40
Total	64600	100

Fuente: Elaboración Propia



Los tres niveles o unidades son:

Zonas Edafoclimáticas: Se define por las potencialidades de desarrollo del cultivo en relación con la lluvia, la temperatura y propiedades del suelo, y se dividen en tres zonas.

Se agruparon tres clases:

- 1. Óptima:** Se caracteriza por presentar precipitaciones medias anual entre 500 - 1000 mm y temperatura media anua de 18 a 26 °C, con suelos francos, con una altitud entre 0 a 3000 msnm. Bajo estas condiciones se pueden obtener altos rendimientos de alfalfa.
- 2. Menos Óptima:** Lluvia anual > a 1000 mm, con temperatura media < a 18°C. con suelos arcillosos, con una altitud entre 0 a 3000msnm. comprende áreas con ligeras a moderadas restricciones climáticas, pudiendo presentar buenos a moderados rendimientos.
- 3. No Óptima:** comprende áreas que presentan restricciones muy fuertes que invalidan la explotación. está comprendida por altitudes mayores a 3000 msnm.

CAPITULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- La disponibilidad de estaciones meteorológicas en la Subcuenca del río Cachi es de 03 aprovechables y del departamento de Ayacucho es de 80 estaciones aproximadamente aprovechables, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), las cuales se concentran en zonas bajo los 3000 msnm y su distribución espacial es escasa; así mismo se han utilizado estaciones que se encuentran fuera o alrededor del área de estudio que presente datos al inicio y final del periodo escogido y que solo tengan un faltante discontinuo del 12% (SENAMHI, 2009); que corresponden a las regiones de Ayacucho y Huancavelica.
- En la Subcuenca del río Cachi, son 02 las estaciones que se definen con claridad: el verano (periodo lluvioso) y el invierno (periodo seco o de estiaje), Considerando la información de las 15 estaciones meteorológicas se sabe que es entre enero (127.9 mm) y febrero (145.7 mm) cuando se producen los acumulados mensuales máximos. A finales de marzo y sobre todo en abril, las precipitaciones disminuyen y entramos en otro período seco; sólo 3,2 mm se acumula en el mes de junio, 8,3 mm en julio y 9,1 mm en agosto.
- La distribución espacial de las temperaturas extremas (máxima y mínima) exhibe una dependencia con el relieve de la Subcuenca del río Cachi. En promedio, la temperatura máxima anual en toda la Subcuenca es 26.4 °C y la temperatura mínima 4.9 °C. Los valores más altos se registran en Wayllapampa: $T_{\text{máx}}=27.6$ °C, $T_{\text{mín}}=2.8$ °C; Huanta: $T_{\text{máx}}=26.4$ °C, $T_{\text{mín}}=6.6$ °C. Las temperaturas extremas más bajas se presentan en localidades como La Quinua: $T_{\text{máx}}=17.8$ °C, $T_{\text{mín}}=2.8$ °C y Huamanguilla: $T_{\text{máx}}=20.0$ °C, $T_{\text{mín}}=3.4$ °C, ambas ubicadas entre los 3000 a 3500 msnm de la Subcuenca.
- Se cuenta con el mapa de suelos del departamento de Ayacucho (MINEM - DRA, 2005) pero no cuenta con suficiente información a nivel de detalle para poder utilizarla en cuencas y Subcuencas; por ello ha sido necesario realizar un estudio semi-detallado, mediante la interpretación estereoscópica de las fotografías aéreas permitiendo la delimitación de unidades naturales y la interpretación monoscópica de las imágenes de satélite, seleccionando las “áreas homogéneas”, y en el campo realizando calicatas describiendo morfológicamente los perfiles de suelos más

representativos y realizando los análisis físico-químicos en muestras seleccionadas de suelos. Se han Identificado 41 unidades Geomorfológicas, los cuales se expresan en el relieve por vertientes y cimas en toda el área de estudio con alturas entre 2000 - 5000 msnm y pendientes predominantes entre 30 - 60 grados (fuertemente empinadas). Según el estudio geológico del Instituto Nacional de Geología y Minería del Perú, estas deben su formación a la presencia de actividad volcánica en la zona. Así se comprueba por la presencia de tolbas volcánicas como base lítica y de alta presencia de pedregosidad y afloramientos líticos.

- Los suelos de la subcuenca del río Cachi, tienen un promedio de pH que varía entre 7.0 a 8.0. En esta área los niveles de Fósforo son más altos, en cuanto a los niveles de Potasio son también superiores.
- La Subcuenca del río Cachi pertenece en su totalidad al sistema de los andes, cerros bajos y altos, con vegetación natural escasa, encontrándose quebradas con cultivos de secano. En la parte media y alta de la Subcuenca predomina el paisaje de colinas altas, que comprenden pastos naturales, paisajes de laderas y quebradas montañosas que abarcan altitudes de 3000 y 4200 msnm, aproximadamente.
- La localidad que obtuvo mayor Producción es Huanta, con un promedio de 3537,9 Tm de alfalfa; lo cual, superó a la localidad de Luricocha e Iguain; esto se debe a las características climáticas que posee dicha localidad, donde la combinación de las variables en estudio hizo que finalmente en la localidad de Huanta el promedio de producción sea mayor.
- El Distrito de Huanta presenta el potencial más alto de producción del cultivo de alfalfa esto se debe a que la temperatura media se mantiene constante entre 16 a 20° C, puesto que parece ser que el desarrollo de la alfalfa se ve más favorecido con esta temperatura que con el aumento de las mismas.
- Sobre la influencia de la precipitación en la producción de alfalfa, se observa que en la localidad de huanta presenta precipitación de 655 mm, con una temperatura media anual que varía entre 16 a 20 C en comparación con Acosvinchos. La precipitación fue de 600 mm pero con una temperatura menor para este cultivo de alfalfa, generando una baja producción y rendimiento del cultivo.
- En las localidades de Huamanguilla, La Quinua y Acosvinchos se observa menor producción de alfalfa debido al límite térmico (temperatura media del mes más calido

entre 12 y 16 °C). Temperatura por debajo de este límite térmico desaceleran el crecimiento vegetativo y frecuentemente ocurre muerte descendente, así como floración limitada.

- Del estudio de zonificación, realizado en base al mapa de zonificación edafoclimática (64600 ha), se obtuvo lo siguiente: 12 818 ha (20 % del área de estudio) corresponden a zonas edafoclimáticamente óptimas para el cultivo de alfalfa en la subcuenca del río Cachi.
- En esta zonificación se determinaron zonas óptimas y menos óptimas para el cultivo de alfalfa, la cual presenta características naturales adecuadas para su desarrollo, ya que como lo mencionan Enger y Smith (2006): "...cada porción de tierra tiene cualidades específicas, basadas en su ubicación y conformación física, así algunos terrenos son valiosos por las especies únicas que habitan en ellos y otros tienen un potencial fuera de lo común para la agricultura".
- Es así que, el interés del presente estudio es cambiar el enfoque actual de expansión de la frontera agrícola de forma horizontal a una vertical, es decir tal y como lo menciona Abdón Cortés: "Aumentando la producción por unidad de superficie en las tierras de verdadera vocación agrícola", especialmente, en las zonas donde coincide la aptitud natural (zonificación propuesta) del cultivo de alfalfa, obteniendo mejores rendimientos y ser competitivos con este cultivo, asegurando en primer lugar, la alimentación de forraje del país, contribuyendo a la reducción de la dependencia alimentaria de productos importados.

CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones.

- La Subcuenca del río Cachi se extiende desde la cota 2000 hasta los 4900 msnm presenta como características principales: topografía irregular; pendientes fuertes; laderas profundas con pendientes pronunciadas; suelos con erosiones moderadas, principalmente los suelos de las partes altas están fuertemente erosionados. Su parte media, posee una configuración topográfica dominante de quebrada, donde los cursos principales son encañonados; relieves accidentados. En la parte baja existe un valle de suave topografía, largo y estrecho. La temperatura media anual en el territorio es 12 °C en la parte alta y aumenta a 20°C en la parte baja. Las precipitaciones se encuentran entre los elementos climáticos de mayor variabilidad temporal y espacial. En su carácter temporal se distingue su estacionalidad en dos períodos bien definidos en todo su espectro altitudinal (lluvioso y seco) destacándose el mes de febrero (145.7 mm) como el mas lluvioso, mientras que junio y julio son los de menor lluvia con 3.2 y 8.3 mm respectivamente.
- Los requerimientos edafoclimáticos para la obtención de los potenciales optimos del cultivo de alfalfa son: precipitaciones comprendidas dentro del rango de 500 a 1000 mm, temperatura media anual de 18 a 26°C. De los grupos de suelos existente son los de textura Franco arenoso y Franco arcillo arenoso por presentar suelos profundos que permite el desarrollo de sus raíces y pueden tomar los nutrientes indispensables y presentan niveles de erosión bajo lo que permite la permanencia del fertilidad del suelo y a su vez la profundidad no sea afectada por la escorrentía esto hace que exista una correlación directa con el contenido de materia orgánica que presentan estos suelos que van desde medianamente humificados hasta humificados, permitiendo en estos casos menor aplicación de fertilizantes químicos .
- La zona edafoclimatica óptima para el cultivo de alfalfa representa 13325.13 ha que corresponde al 20% del área total y se encuentra distribuida en la parte baja, la menos óptima es de 41% que pueden llegar a ser potenciales si se diera un mejor manejo de los suelos y la no óptima es de 39% del área total.
- Es posible detectar en el análisis de las zonas edafoclimaticas lugares marginales cercanos a la zona óptima que pudiesen llegar a ser potenciales si se diera un mejor

manejo de los suelos. Aquellos suelos con mayor riesgo de erosión deben tener prácticas adecuadas de conservación de suelos y aguas incluyendo el uso de árboles de sombra.

- El S.I.G constituye una herramienta muy útil para la zonificación edafoclimática del cultivo de alfalfa, porque facilita la determinación de las áreas con potencial edafoclimático permitiendo hacer operaciones entre los diferentes mapas obtenidos, lográndose con ello una mayor eficiencia en el manejo de la información, además de la modelación del proceso, de tal forma que se pueden proyectar resultados a través del tiempo y del espacio.
- La zonificación edafoclimática del cultivo de alfalfa representa un instrumento de planificación para orientar a productores lecheros interesados en desarrollar una silvicultura económicamente viable, mediante la elección acertada de las áreas para implantación del cultivo, en lo que se refiere a la aptitud del suelo y del clima, que ofrezcan mejores rendimientos en las condiciones locales, para de esta manera poder incrementar el número de animales lecheros por hectárea, lo que finalmente se reflejará en el incremento de la producción de leche.

7.2. Recomendaciones.

- Mejorar y actualizar la información edafoclimática, para establecer diferencias del modelo de zonificación establecido con futuras aproximaciones.
- Debido a la escasez de forraje que se presenta en nuestro país por la falta de lluvias y las heladas, se recomienda dentro de la conservación de forrajes como una alternativa el uso del cultivo de alfalfa, como una buena alternativa forrajera ya que es más sencillo y barato de conservación de forraje, que con una buena técnica de almacenamiento puede preservar su composición química y física durante largos periodos para así proporcionar un buen alimento al ganado en épocas de sequía.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. AGUIRRE, J.A. y SALAS, J. (1965). Zonificación del Cultivo del frijol en Centroamerica y Panamá. Turrialba.pp. 300-306.
2. BAVA, J.; DOGLIOTTI, A. (2000). Teledetección con Imágenes Satelitales: Generalidades. Grupo de Teledetección IAFE. Argentina
3. BURGOS, J.J y REYES, H. (1965). Tipos Agroclimaticos Mundiales del cacaotero.Agronomia Tropical. Pp 169-231.
4. C.D. Tomlin. (1990).Geographic information systems and cartographic modelling. Prentice Hall.
5. CHUVIECO Salinero, E. (2006). Teledetección Ambiental: La Observación de la Tierra desde el Espacio. 2da. Ed. Edit. Ariel., Barcelona, España. 586. P.
6. CORTES, A. (2004). Suelos: una mirada desde la academia. Bogota, CO.p.40-41, 89,96.
7. CULOT, J.P. (1986). Nutrición mineral y fertilización en el ambiente de la región pampeana. En: Investigación, tecnología y producción de alfalfa. Colección científica del INTA. Bs.As: 83.
8. D'ATELLIS RAFAEL A. (2005). ALFALFA (Medicago sativa L.) Producción de semilla .Tinogasta, Catamarca. Ministerio de Produccion y Desarrollo.Pp 47.
9. DEL POZO, M. (1983). La Alfalfa. Su Cultivo y Aprovechamiento. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España.pp 380.
- 10.DOS SANTOS, R.S.B. (1966). Fitoclimograma esquemático da videira no Brasil.Revista Brasileira de Geografia. pp. 113-127.
11. ENGER, E.; Smith B. (2006). Ciencia Ambiental: un estudio de interrelaciones. 10 ed. Mexico, D.F., MX, Ediciones Mc Graw-Hill. P. 157,281.
- 12.ESPINOZA, C. J. Ma. y RAMOS, G. J. L. (2001). El cultivo de alfalfa y su tecnología de manejo. Folleto para productores. No. 22. Fundación Produce de Aguascalientes e INIFAP. Campo Experimental Pabellón. CIRNOTABLA INIFAP. Pp. 11 inifap@codagea.edoags.gob.mx
- 13.FAO (Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion, 1997). Zonificacion Agroecológica. Guia General. Boletin de suelos de la FAO 73.Roma.p12.

14. FLORES, M.A. y MALPARTIDA I.E (1987) "Manejo de Praderas Nativas y Pasturas en la Región Andina del Perú Fondo Libro Bco. Agrario Tomo I y II Lima Perú.
15. GARCIA B., J. (1968). Clima agrícola del cafeto (*coffea arabica*) y zonas potenciales en los andes de Venezuela. *Agronomía Tropical*. Pp 57-84.
16. GARCIA B., J. (1969). Zonificación del frijol (*Phaseolus vulgaris*) en función de su régimen hídrico. *Agronomía Tropical*. Pp 197-203.
17. GARCIA B., J. (1971). Clima Agrícola de Cítricos (*Citrus Sinensis*). *Agronomía Tropical*. Pp 71-89.
18. GARCIA B., J. y MONTALDO, A. (1971). Exigencias Hídricas de la yuca o mandioca (*Manihot esculenta*). *Agronomía tropical*. Pp 25-31.
19. GARCIA B., J. y SANCHEZ, C.J. (1967). Zona climáticas para palma Datilera (*Phoenix dactylifera*) en Venezuela. *Agronomía Tropical*. Pp 195-206.
20. GARCIA B., J., MAZZANI, B. y SAINZ, J. M. (1971). Relación entre el balance de agua en el suelo y el rendimiento del ajonjolí (*Sesamun indicum*). *Agronomía Tropical*. Pp 49-57.
21. INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS.(1971).Informe sobre el proyecto de zonificación de cultivos de consumo básico y tradicionales de exportación para los países del mercado común centroamericano. Turrialba, Costa Rica, Centro Tropical de enseñanza e investigación y Dirección Regional para la zona norte . 59 p.
22. INFOAGRO. (2002). El cultivo de alfalfa. (en línea). Consultado el 18 de abril-2010. Disponible en <http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/alfalfa.htm>.
23. JARSUM, B. (1996). Condiciones del suelo para alfalfa. En: V Jornadas nacionales de alfalfa en acción. INTA Manfredi- AER Villa María: 16.
24. MARICATO, A.T. (1966). Algunos fitoclimogramas de productos temperados. *Revista Brasileira de Geografia*. pp 76-82.
25. MIRANDA, E.E., (1992). Posibles aportes de los Sistemas de Información Geográfica al diseño de sistemas de producción. In: INTERNATIONAL MEETING OF RIMISP, 5. Santiago, Chile: RIMISP, p.13.
26. MOLINA R. CESAR. (1982). "Avances de la investigación en pastizales en las zonas altas de los Andes". FONAIAP. Boletín N°07.

27. MONTROYA MAQUIN, J.M. (1969). Zonas ecológicas para frijol en América Central, una metodología. Reunión Técnica sobre Programación de Investigación y Extensión en Frijol y otras Leguminosas de Grano para América Central. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). pp. 26-34
28. MINTEGUI, J., López, F. (1990). La ordenación agrohidrológica en la planificación. Servicio central de publicaciones del gobierno Vasco. pp 306.
29. MUSLERA, P., E. y G. RATERA C. (1991). Praderas y Forrajes, Producción y Aprovechamiento. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. pp 674.
30. NARDI, A. (1999). Comparación de diferentes métodos de utilización de una pastura de alfalfa con vacas lecheras. (en línea). Consultado 17-abril-2010. Disponible en <http://agrarias.tripod.com/forrajeras.htm>
31. PALADINES, O., (2004). "Principales Recursos Forrajeros para las tres Regiones del Ecuador". Quito, Ecuador. pp.
32. PAPADAKIS, J. (1966). Crop ecological survey of west Africa (Liberia, Ivory Coast, Ghana Togo, Dohomey, Nigeria). Roma, FAO. 2 vol.
33. PEDRO C. TOWER. (2002), Conceptos Iniciales sobre Teledetección y su Aplicación al Agro. pp. 142.
34. QUIROZ Hernandez Manuel. (2011). Tecnologías de la información geográfica (TIG) Cartografía, fotointerpretación, teledetección y SIG, Ediciones Salamanca, 1era edición.
35. SANCHEZ Ramos Alexis A, (2009). Análisis Multitemporal de la cobertura de la Tierra en la Cuenca del Valle de Jesús de Otoro entre los años 2000-2006 aplicando técnicas de Teledetección. Ciudad Universitaria, Tegucigalpa M.D.C. Honduras, septiembre, 30.
36. UNESCO - ROSTLAC. (1982). Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur. Oficina Regional de Ciencias Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe. Montevideo. Uruguay. 129 p - España. 745pp.
37. Solid Perú, (2007). Conociendo la cadena productiva de lácteos en Ayacucho. Perú. 118 p.
38. TAPIA NUÑEZ M.E; FLORES OCHOA J.A. (1984). "Pastoreo y Pastizales de los Andes del Sur del Perú" Edit. Ana María Fries.

ANEXOS

ANEXO N° 01: Datos de precipitación de estaciones analizadas, periodo 1993-2014.

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Acobamba	127.23	129.54	99.06	42.73	18.51	6.58	9.88	16.32	25.44	51.50	59.37	107.71	693.89
Andahuaylas	144.19	131.91	115.64	40.55	17.67	6.47	12.41	17.87	30.41	47.40	52.39	97.75	714.67
Ayacucho	188.43	183.32	150.74	56.16	20.32	7.01	15.09	18.44	29.96	56.46	75.53	149.20	950.66
Choclococha	201.84	230.45	207.47	113.85	27.16	13.55	11.80	27.49	49.17	86.45	88.60	159.04	1216.86
Huancapi	174.49	171.62	142.09	56.35	11.89	5.83	10.15	15.67	29.29	38.19	50.99	122.40	828.96
Huancavelica	164.12	181.02	173.62	72.84	19.46	10.13	18.13	29.00	56.28	76.37	80.56	136.71	1018.25
Huanta	130.22	125.54	102.94	31.91	11.60	3.22	7.35	9.55	18.04	34.84	57.84	103.06	636.11
La Quinua	130.08	152.89	129.14	43.09	19.00	4.97	13.76	13.16	38.14	53.77	69.23	117.16	784.38
Lircay	150.43	151.33	117.43	55.92	25.89	8.61	15.17	15.98	31.67	54.00	59.02	123.73	809.19
Luricocha	147.14	144.66	128.73	50.81	17.53	5.49	10.51	9.49	46.97	52.81	64.05	115.49	793.69
Pampas	105.45	106.86	88.36	29.44	15.85	5.16	13.59	12.62	23.19	43.68	46.92	94.10	585.22
Paucarbamba	200.82	215.52	199.91	84.66	35.44	16.54	25.98	32.39	56.20	93.22	96.20	167.20	1224.07
San Pedro de Cachi	136.09	131.06	111.74	43.38	14.98	5.27	10.84	13.95	21.52	42.03	58.34	110.45	699.65
Tunel Cero	167.97	168.17	160.43	79.28	19.08	4.83	5.35	8.44	23.94	58.69	71.02	146.87	914.09
Vilcashuaman	155.85	156.65	125.64	36.43	10.32	3.39	7.99	13.12	27.41	35.43	58.73	115.47	746.43
Wayllapampa	115.30	118.96	98.38	30.37	14.26	3.08	8.18	9.36	24.23	33.23	49.88	89.64	594.88

ANEXO N° 02: Datos de Temperatura Maxima de estaciones analizadas, periodo 1993-2014.

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Acobamba	18.04	17.71	17.91	18.46	18.96	18.63	18.33	19.11	19.32	20.08	20.42	19.11	18.84
Andahuaylas	19.95	19.55	19.45	20.00	20.35	19.78	19.33	19.91	20.52	21.41	22.25	20.95	20.29
Ayacucho	23.77	23.14	23.15	24.03	24.38	23.58	23.14	23.76	24.50	25.17	25.42	24.67	24.06
Huancapi	21.29	20.28	20.16	20.36	21.16	21.06	20.94	21.66	22.27	23.81	24.61	22.60	21.68
Huancavelica	16.73	16.40	16.42	17.09	17.47	17.39	17.16	17.29	17.07	17.40	18.15	16.90	17.12
Huanta	25.17	24.60	24.56	25.22	25.60	24.98	24.73	25.30	25.80	26.36	26.80	25.59	25.39
La Quinua	18.38	17.84	17.62	18.33	18.71	18.14	17.86	18.58	19.08	19.72	20.31	18.91	18.62
Lircay	19.02	18.37	18.69	19.77	20.54	20.34	20.10	20.50	20.68	20.88	21.28	19.67	19.99
Pampas	17.56	17.14	17.16	17.75	17.99	17.74	17.29	17.80	17.95	18.56	18.95	18.03	17.83
Paucarbamba	15.79	15.37	15.42	16.44	17.12	16.84	16.62	16.99	17.09	17.28	17.61	16.28	16.57
San Pedro de Cachi	20.75	20.12	20.25	21.07	21.57	21.15	20.82	21.44	21.61	22.09	22.59	21.22	21.22
Tunel Cero	10.30	10.01	10.08	10.42	10.64	10.52	10.37	10.89	11.05	11.50	11.71	10.73	10.69
Vilcashuaman	17.55	17.33	17.23	17.32	17.63	17.31	16.86	17.45	17.74	18.72	19.56	18.16	17.74
Wayllapampa	26.03	25.37	25.45	26.19	26.42	25.90	25.51	26.04	26.43	27.13	27.63	26.37	26.21

ANEXO N° 03: Datos de Temperatura Minima de estaciones analizadas, periodo 1993-2014.

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Acobamba	6.63	6.73	6.60	5.84	4.21	3.00	2.54	3.34	4.78	5.83	6.15	6.51	5.18
Andahuaylas	9.05	9.05	8.73	7.12	4.40	2.97	2.61	4.12	6.01	7.24	7.70	8.54	6.46
Ayacucho	11.69	12.26	11.85	9.83	7.06	5.29	5.51	6.73	9.38	10.93	10.58	11.70	9.40
Huancapi	8.77	8.93	8.84	7.70	4.94	3.81	3.71	5.02	6.50	7.39	7.64	8.67	6.83
Huancavelica	3.60	3.68	3.64	2.60	0.77	0.10	0.25	0.70	2.19	2.82	3.15	3.54	2.25
Huanta	12.16	11.98	11.39	10.46	8.31	7.06	7.29	8.13	9.85	11.47	12.27	11.89	10.19
La Quinua	5.37	5.28	5.22	4.87	4.17	3.07	2.62	3.31	4.55	5.35	5.43	5.46	4.56
Lircay	6.55	6.75	6.61	5.29	2.88	1.36	0.91	1.88	3.86	5.14	5.28	6.27	4.40
Pampas	5.96	6.65	5.90	3.62	1.28	-0.44	-0.44	0.60	2.89	4.13	4.56	5.57	3.36
Paucarbamba	6.38	6.29	6.32	4.33	5.11	3.93	3.54	3.86	5.02	5.75	6.19	6.33	5.26
San Pedro de Cachi	9.51	9.62	9.25	8.12	5.96	4.72	4.74	5.37	7.02	8.46	9.27	9.29	7.61
Tunel Cero	0.65	0.87	0.86	0.29	-1.89	-3.97	-4.97	-4.58	-2.84	-1.34	-1.02	0.30	-1.47
Vilcashuaman	5.66	5.67	5.57	4.46	1.61	0.62	0.30	1.23	2.99	3.63	3.95	5.29	3.41
Wayllapampa	10.59	10.92	10.51	8.31	4.96	2.93	2.82	3.98	6.55	8.24	8.85	10.05	7.39

ANEXO N° 04: Datos de Temperatura Media de estaciones analizadas, periodo 1993-2014.

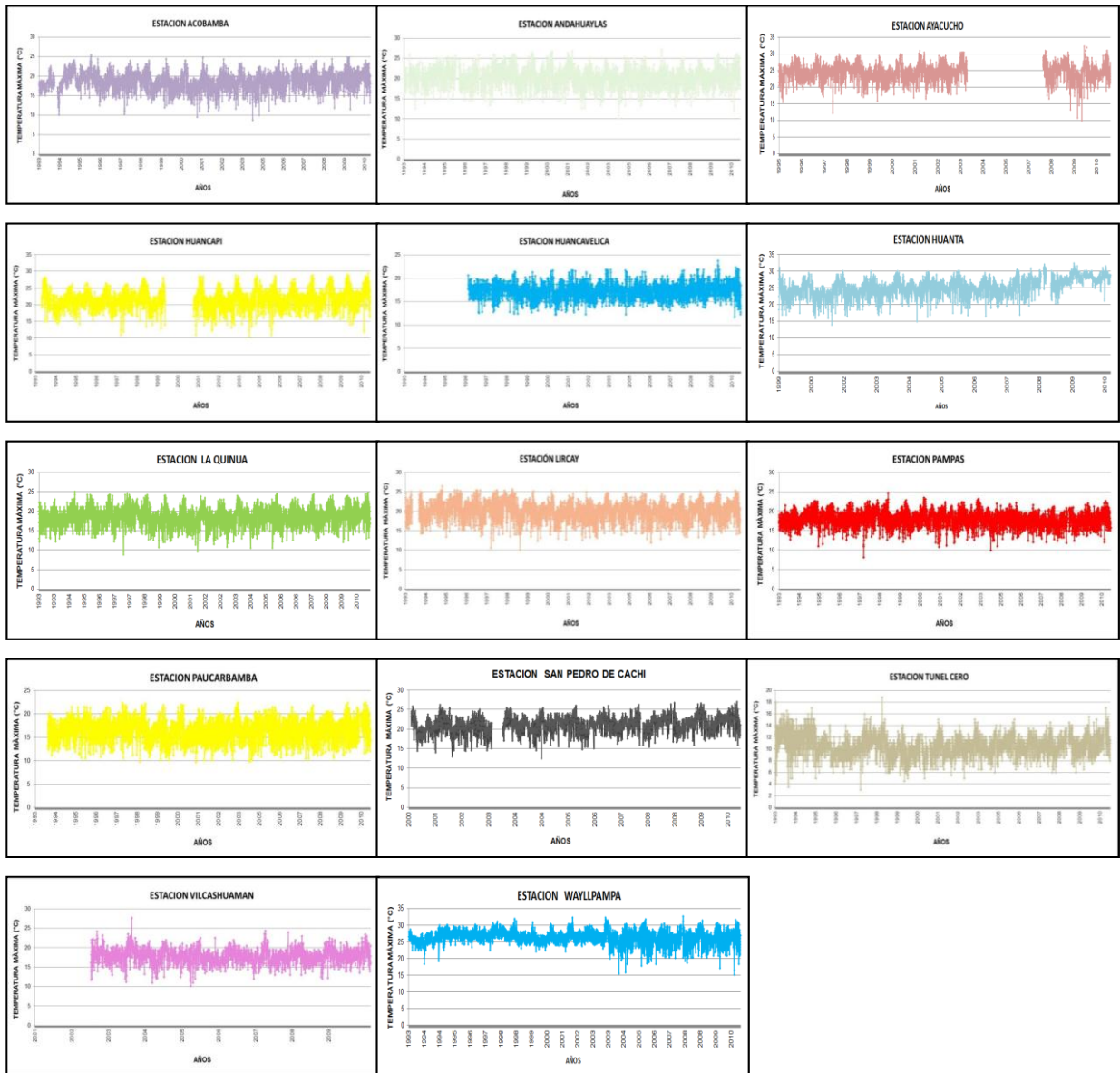
Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Acobamba	12.34	12.04	12.09	12.12	11.67	11.08	10.82	11.51	12.23	13.20	13.69	12.85	12.14
Andahuaylas	14.22	14.06	13.83	13.54	12.53	11.55	11.28	12.22	13.39	14.45	15.09	14.73	13.41
Ayacucho	16.67	17.31	17.22	16.93	16.23	14.98	14.89	15.72	17.85	18.96	18.91	18.66	17.03
Huancapi	14.82	14.48	14.36	14.06	13.16	12.52	12.43	13.45	14.48	15.60	15.92	15.51	14.23
Huancavelica	10.25	10.05	10.08	9.92	9.30	8.94	8.98	9.17	9.72	10.27	10.91	10.63	9.85
Huanta	18.54	18.09	17.81	17.80	17.47	16.73	16.44	17.31	18.36	19.42	19.54	18.66	18.01
La Quinua	13.48	13.09	13.02	13.38	13.11	12.48	12.13	12.77	13.56	14.38	14.79	13.90	13.34
Lircay	12.69	12.48	12.44	12.55	12.18	11.64	11.27	11.96	12.77	13.41	13.71	13.07	12.51
Pampas	12.22	12.06	11.84	11.43	10.43	9.30	9.21	9.99	11.24	12.21	12.63	12.45	11.25
Paucarbamba	11.61	11.32	11.41	11.84	11.88	11.31	10.94	11.27	11.67	12.23	12.57	11.95	11.67
San Pedro de Cachi	14.90	14.61	14.42	14.46	14.08	13.50	13.15	13.87	14.65	15.51	16.02	15.14	14.53
Tunel Cero	5.42	5.41	5.44	5.37	4.38	3.39	2.86	3.36	4.20	5.09	5.25	5.52	4.64
Vilcashuaman	11.60	11.60	11.50	11.07	9.90	9.86	9.41	10.07	10.94	11.95	12.39	12.06	11.03
Wayllapampa	18.68	18.24	18.05	17.76	16.51	15.36	15.31	16.18	17.67	18.88	19.32	19.00	17.58

ANEXO N° 05: Registros diarios de precipitación de las estaciones analizadas, periodo 1993-2014.



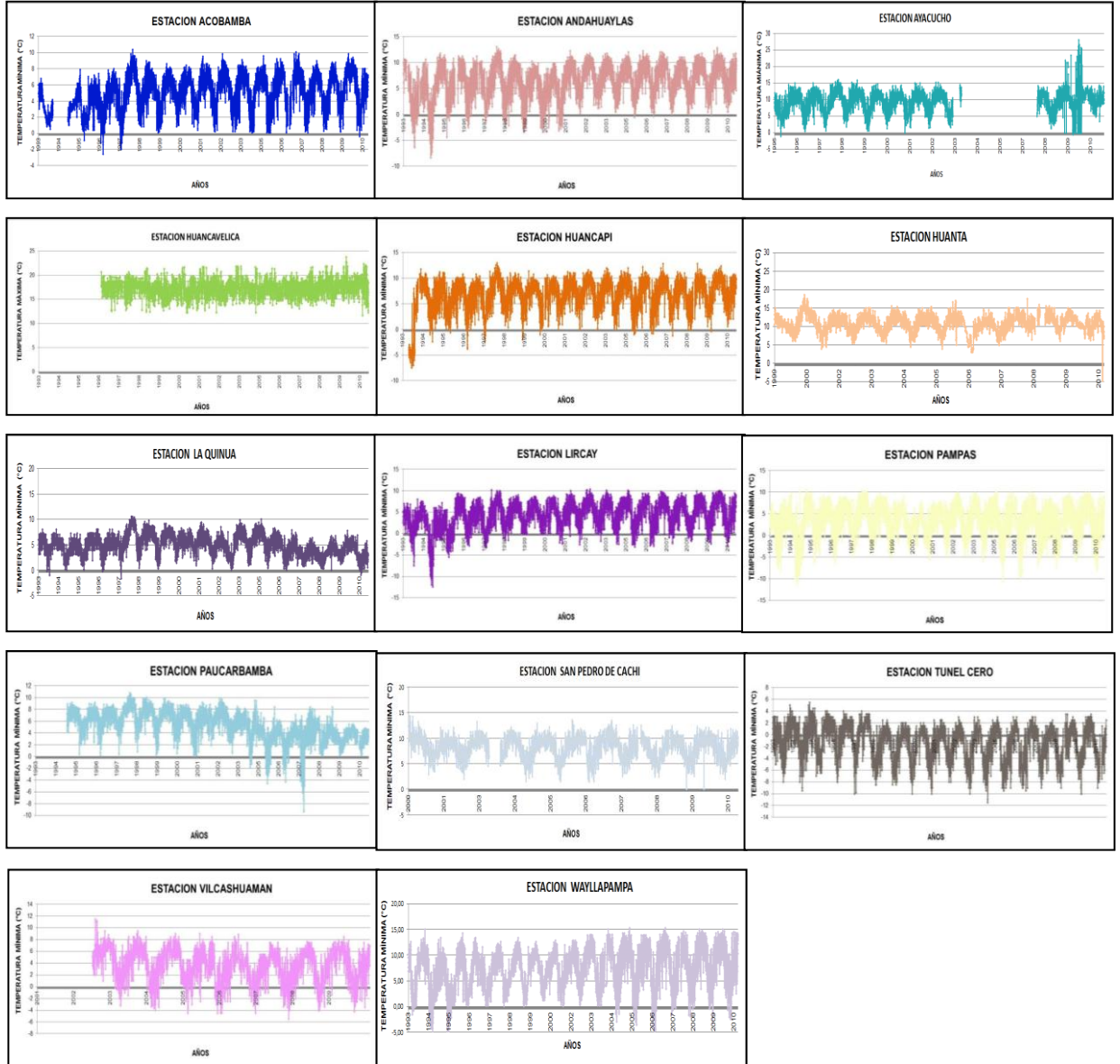
Fuente: Elaboracion Propia

ANEXO N°06: Registros diarios de Temperatura Máxima del Aire de las estaciones analizadas, periodo 1993-2014.



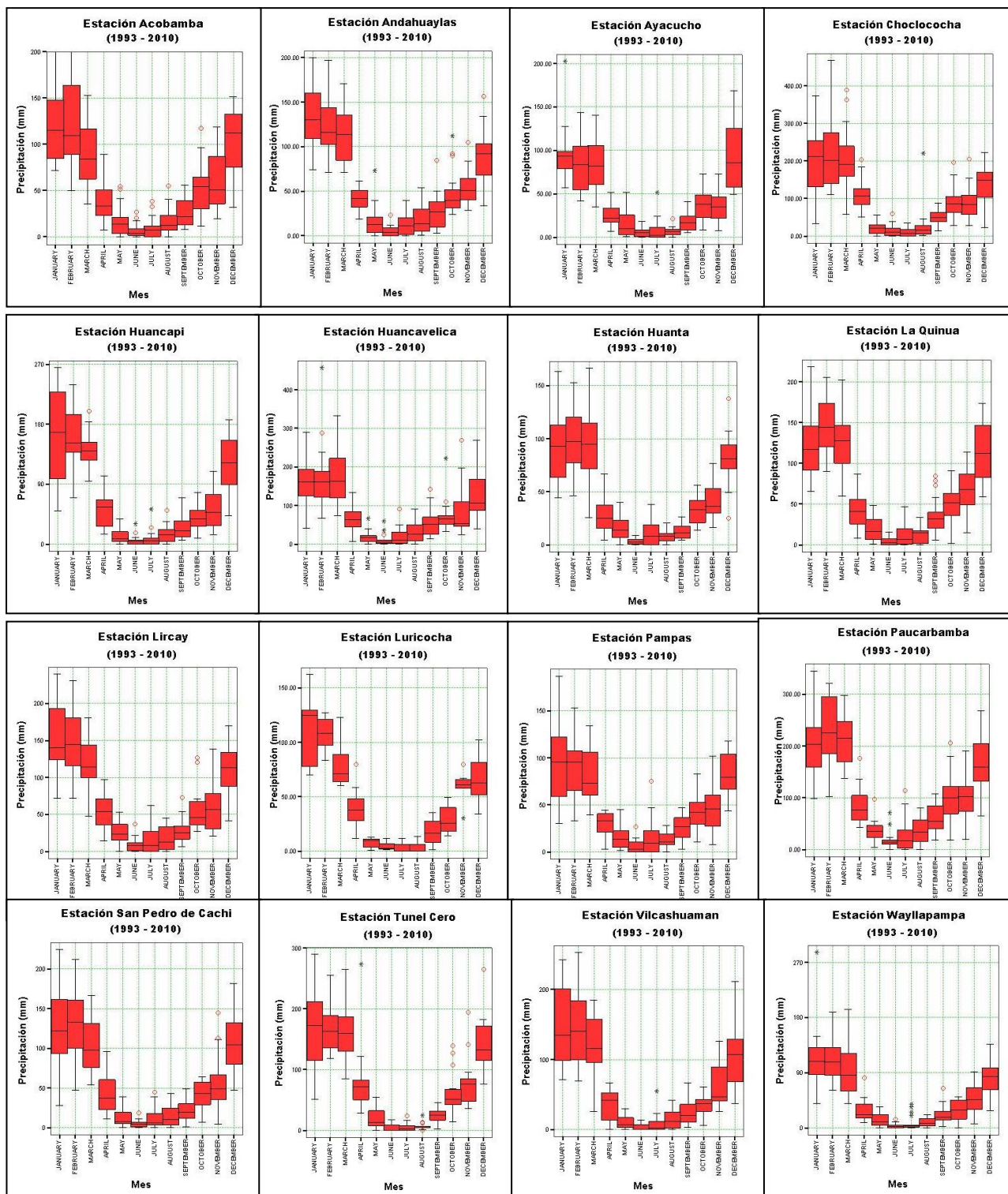
Fuente: Elaboracion Propia

ANEXO N° 07: Registros diarios de Temperatura Mínima del Aire de las estaciones analizadas, periodo 1993-2014.

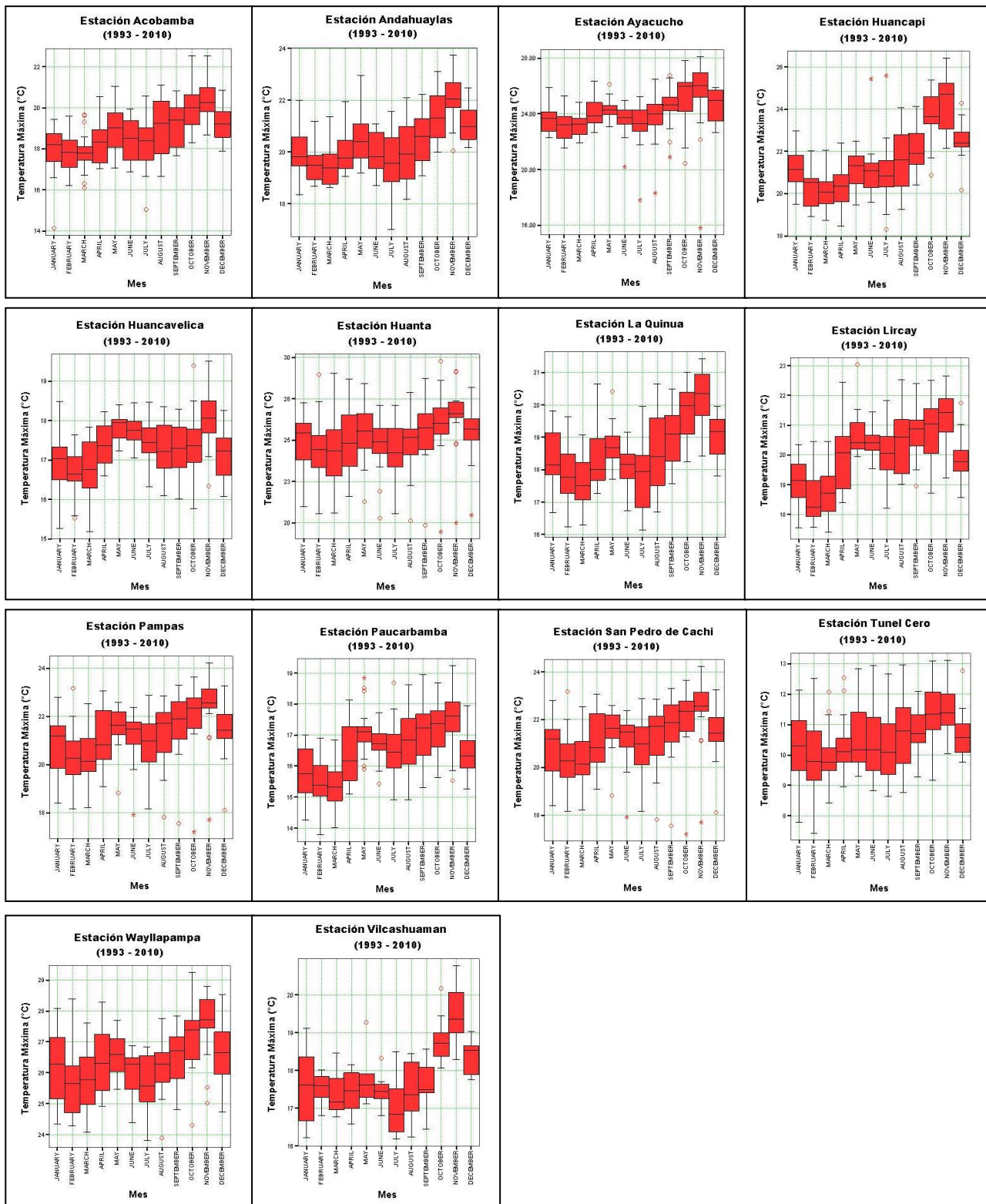


Fuente: Elaboracion Propia

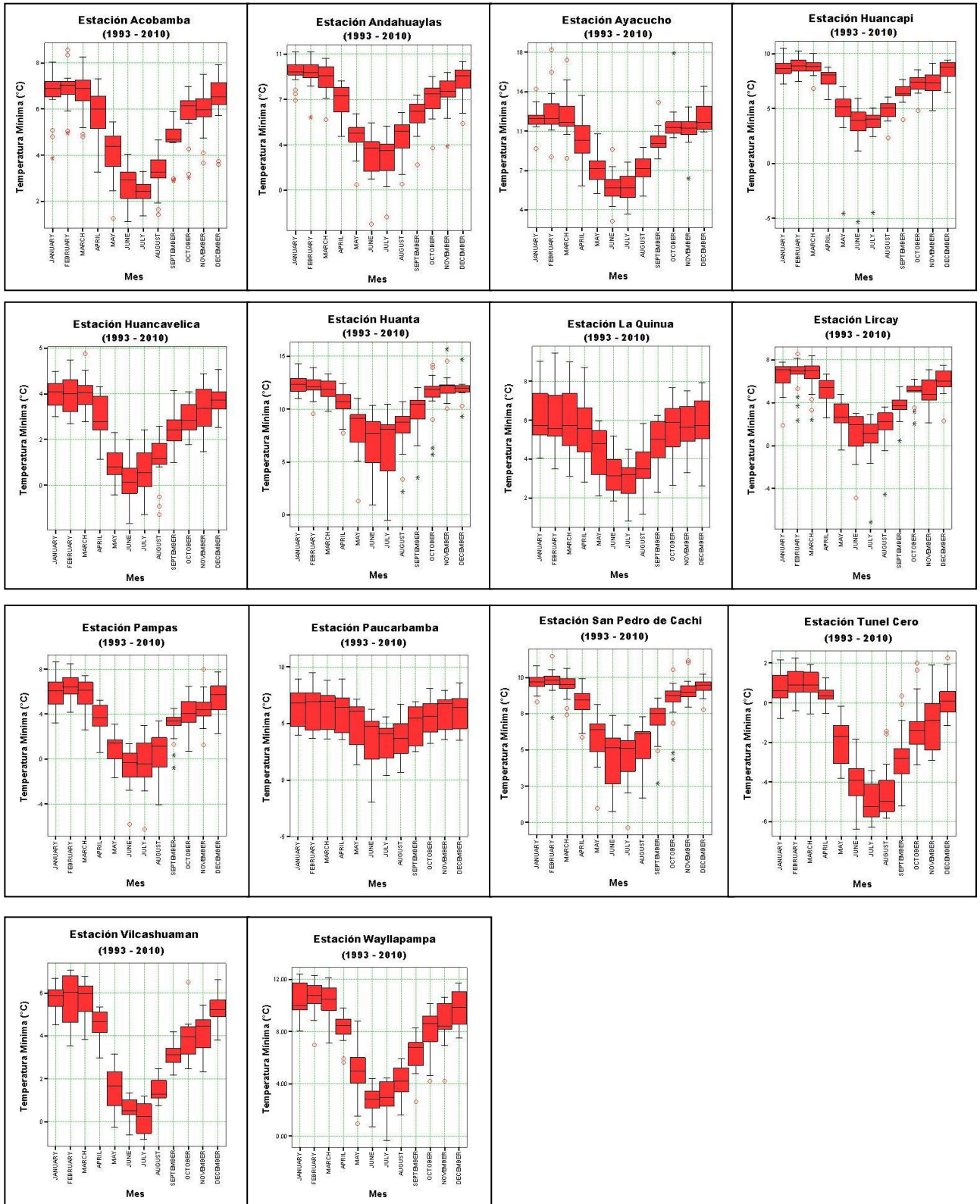
ANEXO N° 08: Diagrama de cajas de Precipitación acumulada mensual (mm)



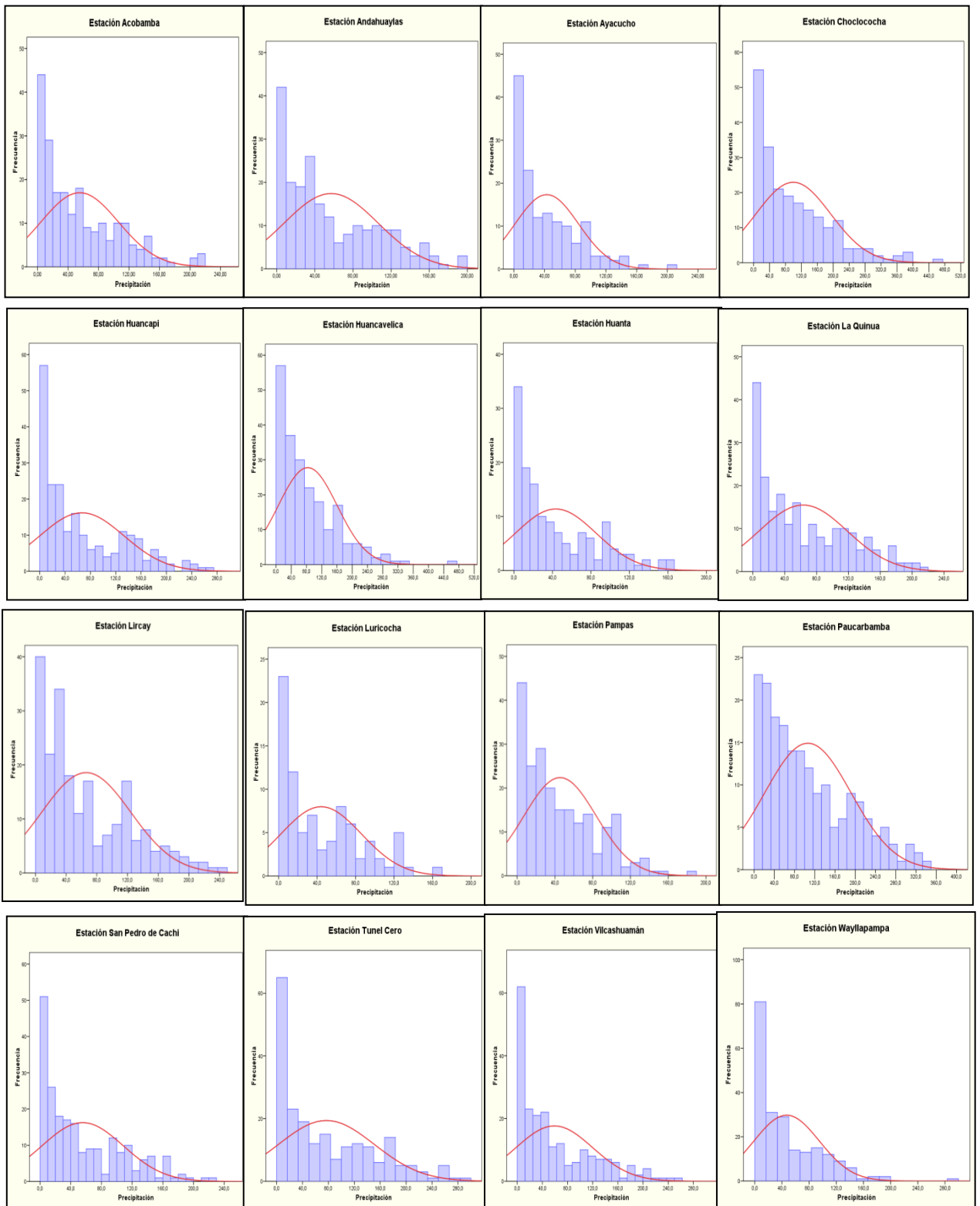
ANEXO N° 09: Diagrama de cajas de Temperatura Máxima del aire promedio mensual (mm)



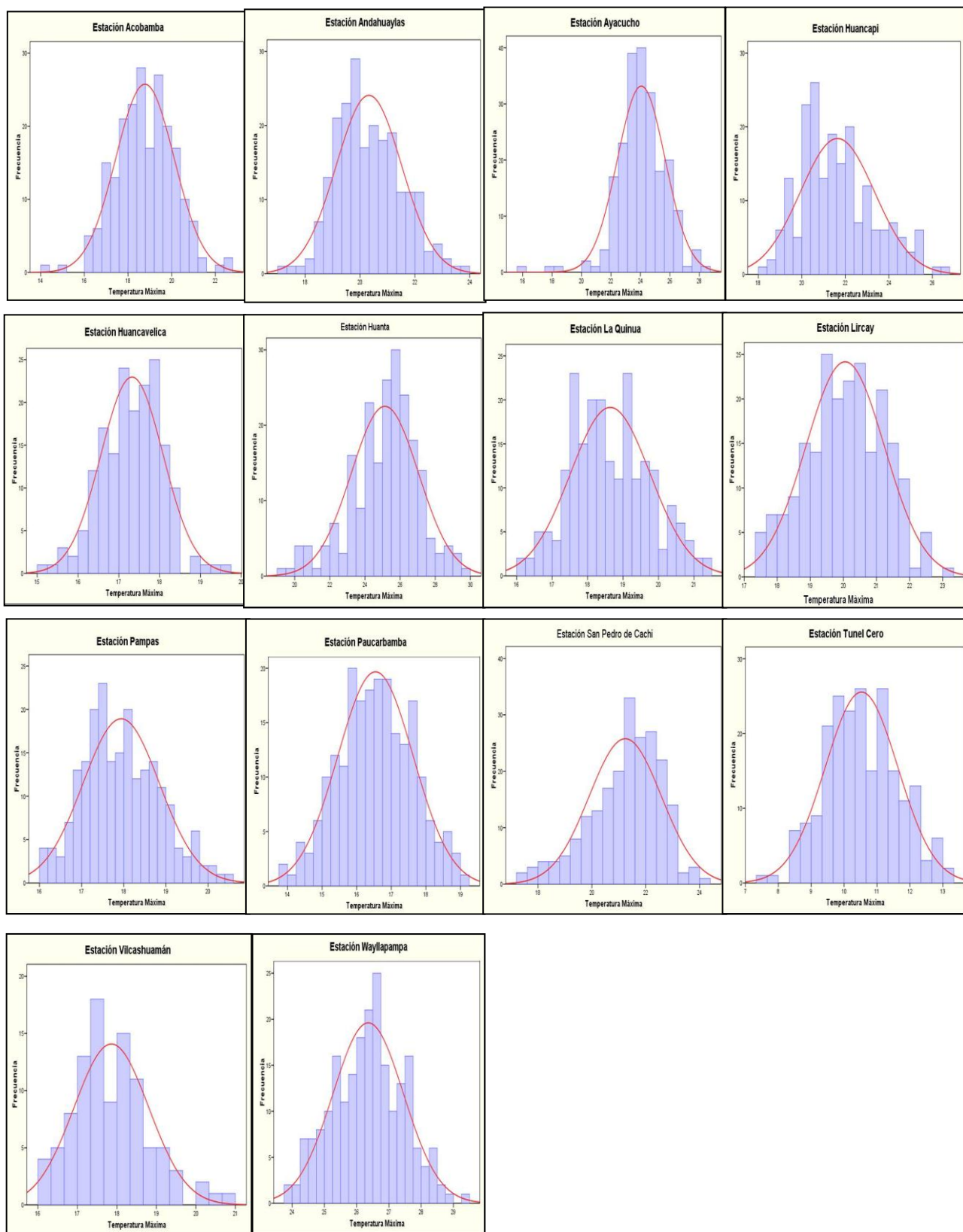
ANEXO N°10: Diagrama de cajas de Temperatura Mínima del aire promedio mensual (mm)



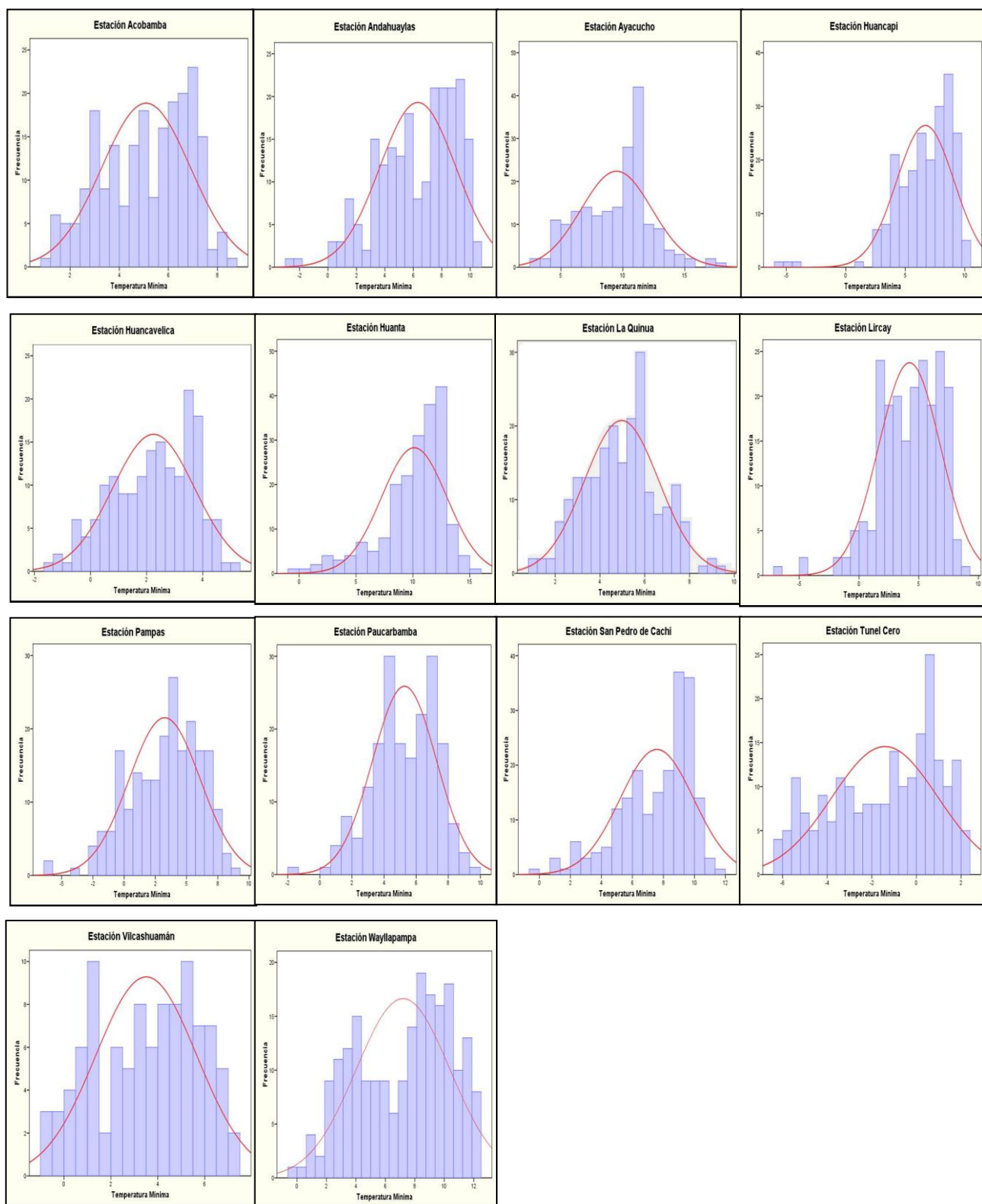
ANEXO N° 11: Histogramas medios mensuales multianuales de precipitación para las estaciones de estudio, periodo 1993-2010.



ANEXO N° 12: Histogramas de temperatura máxima mensual multianual para las estaciones de estudio, para el periodo 1993-2010.



ANEXO N° 13: Histogramas de temperatura mínima mensual multianual para las estaciones de estudio, para el periodo 1993-2010.



ANEXO N° 14: Prueba de normalidad (P-P)

Estación Acobamba: Gráfico O-O.

Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACION
para Grupo 01 (1993 - 2001)

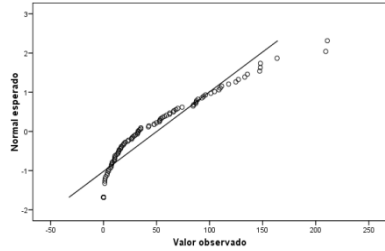
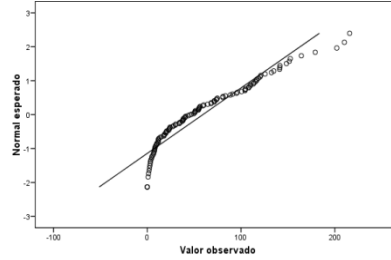


Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACION
para Grupo 02 (2002 - 2010)



Estación Andahuaylas: Gráfico O-O.

Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACION
para PERIODO 01 - (1993 - 2001)

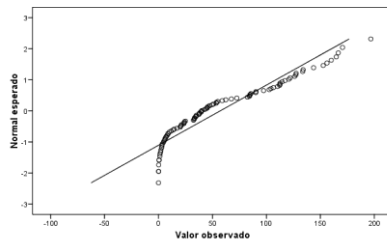
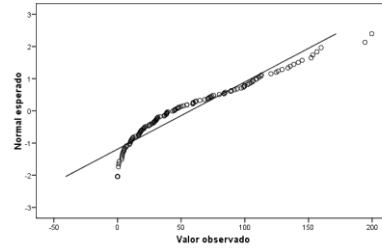


Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACION
para PERIODO 02 - (2002 - 2010)



Estación Ayacucho: Gráfico O-O.

Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACION
para PERIODO 01 - (1993 - 2010)

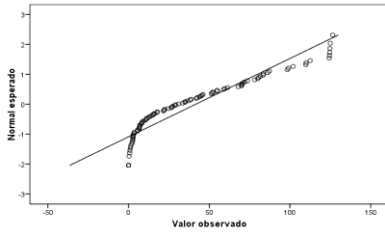
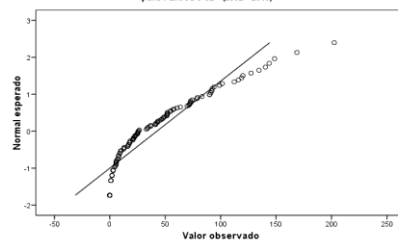


Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACION
para PERIODO 02 - (2002 - 2010)



Estación Choclococha: Gráfico O-O.

Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACION
para PERIODO 01 - (1993 - 2010)

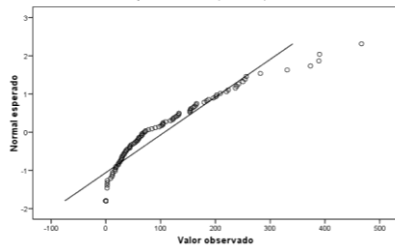
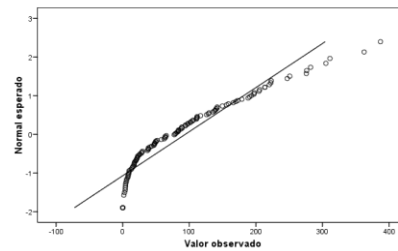


Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACION
PERIODO= 2, para PERIODO= 2



Estación Huancapi: Gráfico O-O.

Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACION
para PERIODO 01 - (1993 - 2001)

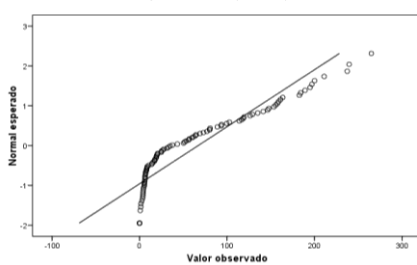
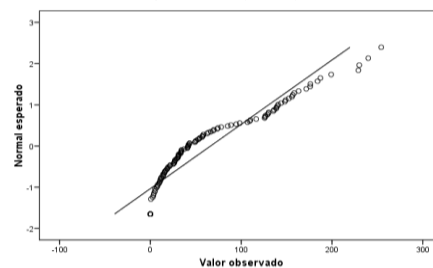


Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACION
para PERIODO 02 - (2002 - 2010)



Estación Huancavelica: Gráfico O-O

Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACION
para PERIODO 01 - (1993 - 2001)

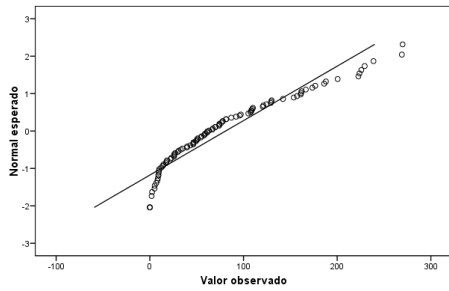
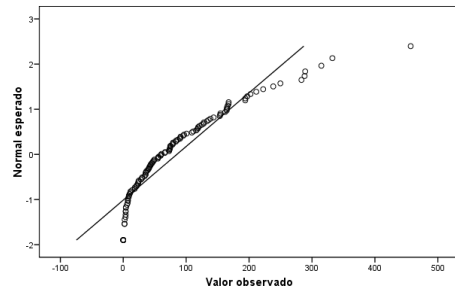


Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACION
para PERIODO 02 - (2002 - 2010)



Estación La Quinua: Gráfico O-O

Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACION
para PERIODO 01 - (1993 - 2001)

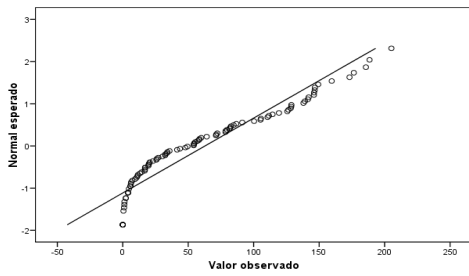
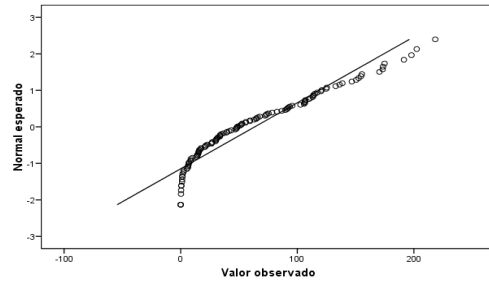


Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACION
para PERIODO 02 - (2002 - 2010)



Estación Lircay: Gráfico O-O

Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACION
para PERIODO 01 - (1993 - 2001)

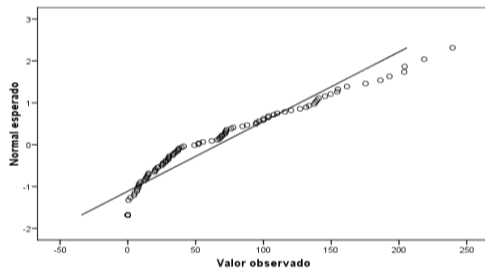
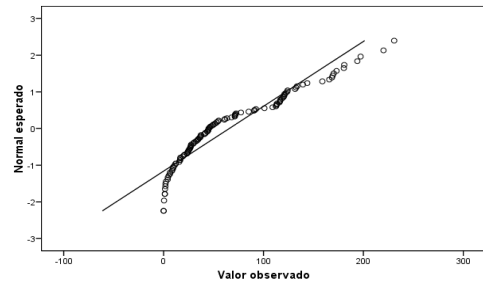


Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACION
para PERIODO 02 - (2002 - 2010)



Estación Pampas: Gráfico O-O

Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACION
para PERIODO 02 - (2002 - 2010)

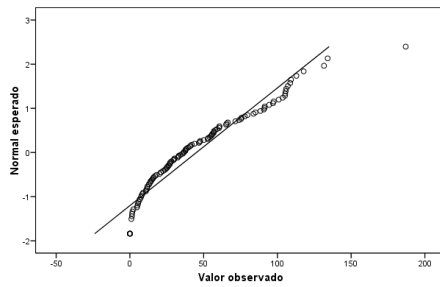
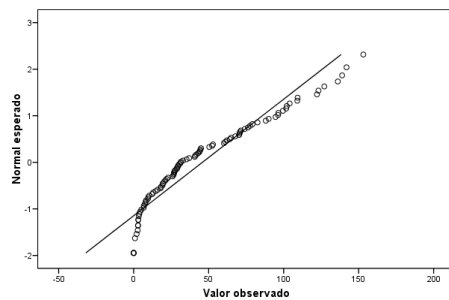


Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACION
para PERIODO 01 - (1993 - 2010)



Estación San Pedro de Cachi: Gráfico O-Q

Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACIÓN
para PERIODO 01 - (1993 - 2001)

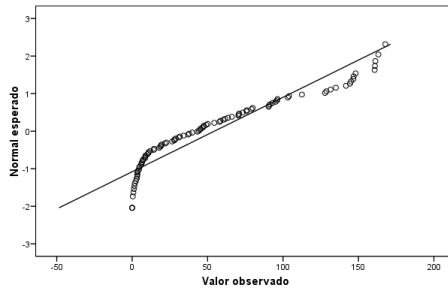
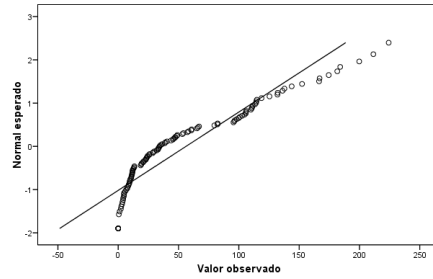


Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACIÓN
para PERIODO 02 (2002 - 2010)



Estación Túnel cero: Gráfico O-Q

Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACIÓN
para PERIODO 01 - (1993 - 2001)

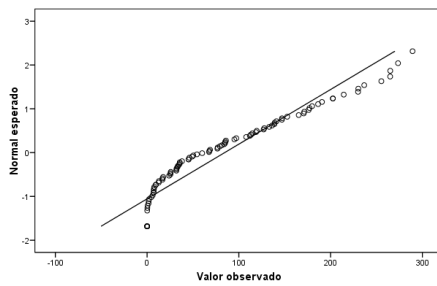
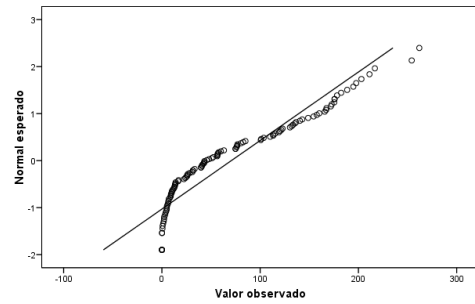


Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACIÓN
para PERIODO 02 - (2002 - 2010)



Estación Vilcashuamán: Gráfico O-Q

Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACIÓN
para PERIODO 01 - (1993 - 2010)

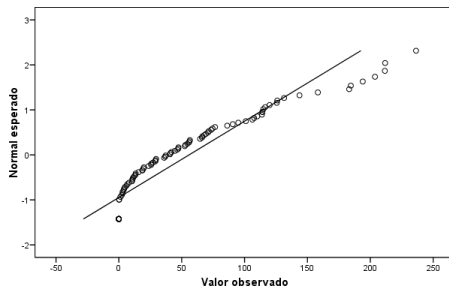
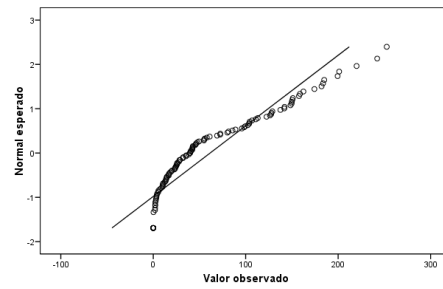


Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACIÓN
para PERIODO 02 - (2002 - 2010)



Estación Wayllapampa: Gráfico O-Q

Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACION
para PERIODO 01 - (1993 - 2001)

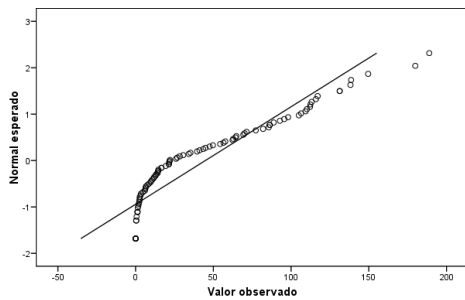
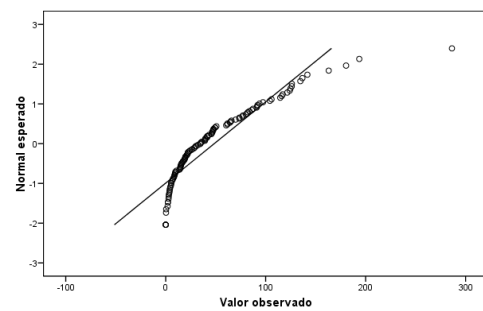


Gráfico Q-Q normal de PRECIPITACION
para PERIODO 02 - (2002 - 2010)



ANEXO N° 15: Prueba Kruskal Wallis

Estación Acobamba

Rangos				Estadísticos de contraste(a,b)	
	Grupo	N	Rango promedio		Precipitación
Precipitación	01	96	101.38	Chi-cuadrado	2.243
	02	120	114.20	gl	1
	Total	216		Sig. asintót.	.134

a Prueba de Kruskal-Wallis

b Variable de agrupación: Grupo

Estación Andahuaylas

Rangos				Estadísticos de contraste(a,b)	
	Grupo	N	Rango promedio		Precipitación
Precipitación	01	96	107.33	Chi-cuadrado	.061
	02	120	109.44	gl	1
	Total	216		Sig. asintót.	.805

Estación Ayacucho

Rangos				Estadísticos de contraste(a,b)	
	Grupo	N	Rango promedio		Precipitación
Precipitación	01	96	108.99	Chi-cuadrado	.011
	02	120	108.10	gl	1
	Total	216		Sig. asintót.	.917

Estación Choclocha

Rangos				Estadísticos de contraste(a,b)	
	Grupo	N	Rango promedio		Precipitación
Precipitación	01	96	112.39	Chi-cuadrado	.670
	02	120	105.39	gl	1
	Total	216		Sig. asintót.	.413

Estación Huancapi

Rangos				Estadísticos de contraste(a,b)	
	Grupo	N	Rango promedio		Precipitación
Precipitación	A	96	106.67	Chi-cuadrado	.149
	B	120	109.97	gl	1
	Total	216		Sig. asintót.	.700

Estación Huancavelica

Rangos

	Grupo	N	Rango promedio
Precipitación	A	96	109.67
	B	120	107.56
	Total	216	

Estadísticos de contraste(a,b)

	Precipitación
Chi-cuadrado	.061
gl	1
Sig. asintót.	.805

Estación La Quinua

Rangos

	Grupo	N	Rango promedio
Precipitación	A	96	107.30
	B	120	109.46
	Total	216	

Estadísticos de contraste(a,b)

	Precipitación
Chi-cuadrado	.064
gl	1
Sig. asintót.	.800

a Prueba de Kruskal-Wallis

b Variable de agrupación: Grupo

Estación Lircay

Rangos

	Grupo	N	Rango promedio
Precipitación	A	96	107.54
	B	120	109.27
	Total	216	

Estadísticos de contraste(a,b)

	Precipitación
Chi-cuadrado	.041
gl	1
Sig. asintót.	.840

Estación Pampas

Rangos

	Grupo	N	Rango promedio
Precipitación	A	96	108.17
	B	120	108.77
	Total	216	

Estadísticos de contraste(a,b)

	Precipitación
Chi-cuadrado	.005
gl	1
Sig. asintót.	.944

a Prueba de Kruskal-Wallis

b Variable de agrupación: Grupo

Estación San Pedro de cachi

Rangos			Estadísticos de contraste(a,b)	
Grupo	N	Rango promedio		Precipitación
Precipitación A	96	107.75	Chi-cuadrado	.025
B	120	109.10	gl	1
Total	216		Sig. asintót.	.875

a Prueba de Kruskal-Wallis

b Variable de agrupación: Grupo

Estación Túnel Cero

Rangos			Estadísticos de contraste(a,b)	
Grupo	N	Rango promedio		Precipitación
Precipitación A	96	113.11	Chi-cuadrado	.942
B	120	104.81	gl	1
Total	216		Sig. asintót.	.332

Estación Vilcashuaman

Rangos			Estadísticos de contraste(a,b)	
Grupo	N	Rango promedio		Precipitación
Precipitación A	96	105.16	Chi-cuadrado	.495
B	120	111.18	gl	1
Total	216		Sig. asintót.	.482

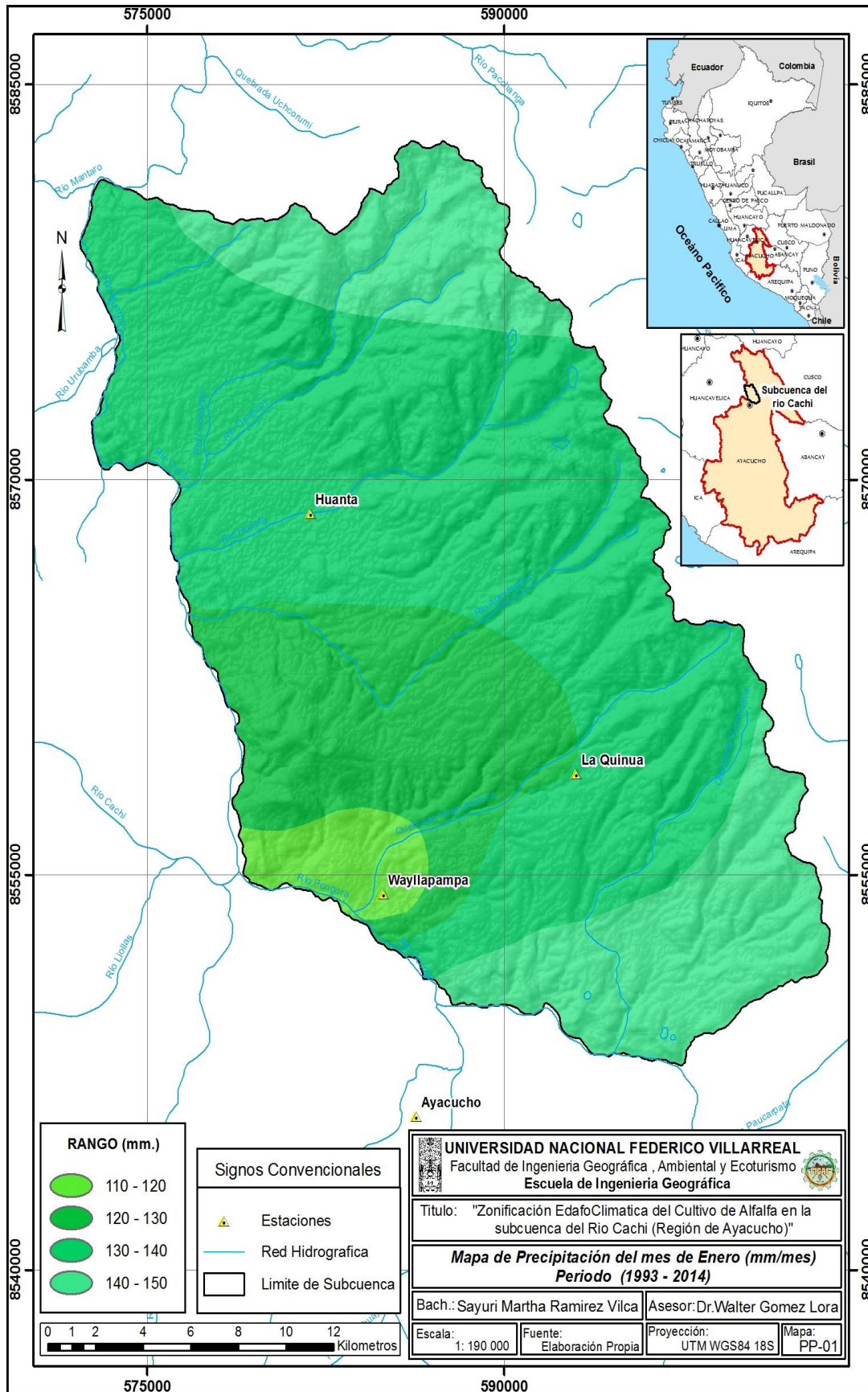
Estación Wayllapampa

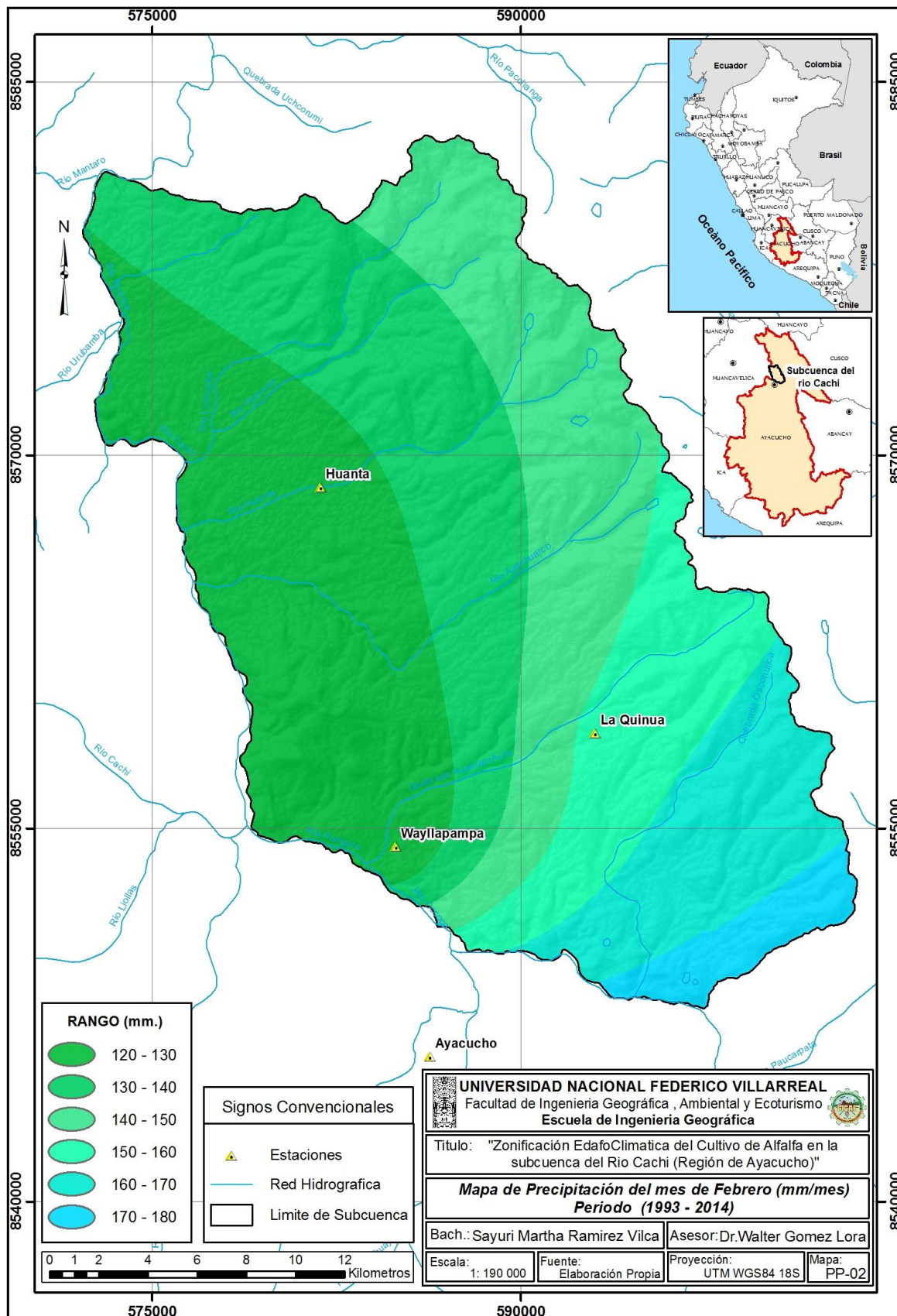
Rangos			Estadísticos de contraste(a,b)	
Grupo	N	Rango promedio		Precipitación
Precipitación 01	96	102.83	Chi-cuadrado	1.421
02	120	113.03	gl	1
Total	216		Sig. asintót.	.233

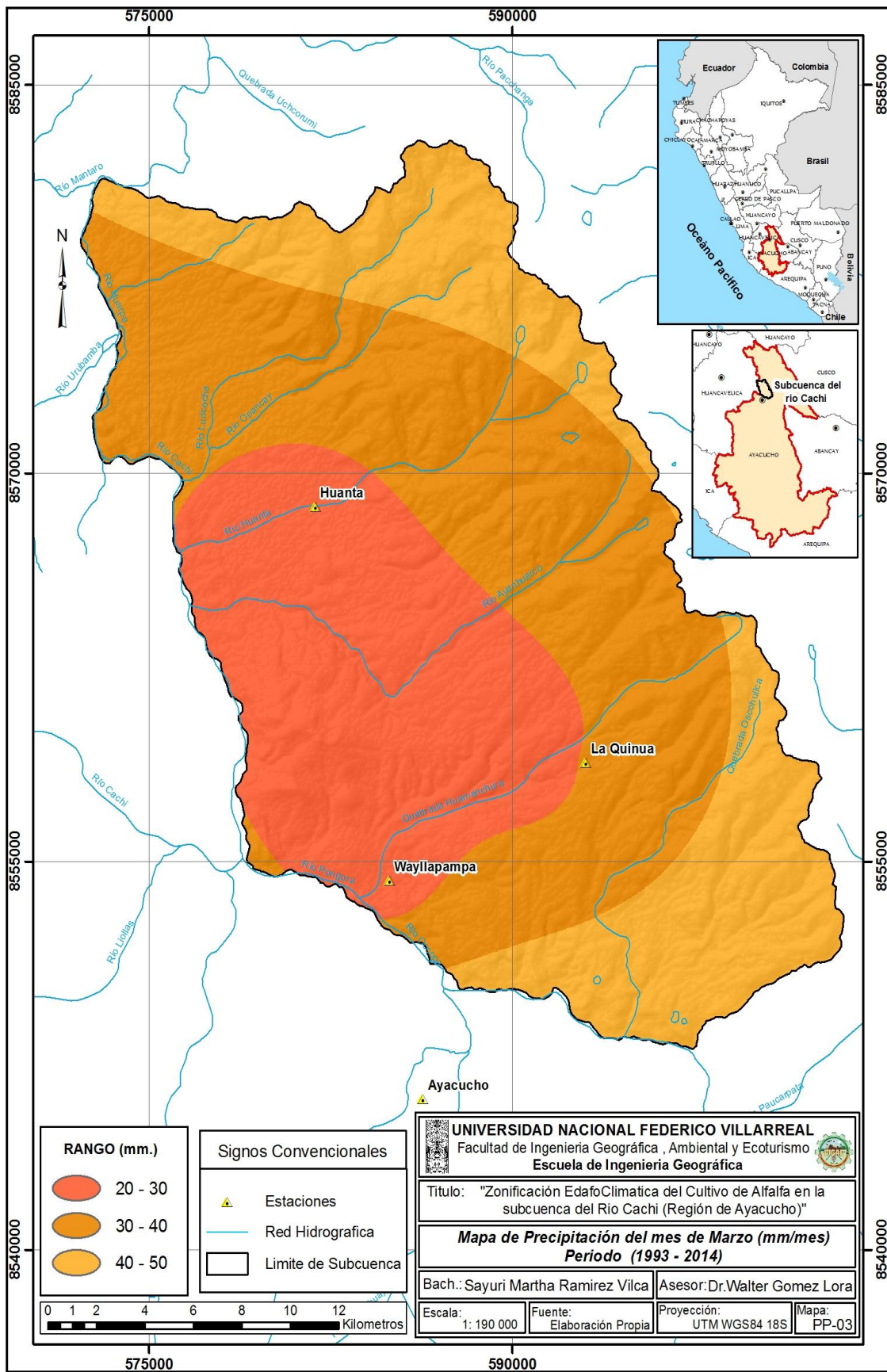
a Prueba de Kruskal-Wallis

b Variable de agrupación: Grupo

ANEXO N° 16: Mapas de Precipitación a nivel mensual (1993 – 2014)

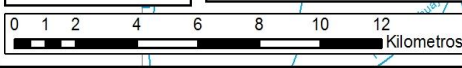




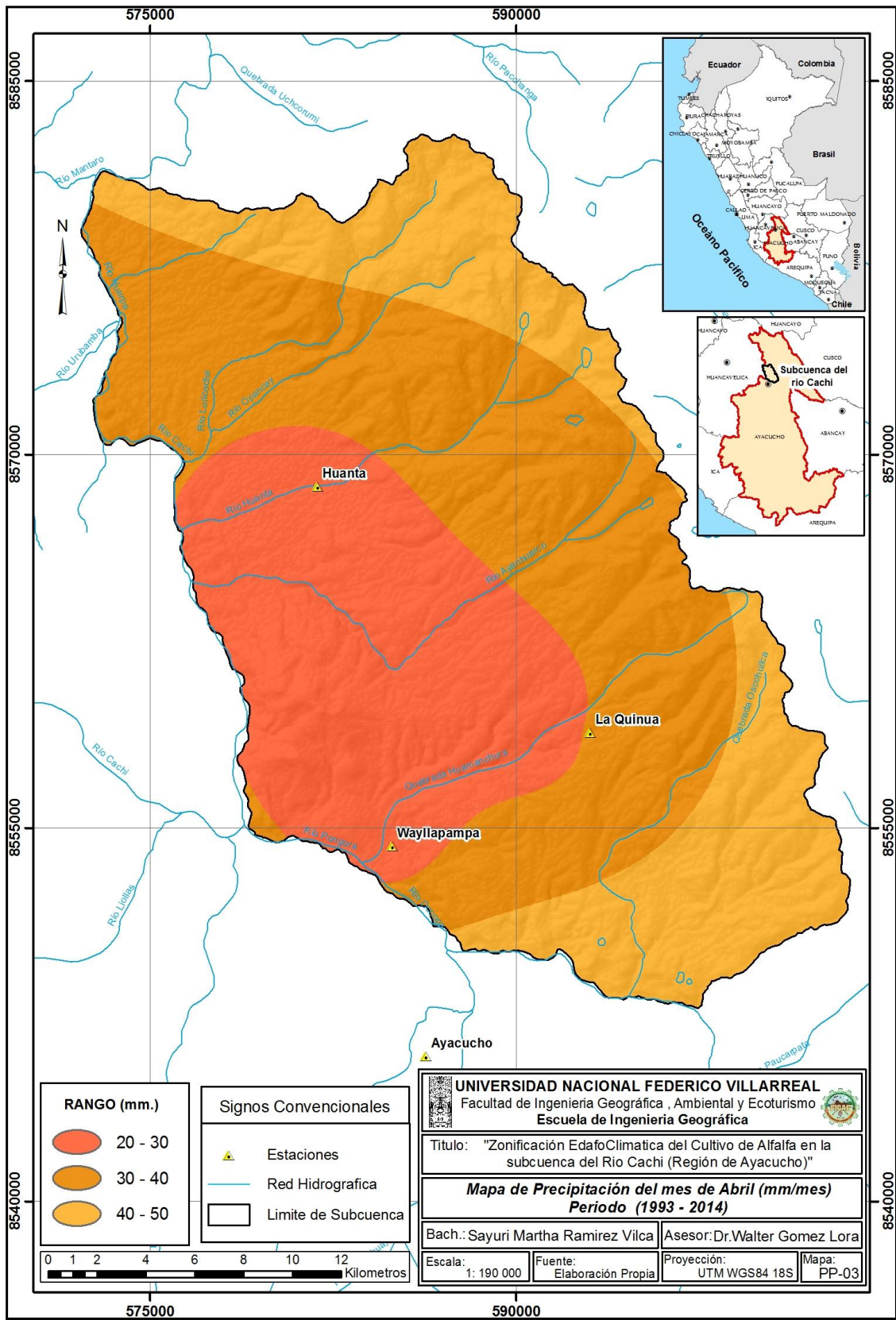


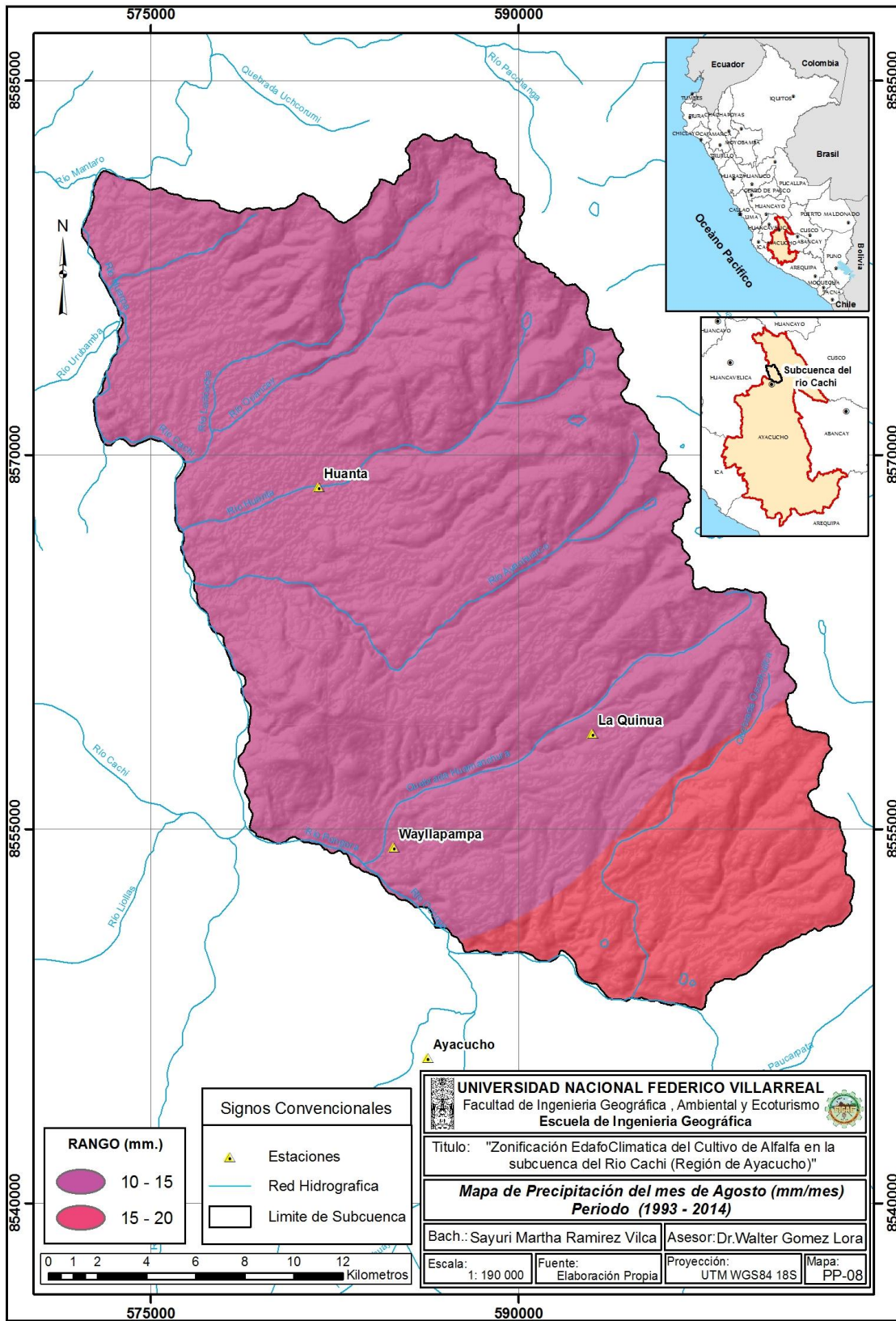
RANGO (mm.)	
	20 - 30
	30 - 40
	40 - 50

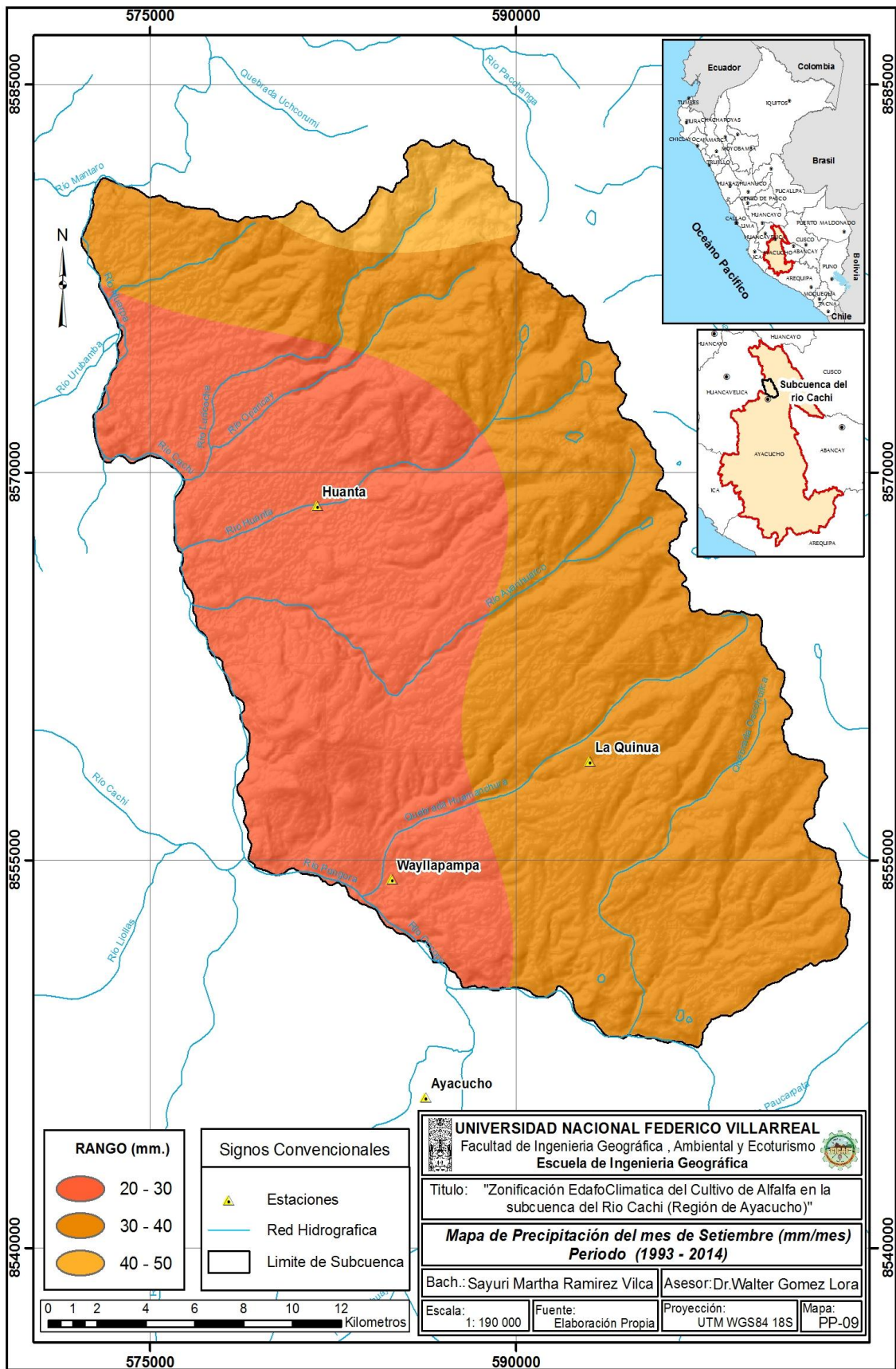
Signos Convencionales	
	Estaciones
	Red Hidrografica
	Limite de Subcuenca

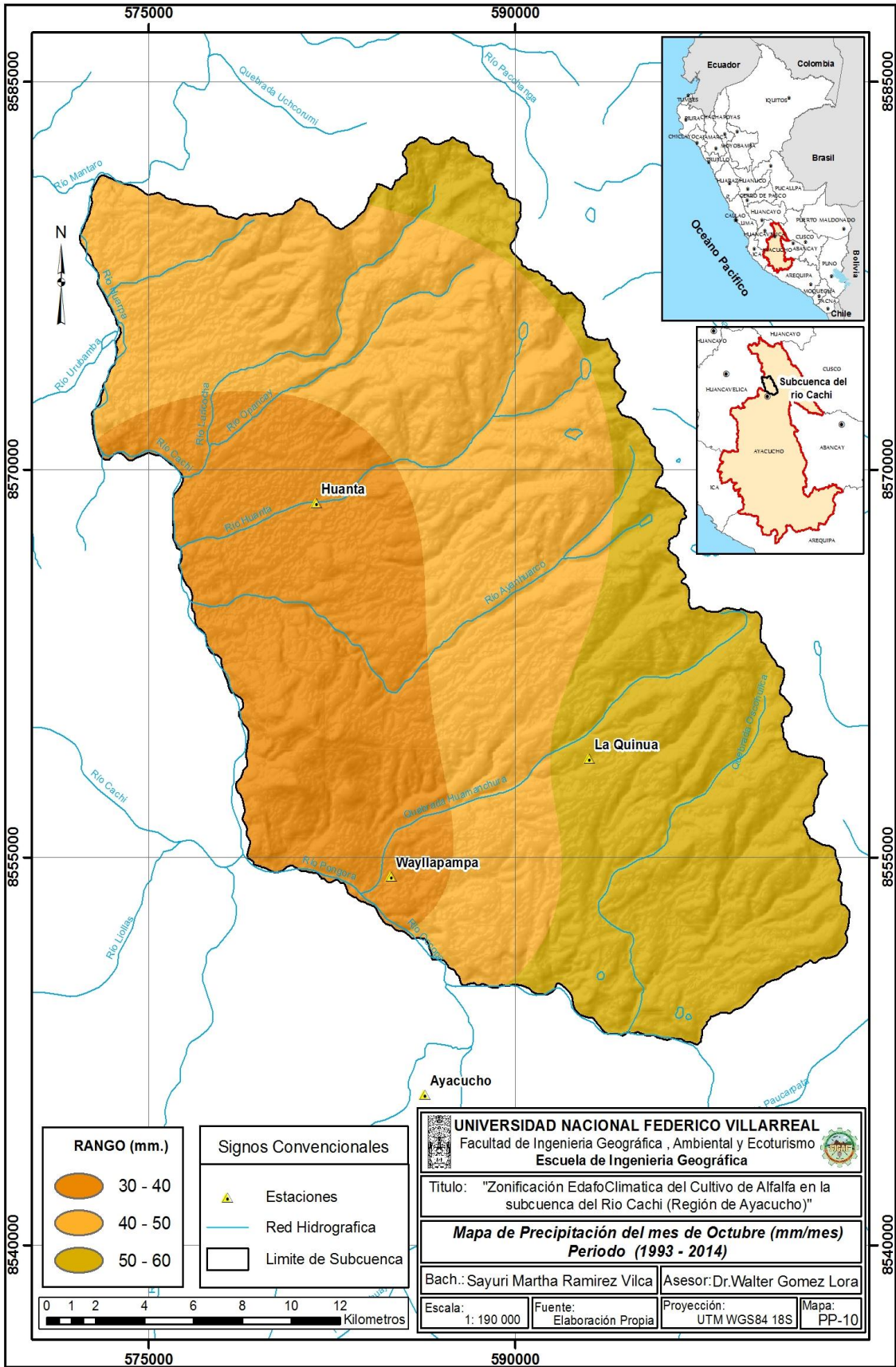


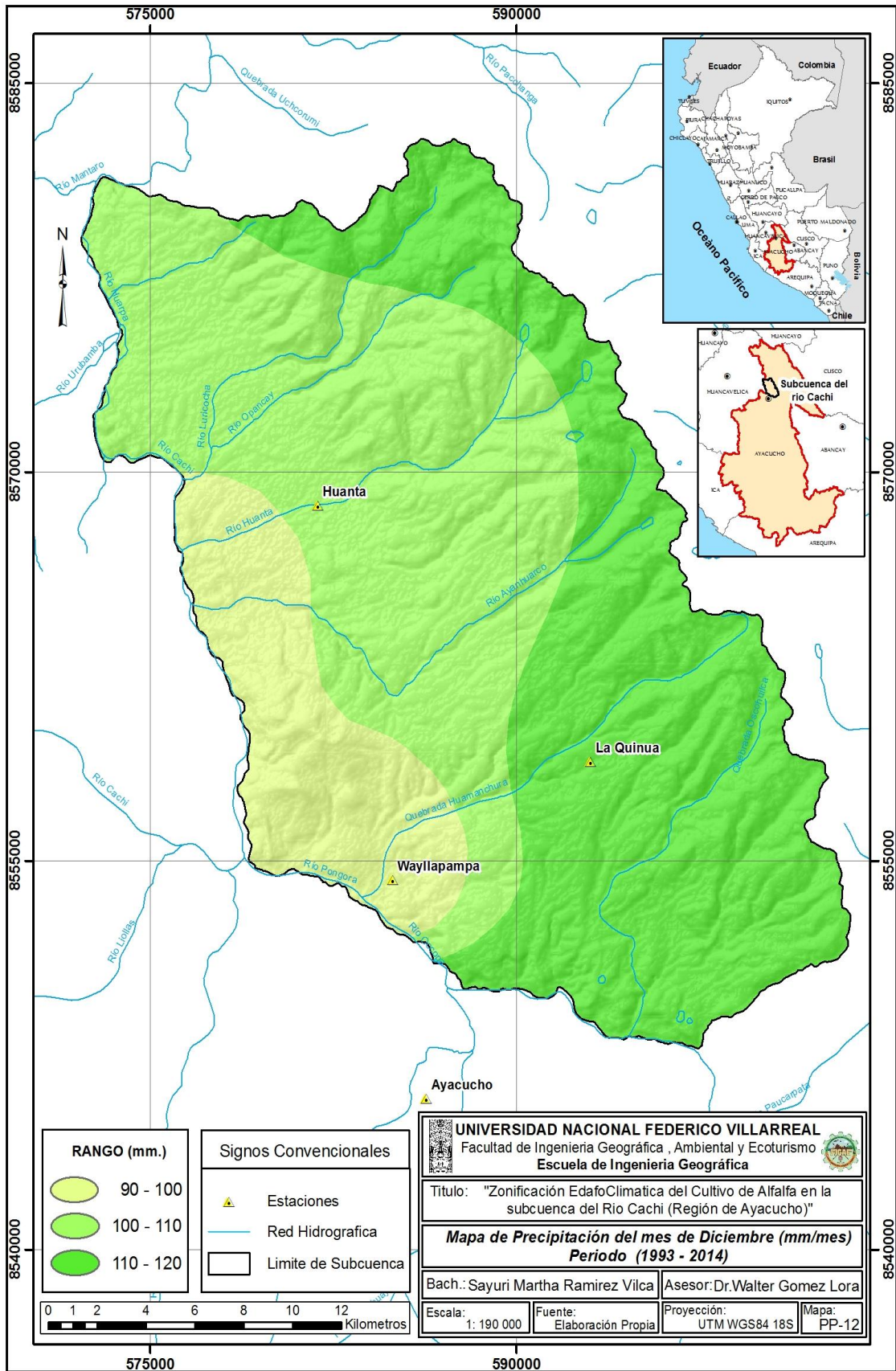
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo Escuela de Ingeniería Geográfica			
Título: "Zonificación Edafoclimática del Cultivo de Alfalfa en la subcuenca del Río Cachi (Región de Ayacucho)"			
Mapa de Precipitación del mes de Marzo (mm/mes) Periodo (1993 - 2014)			
Bach.: Sayuri Martha Ramirez Vilca		Asesor: Dr. Walter Gomez Lora	
Escala: 1: 190 000	Fuente: Elaboración Propia	Proyección: UTM WGS84 18S	Mapa: PP-03



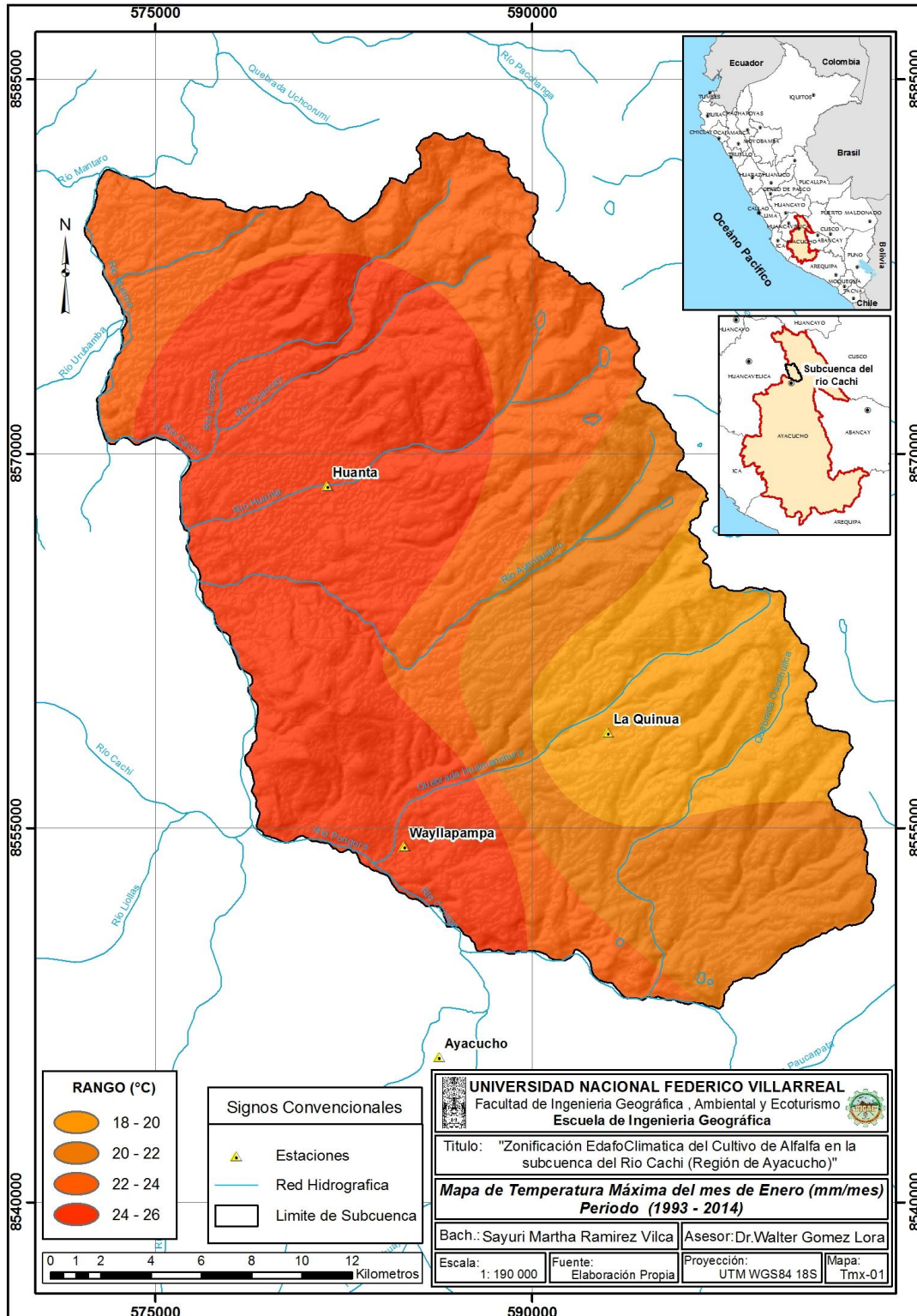


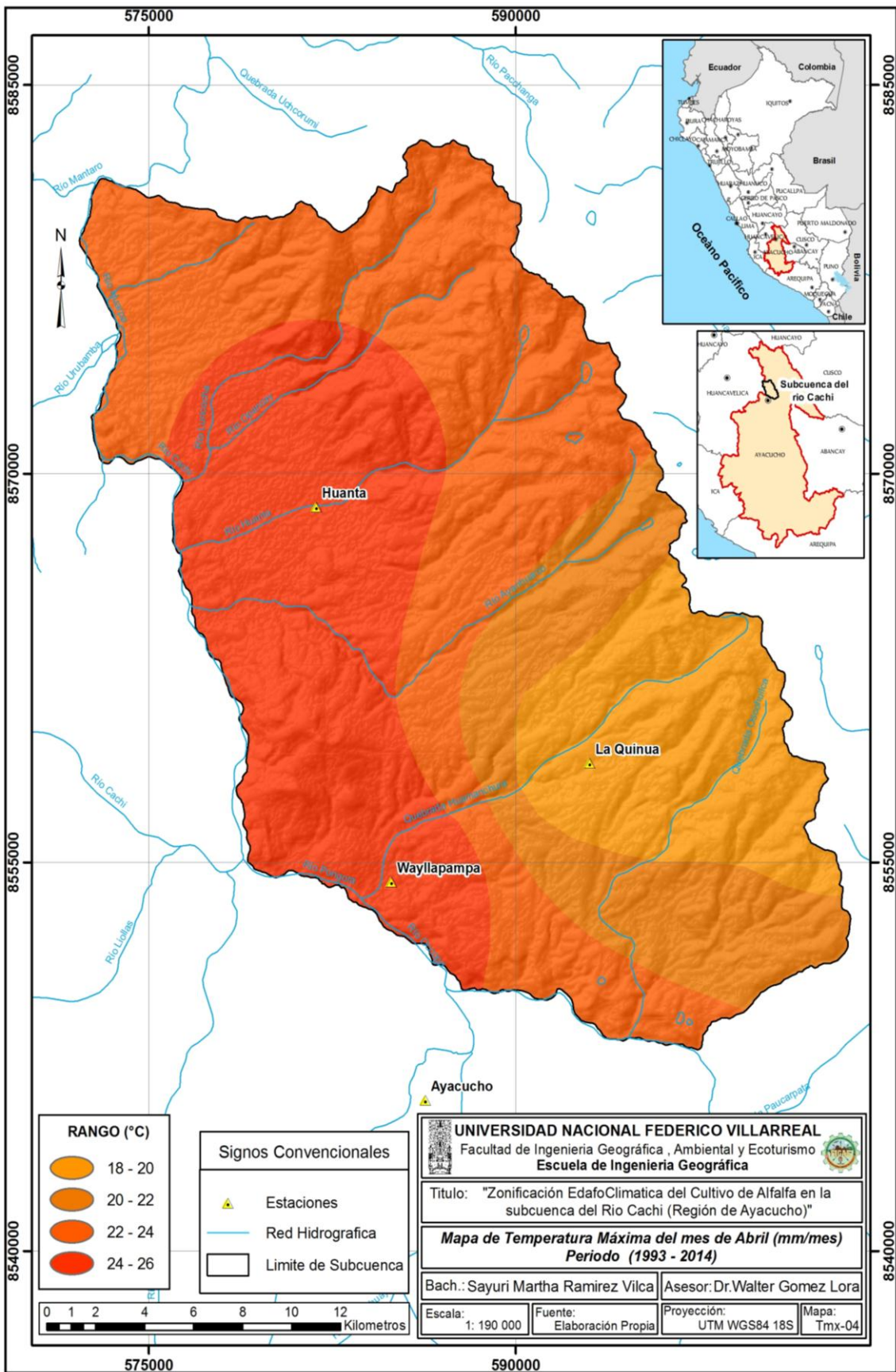


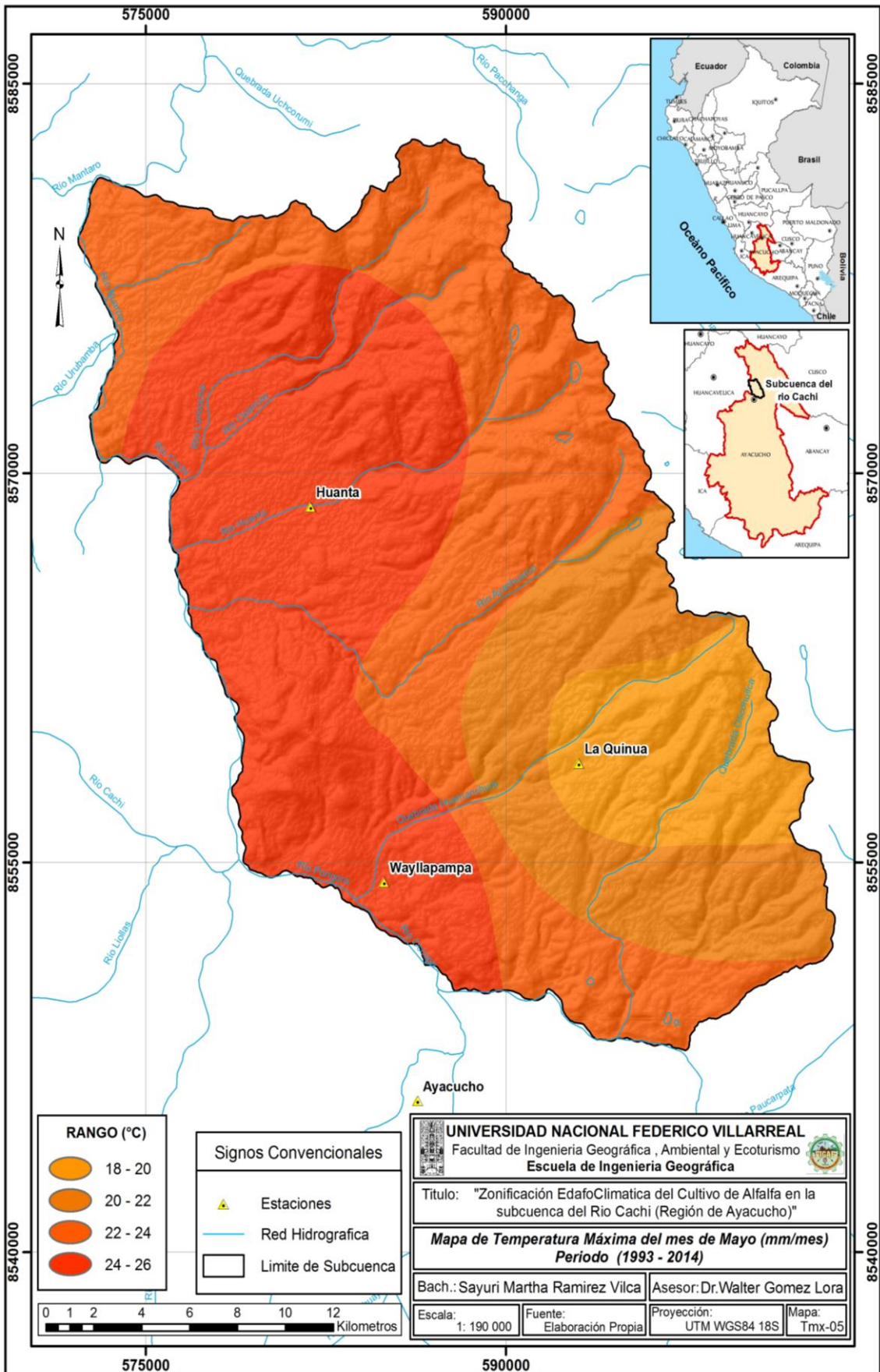


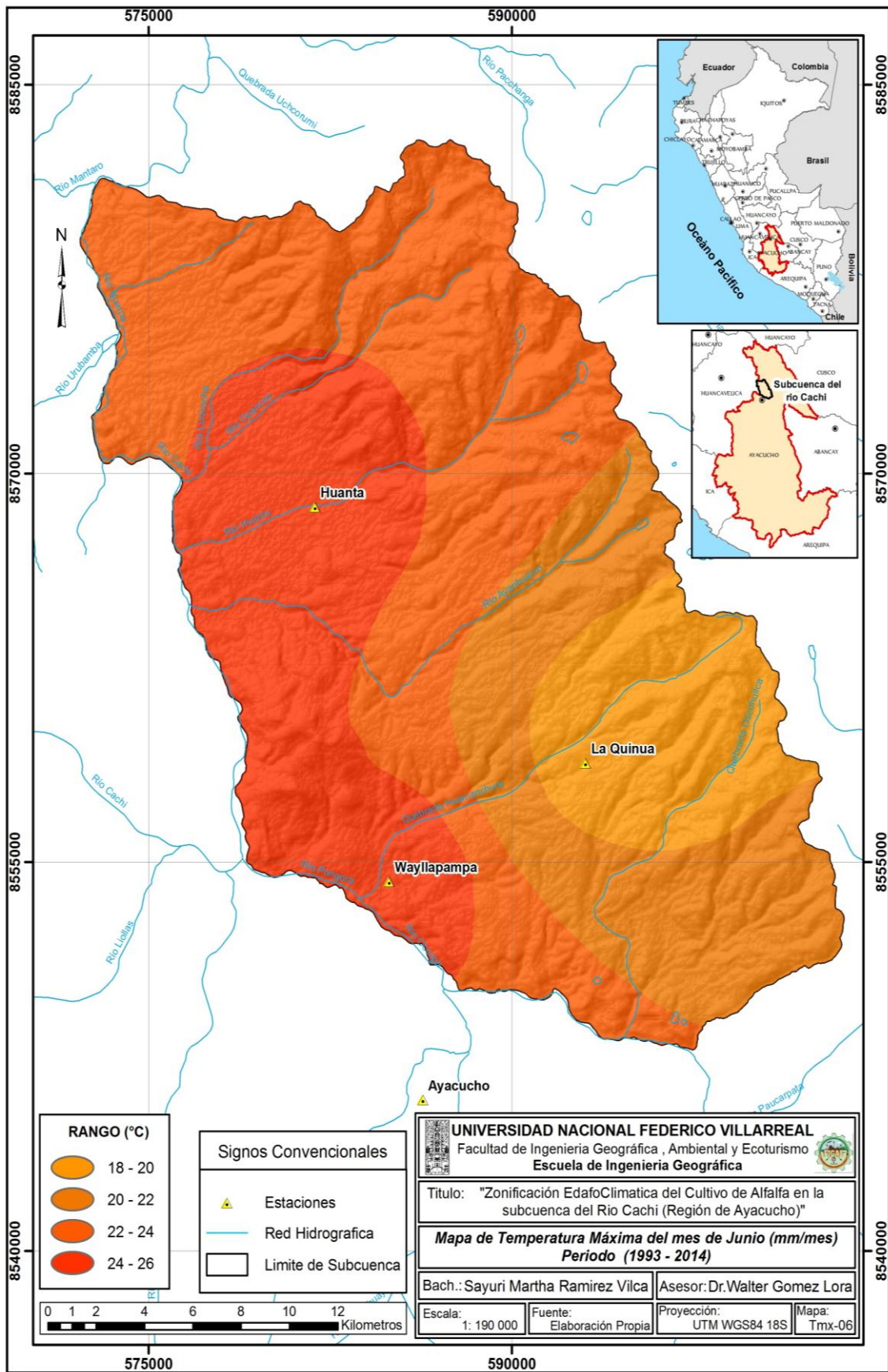


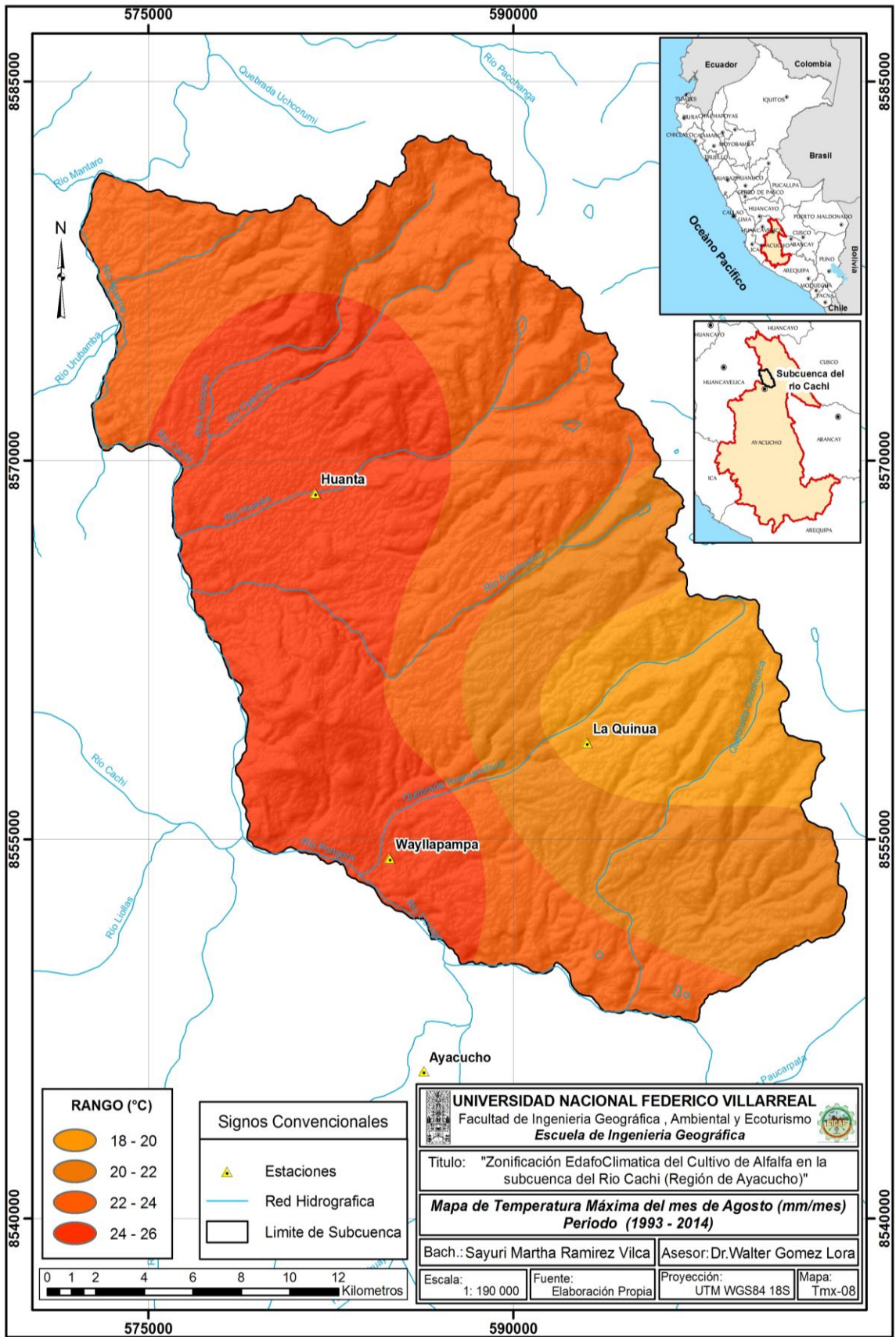
**ANEXO N° 17: Promedio Multianual de Temperatura Maxima del Aire
(1993 – 2014)**









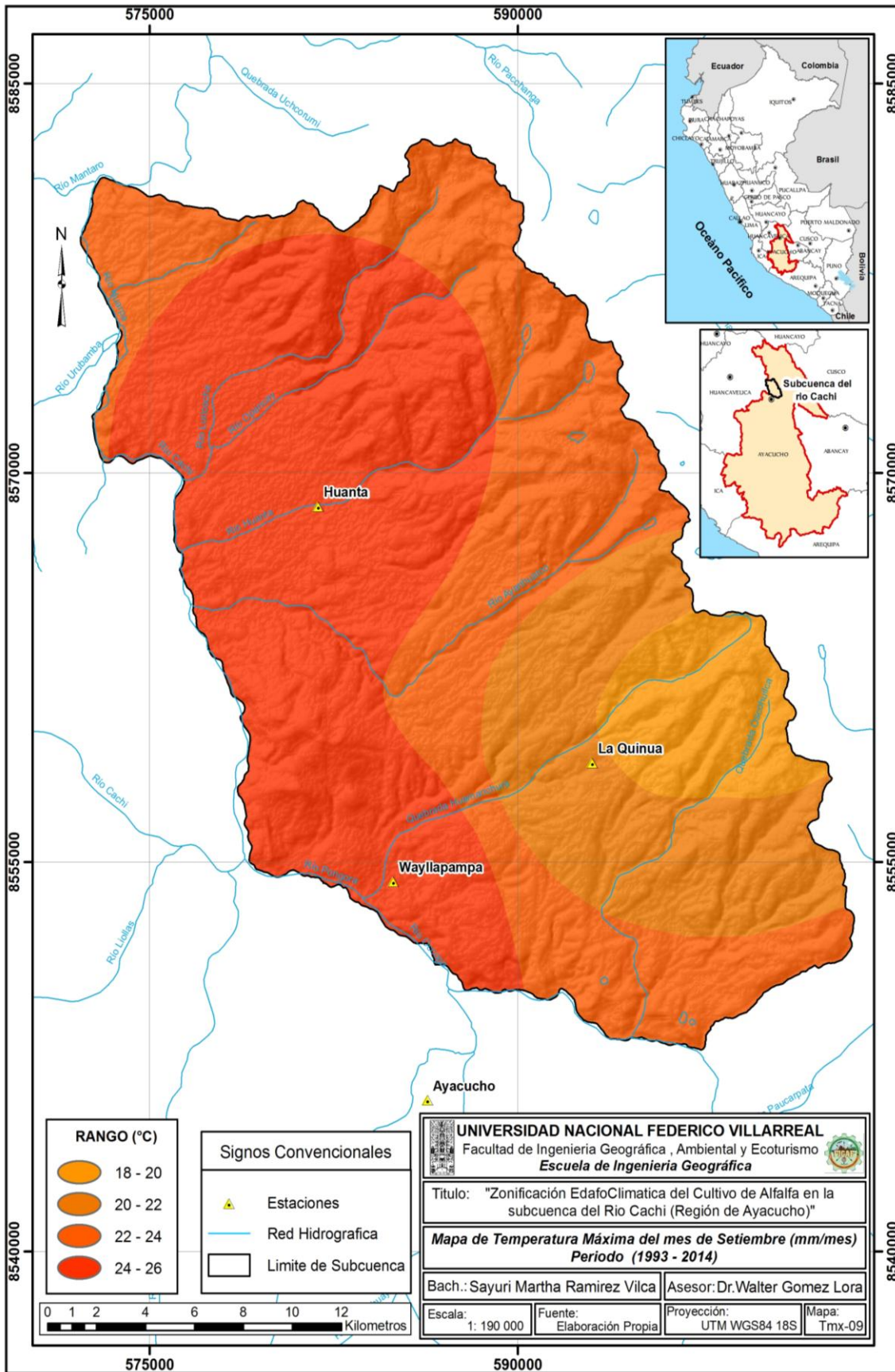


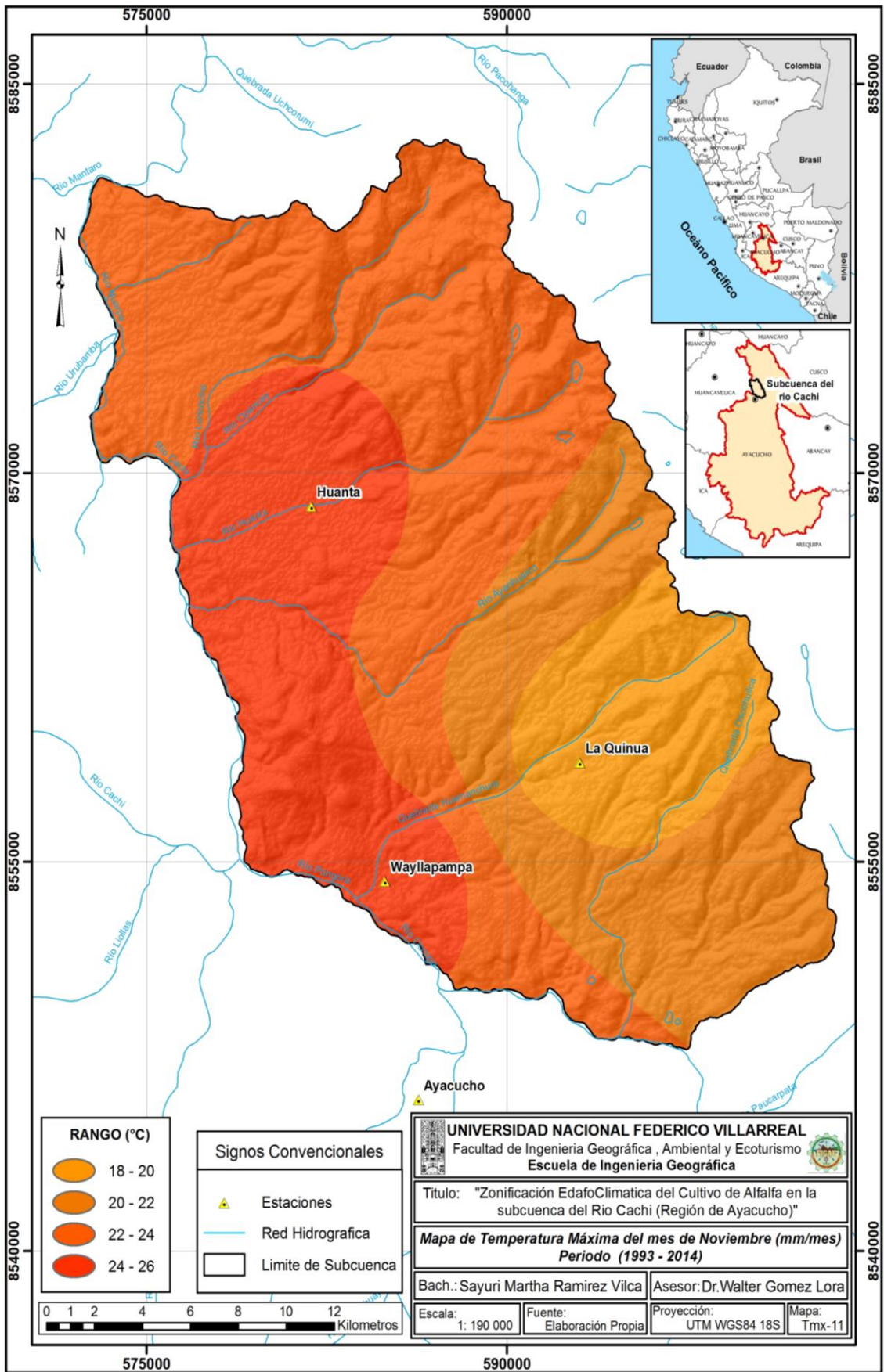
RANGO (°C)	
	18 - 20
	20 - 22
	22 - 24
	24 - 26

Signos Convencionales	
	Estaciones
	Red Hidrografica
	Limite de Subcuenca



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo <i>Escuela de Ingeniería Geográfica</i>			
Titulo: "Zonificación EdafoClimatica del Cultivo de Alfalfa en la subcuenca del Rio Cachi (Región de Ayacucho)"			
Mapa de Temperatura Máxima del mes de Agosto (mm/mes) Periodo (1993 - 2014)			
Bach.: Sayuri Martha Ramirez Vilca		Asesor: Dr. Walter Gomez Lora	
Escala: 1: 190 000	Fuente: Elaboración Propia	Proyección: UTM WGS84 18S	Mapa: Tmx-08

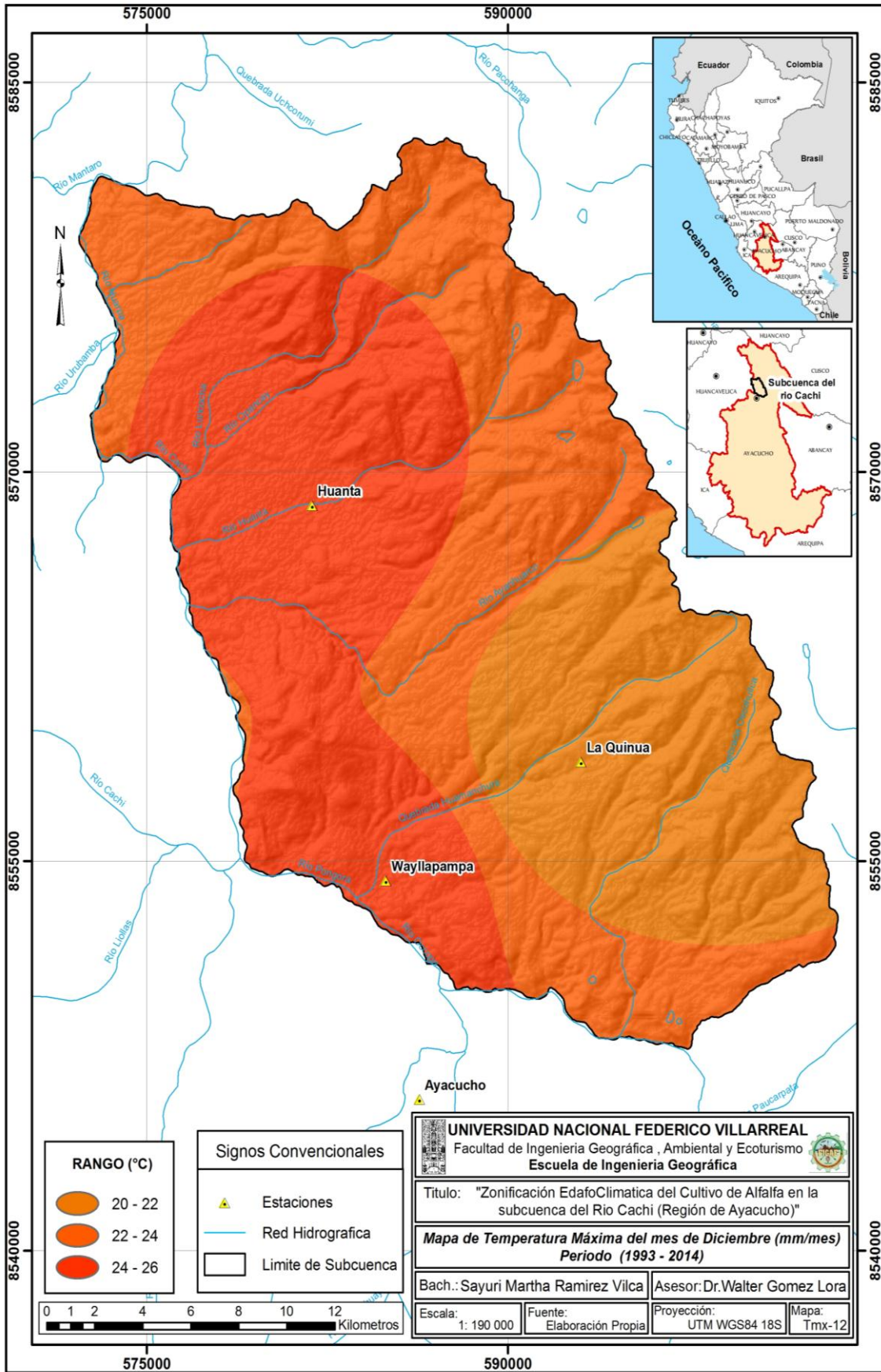




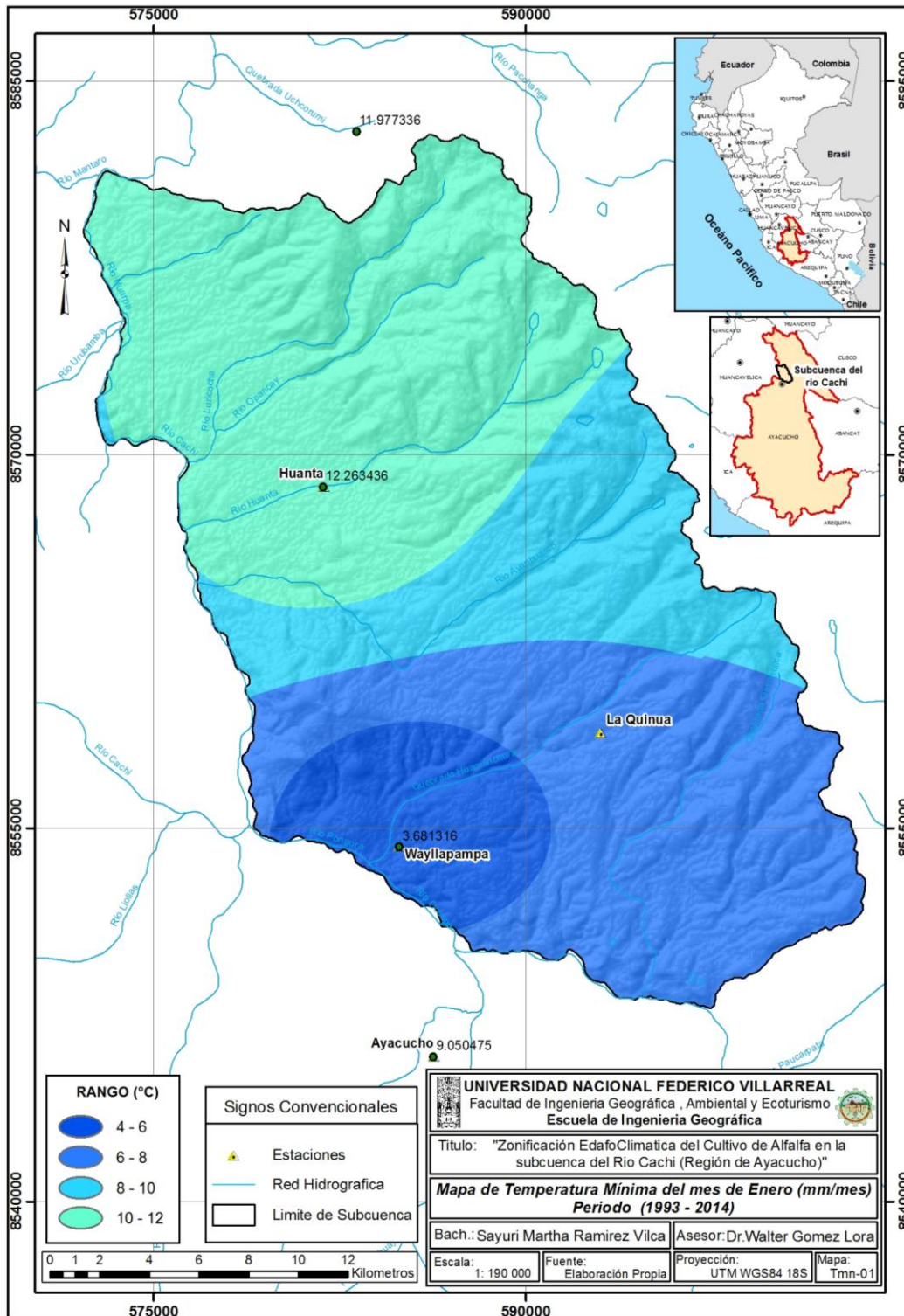
RANGO (°C)	
	18 - 20
	20 - 22
	22 - 24
	24 - 26

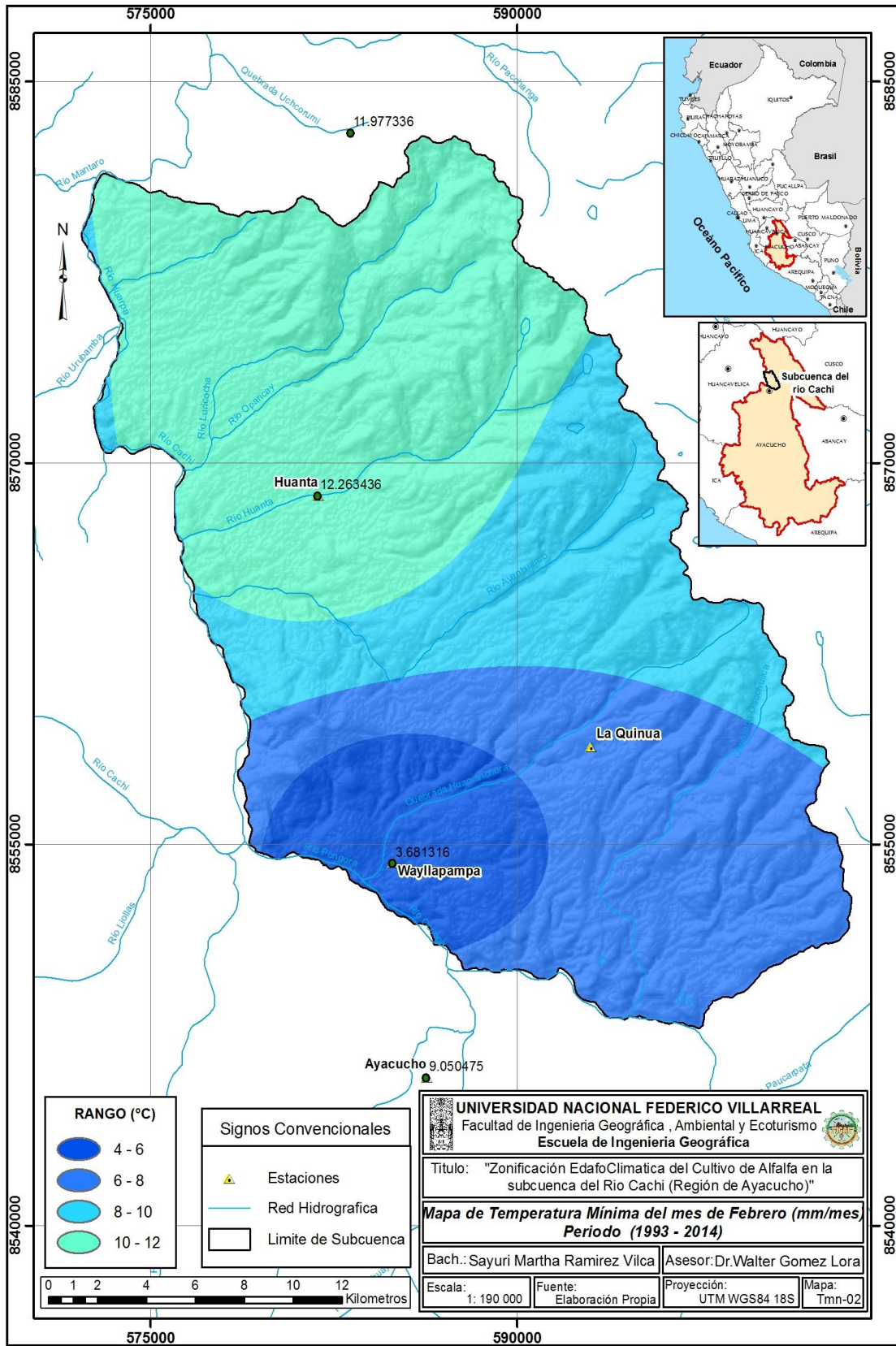
Signos Convencionales	
	Estaciones
	Red Hidrografica
	Limite de Subcuenca

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo Escuela de Ingeniería Geográfica			
Titulo: "Zonificación Edafoclimática del Cultivo de Alfalfa en la subcuenca del Rio Cachi (Región de Ayacucho)"			
Mapa de Temperatura Máxima del mes de Noviembre (mm/mes) Periodo (1993 - 2014)			
Bach.: Sayuri Martha Ramirez Vilca		Asesor: Dr. Walter Gomez Lora	
Escala: 1: 190 000	Fuente: Elaboración Propia	Proyección: UTM WGS84 18S	Mapa: Tmx-11



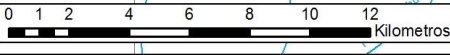
ANEXO N° 18: Promedio Multianual de Temperatura Mínima del Aire (1993 – 2014)



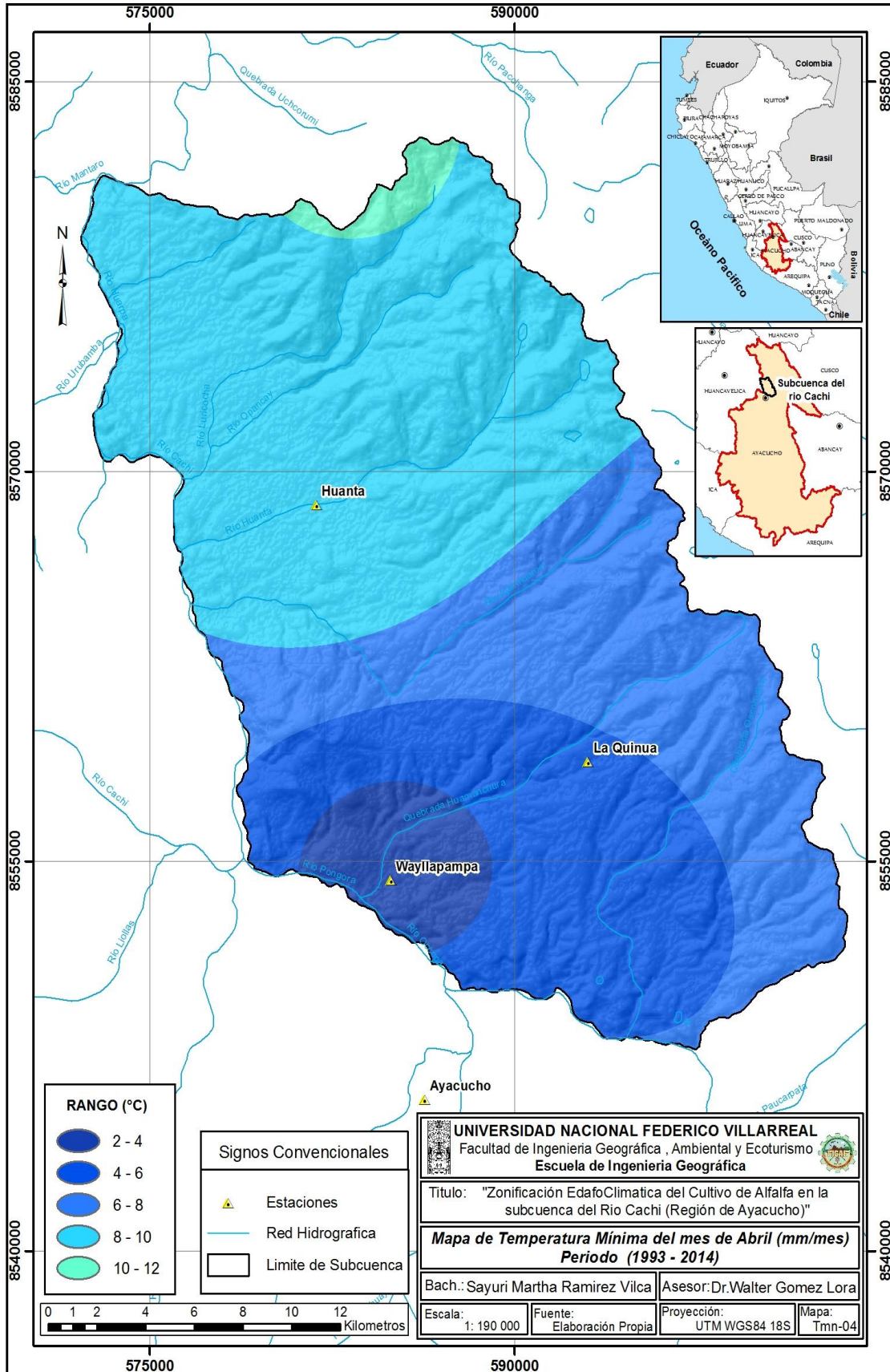


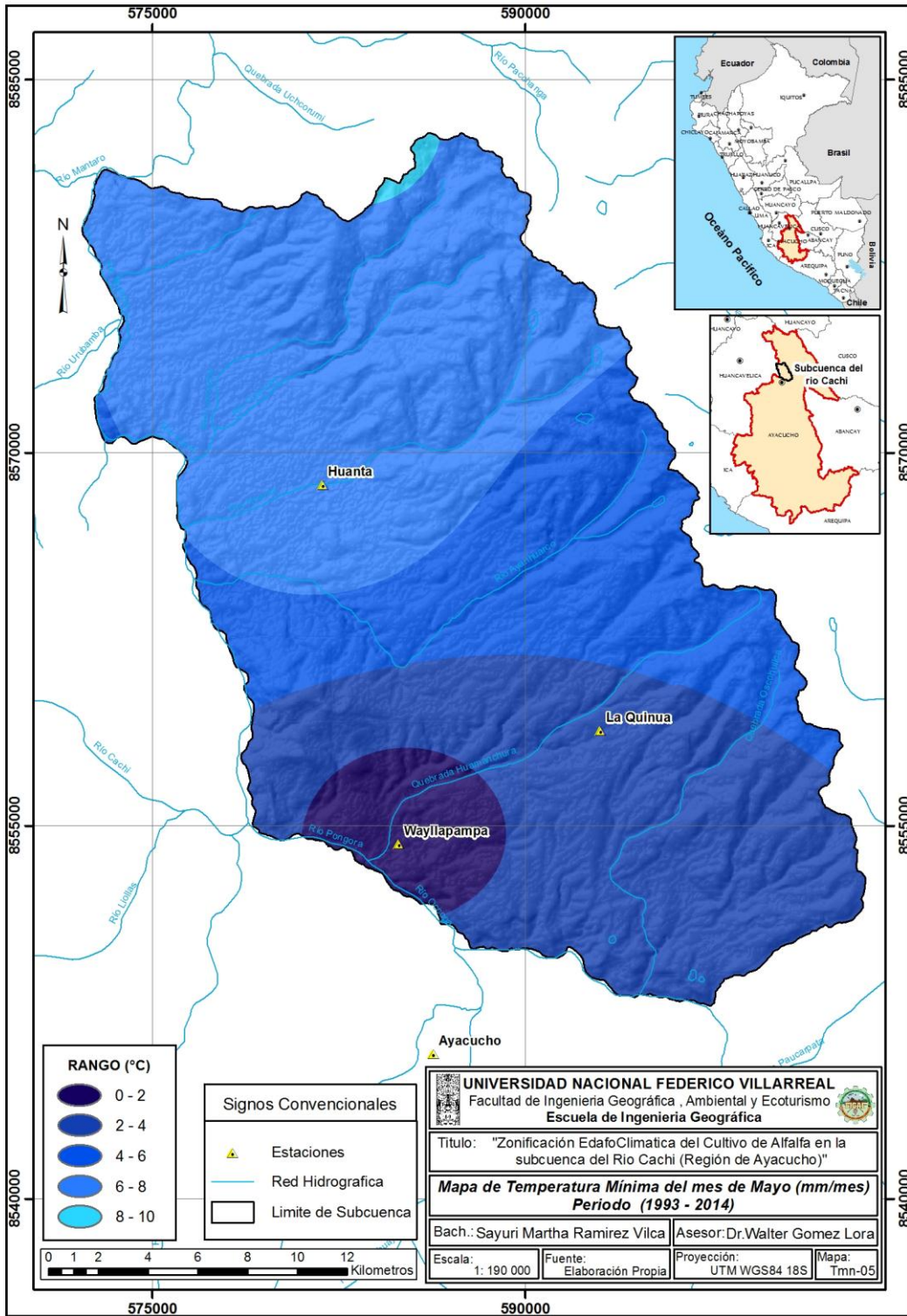
RANGO (°C)	
	4 - 6
	6 - 8
	8 - 10
	10 - 12

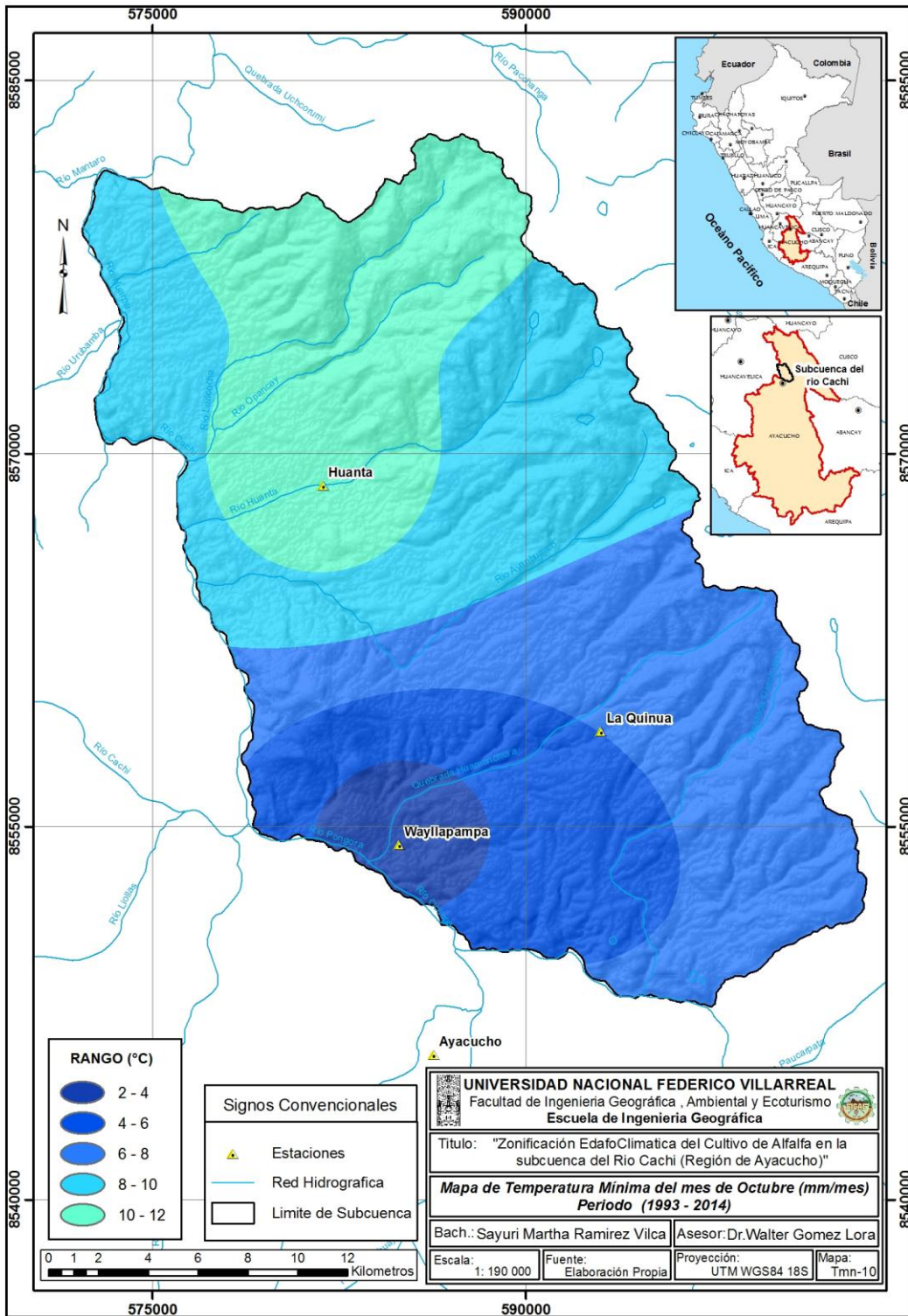
Signos Convencionales	
	Estaciones
	Red Hidrografica
	Limite de Subcuenca

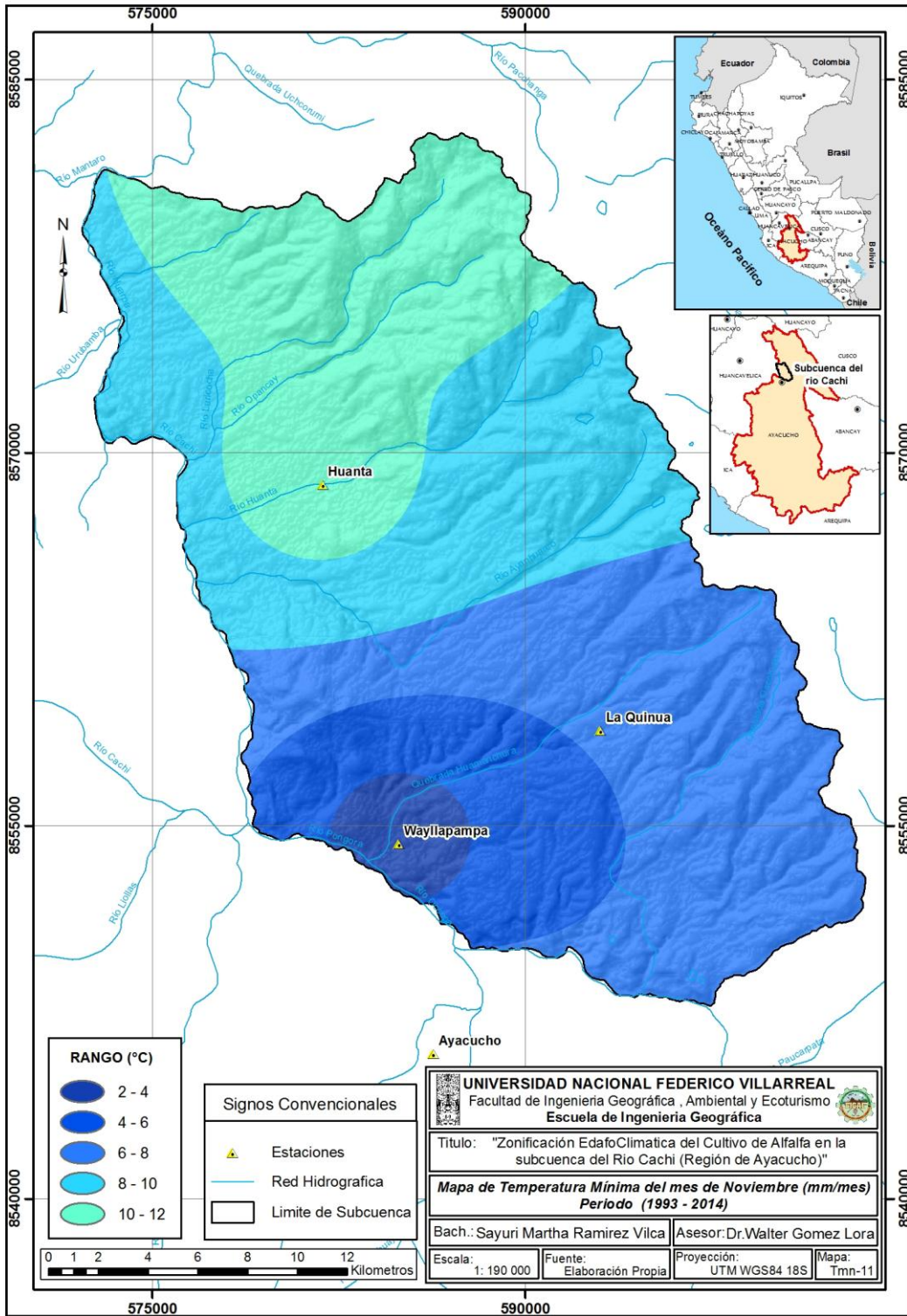


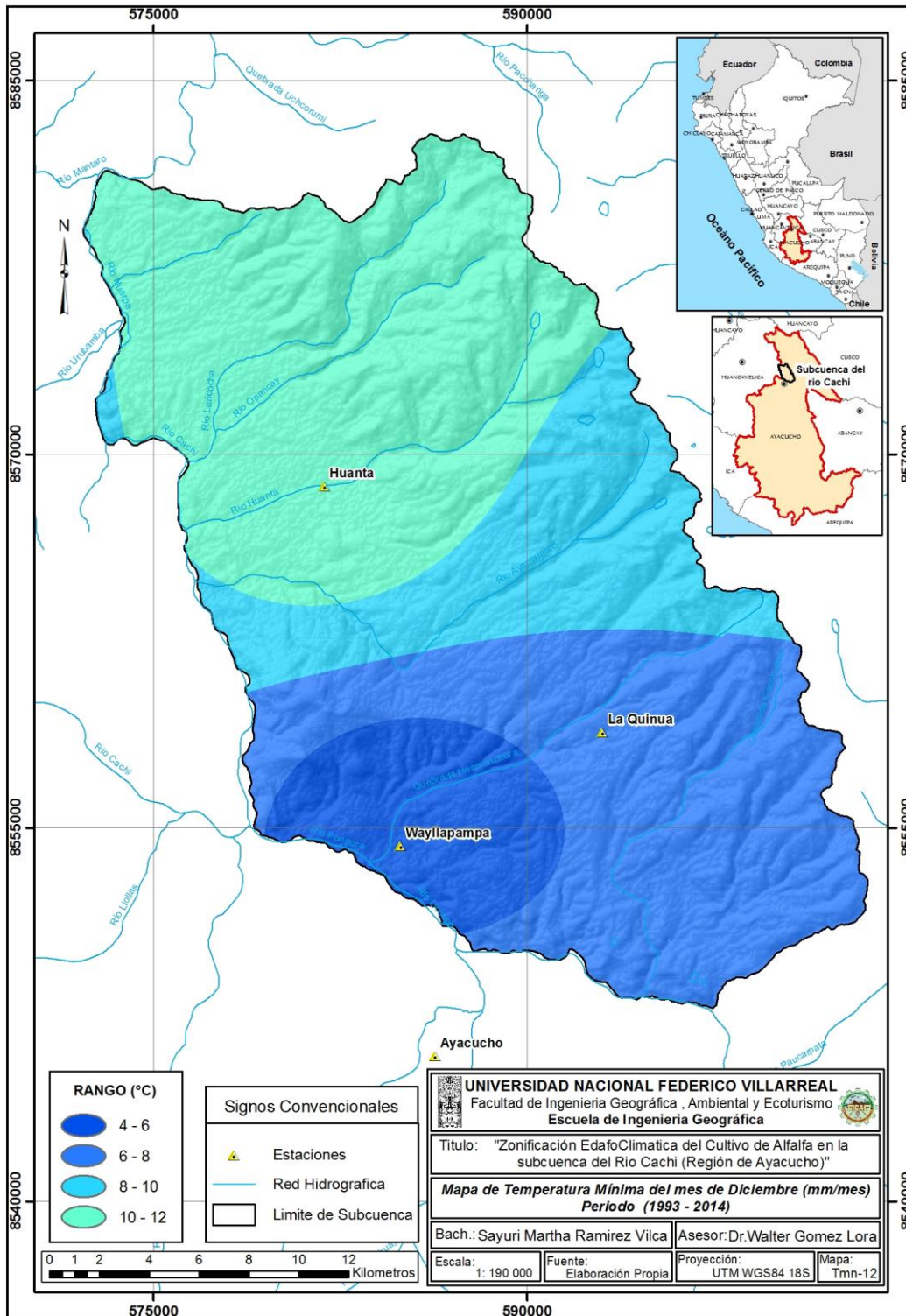
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo Escuela de Ingeniería Geográfica			
Titulo: "Zonificación Edafoclimática del Cultivo de Alfalfa en la subcuenca del Rio Cachi (Región de Ayacucho)"			
Mapa de Temperatura Mínima del mes de Febrero (mm/mes, Periodo (1993 - 2014))			
Bach.: Sayuri Martha Ramirez Vilca		Asesor: Dr. Walter Gomez Lora	
Escala: 1: 190 000	Fuente: Elaboración Propia	Proyección: UTM WGS84 18S	Mapa: Tmn-02



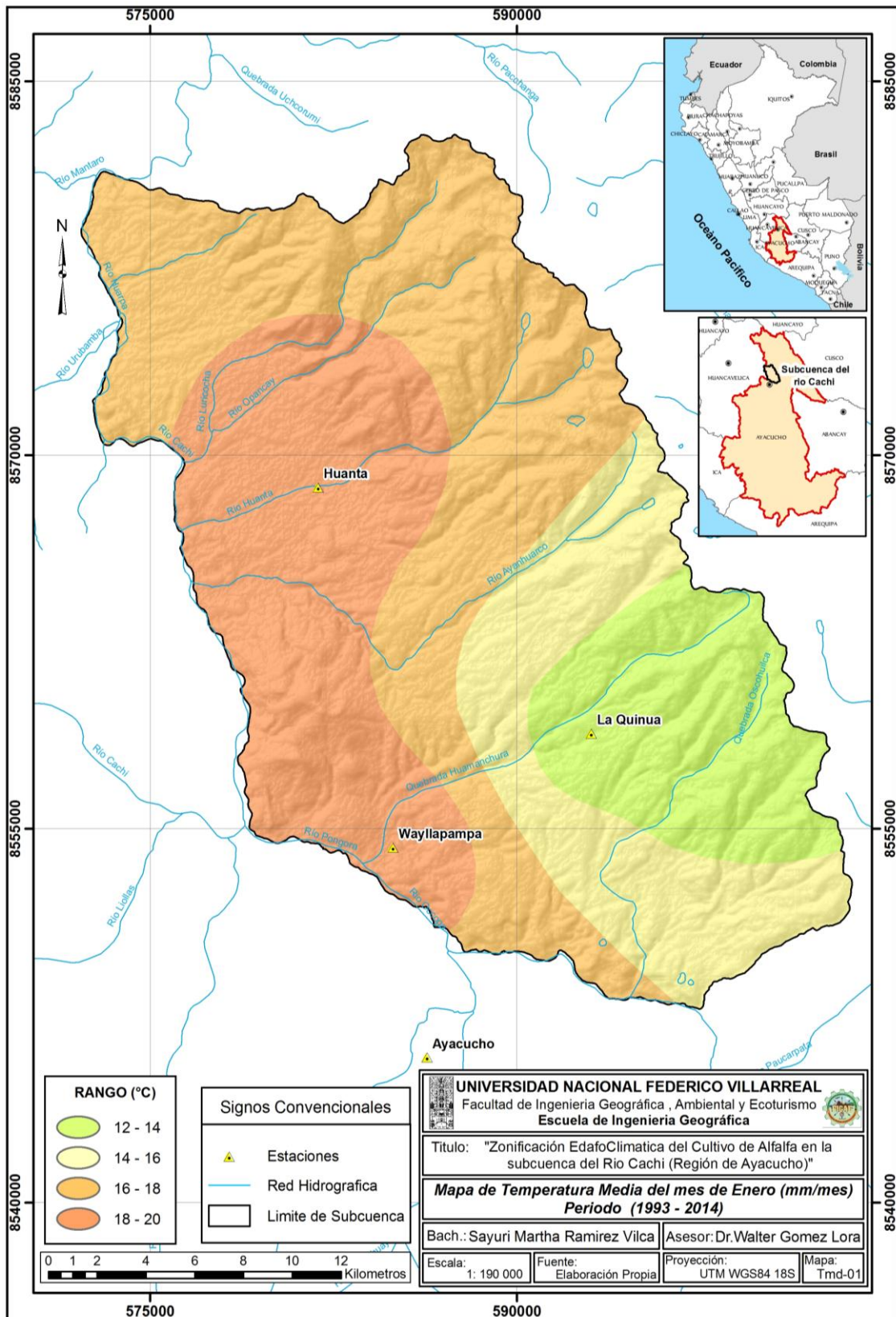


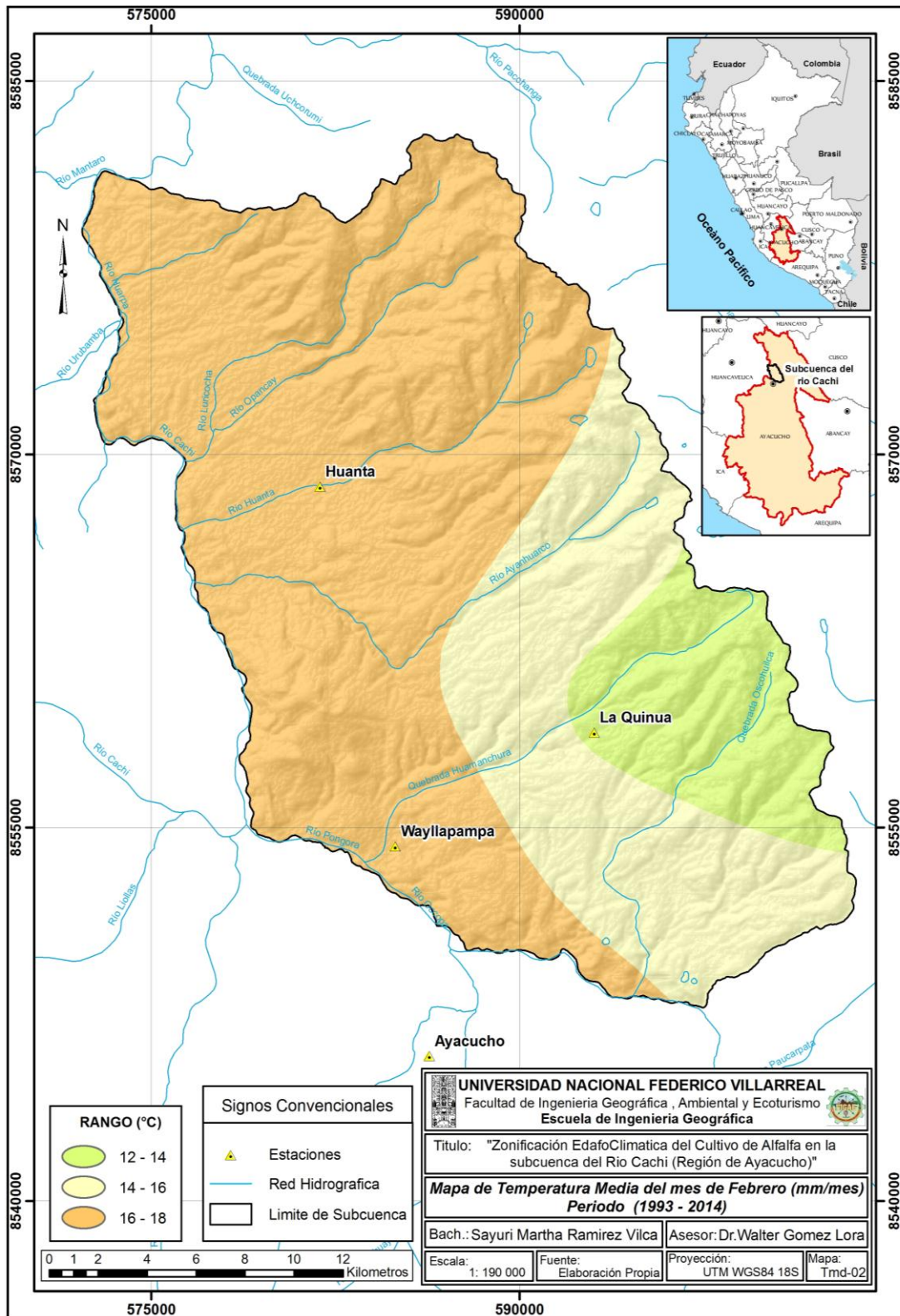


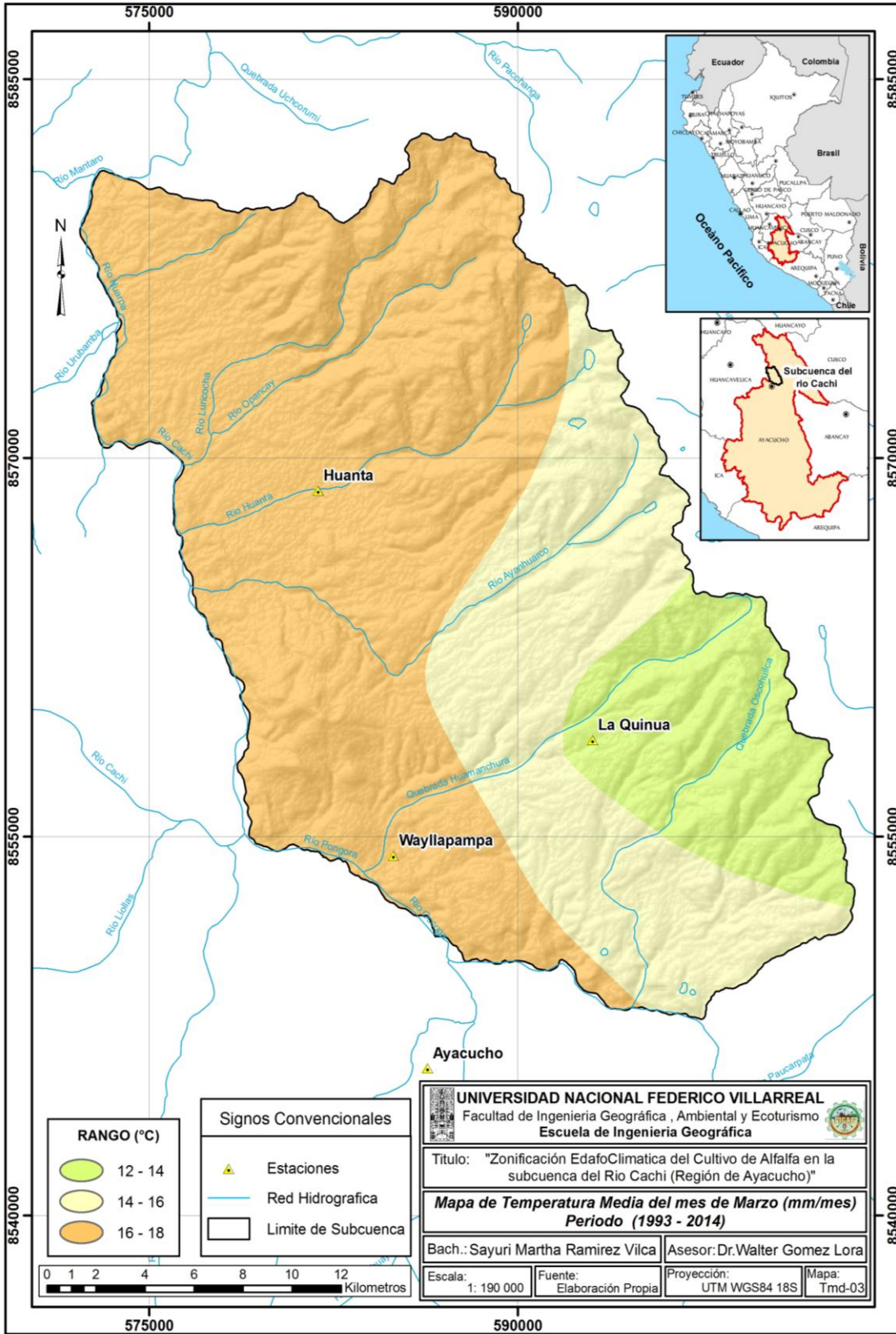


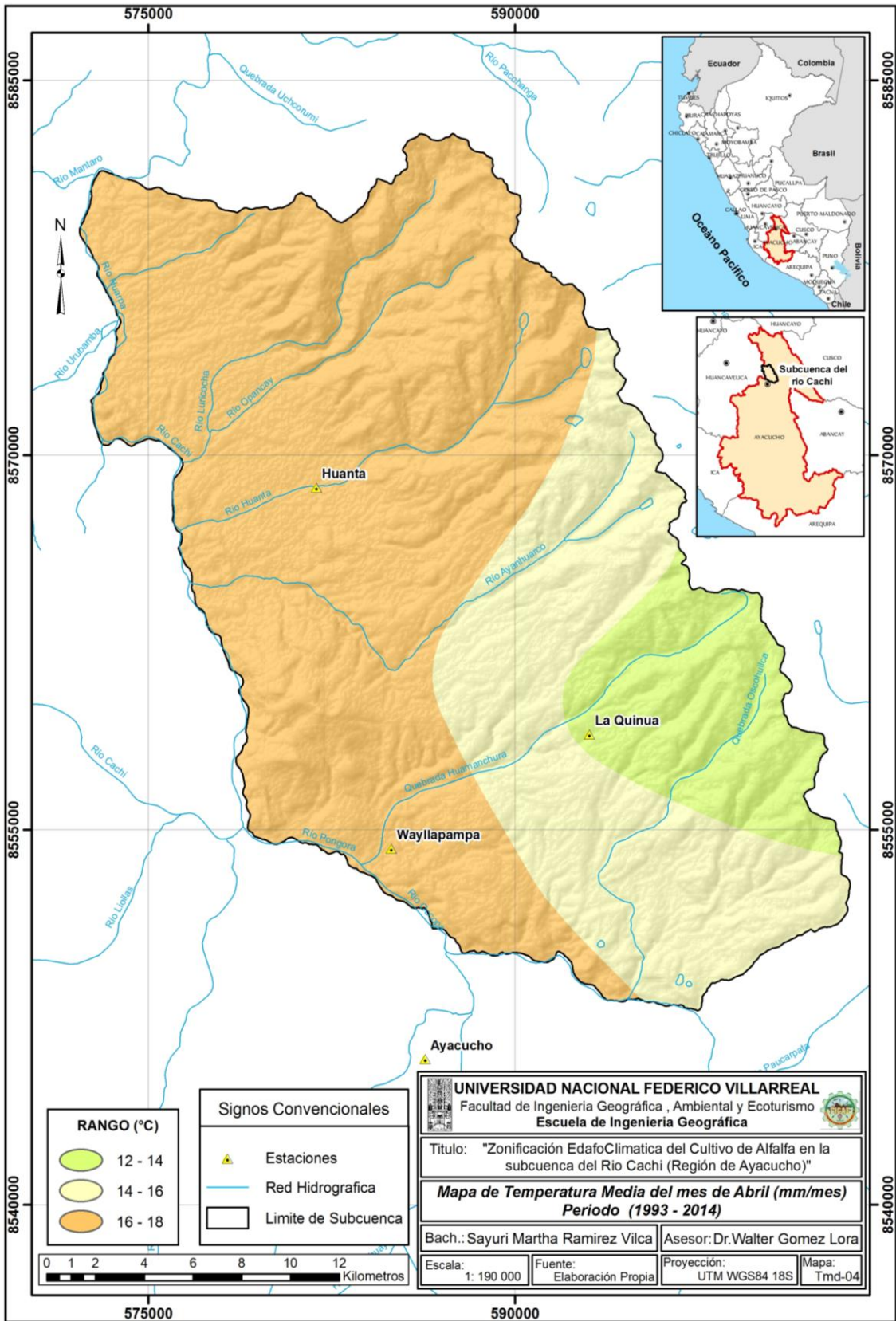


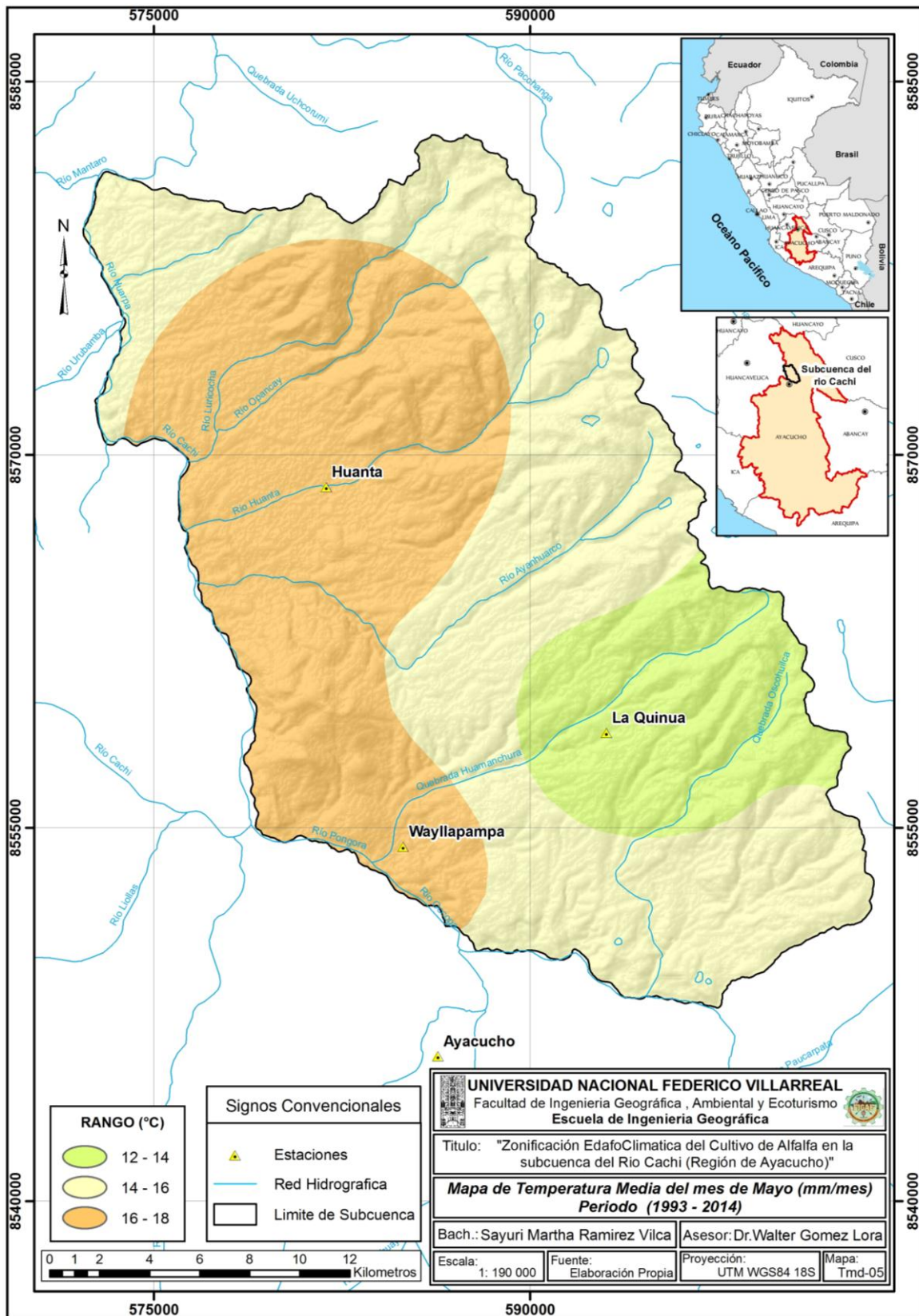
**ANEXO N° 19: Promedio Multianual de Temperatura Media del Aire
(1993 – 2014)**

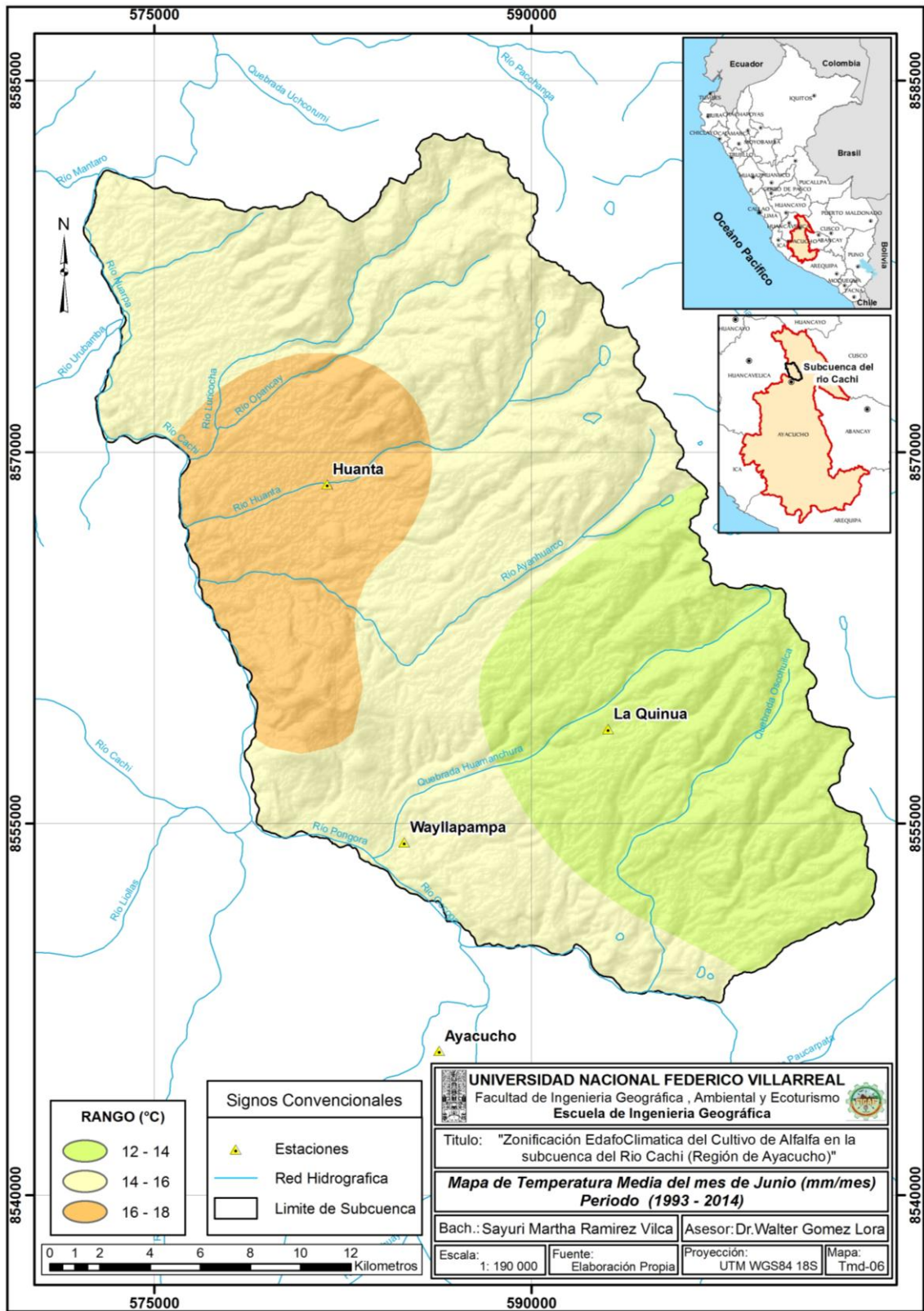


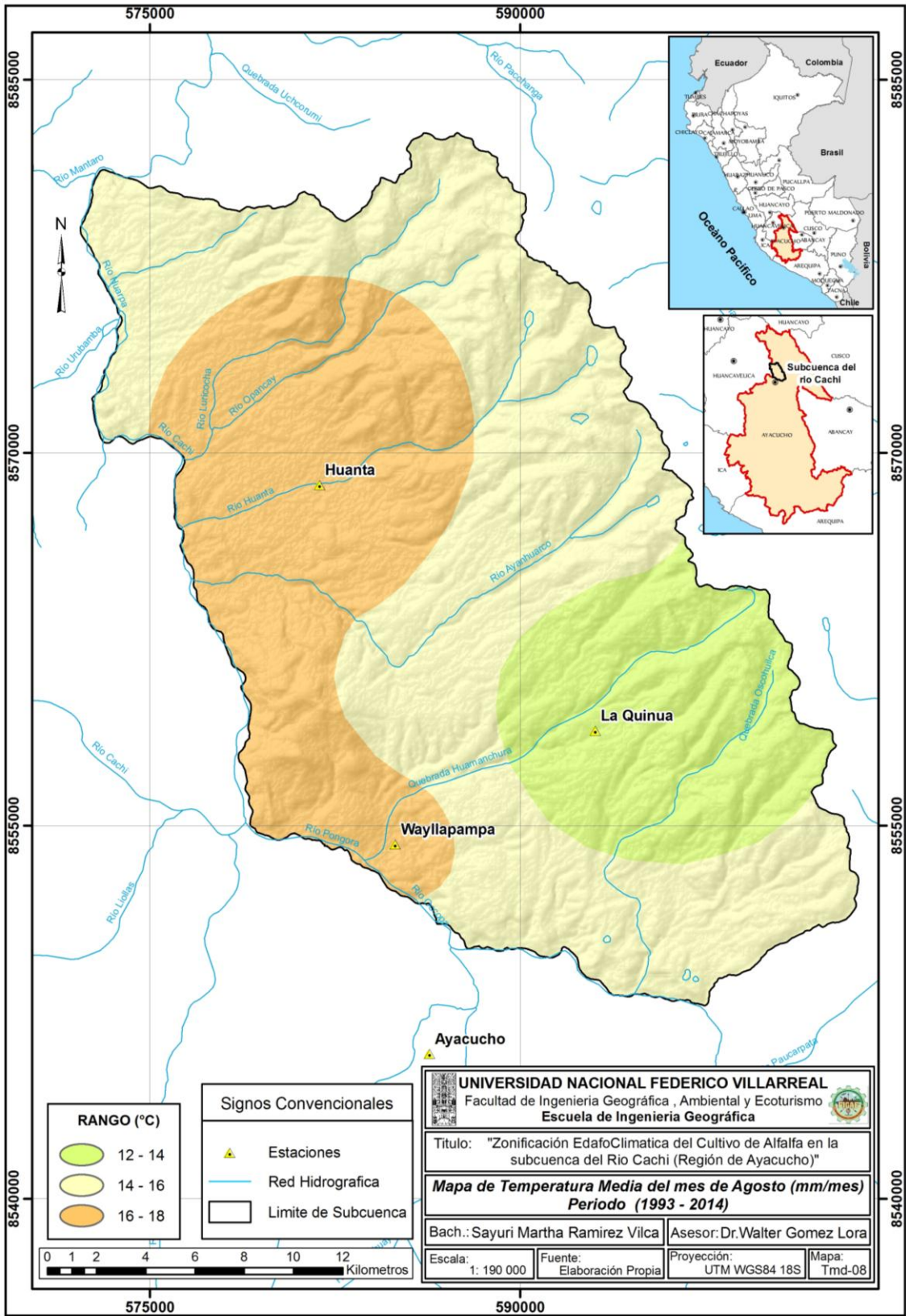


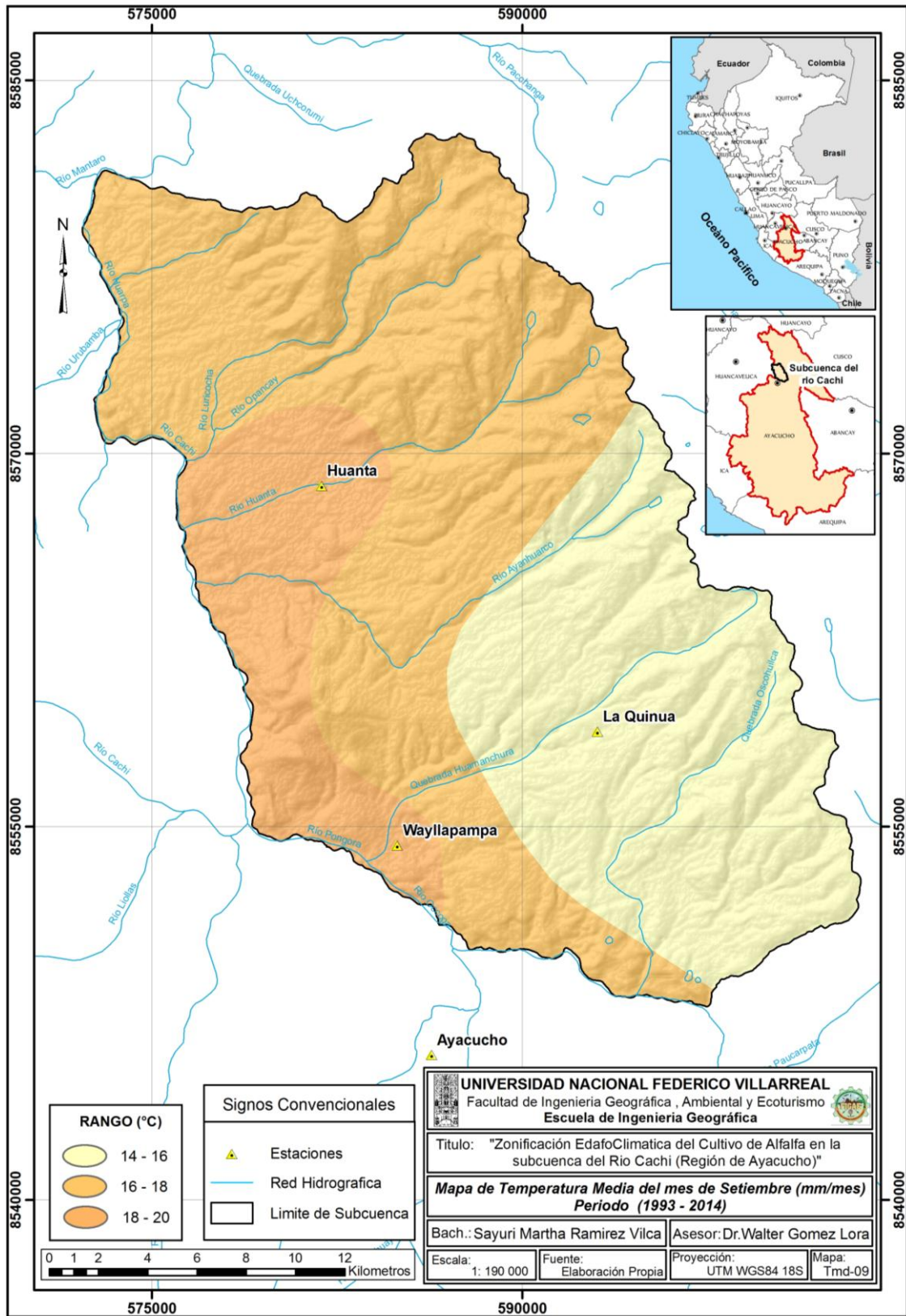


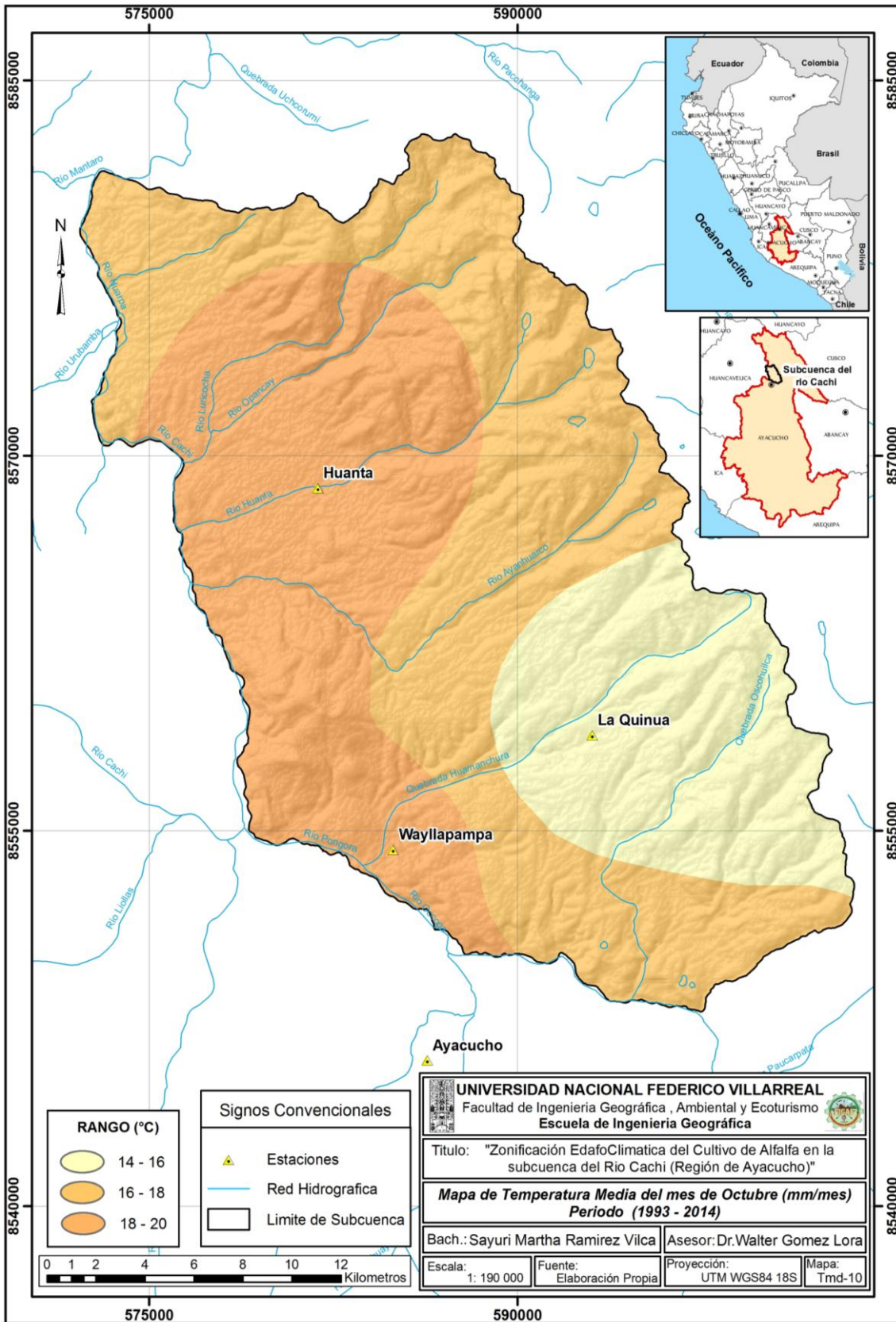


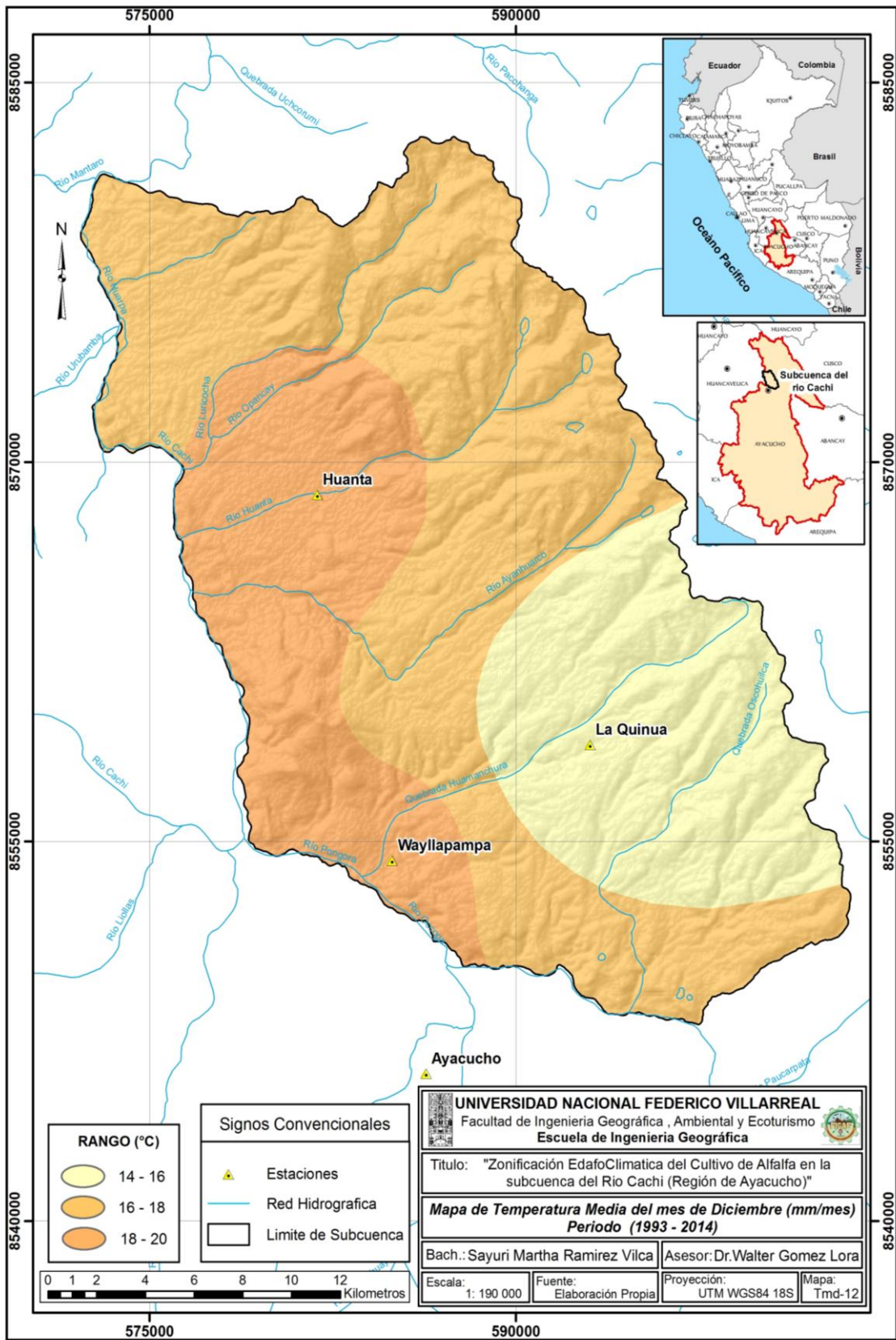












FOTOGRAFIAS

FOTO F-03: Vista de la Unidad Geomorfológica, cerca a la localidad de Pacaycasa.



FOTO F-04: Vista de la Unidad Geomorfológica, en la localidad de Acosvinchos.

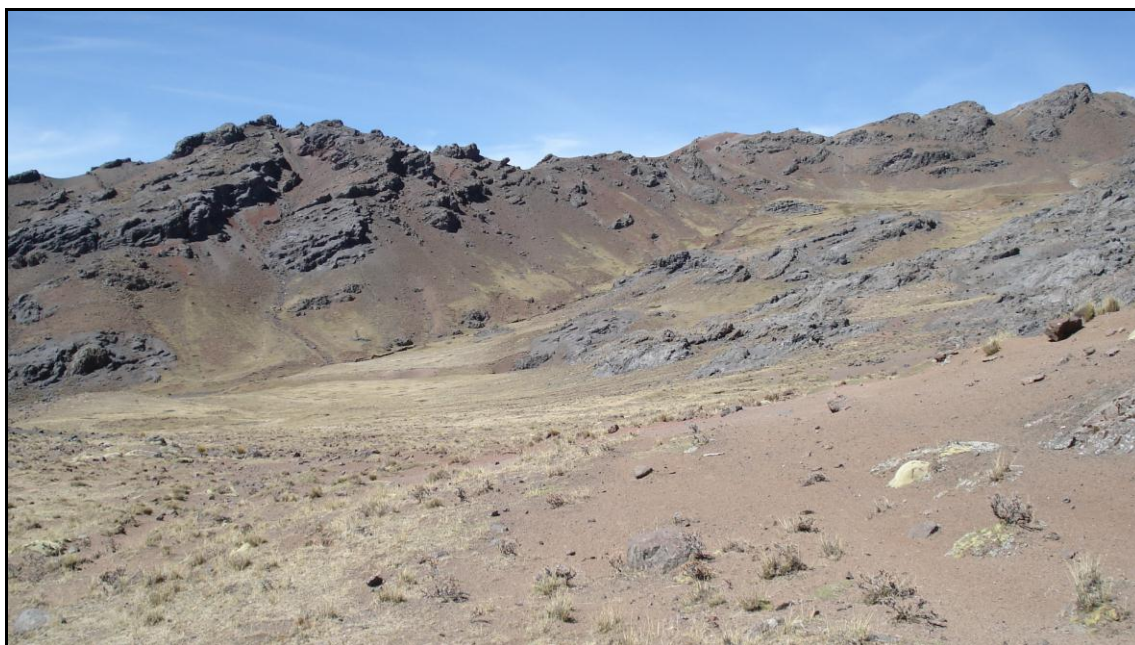


FOTO F-05: Zona de pastoreo para Ganado en la localidad de La Quinua.



FOTO F-06: Presencia de bofedales en grandes extensiones favorece la ganadería sobre todo alpaca, por su altitud y vegetación dominante en las partes altas de la localidad de La Quinua.



FOTO F-07: Vista de pequeñas parcelas de cultivo de Alfalfa en anexos dentro de la Localidad de Huamanguilla.



FOTO F-08: Vista de parcelas con cultivo de alfalfa en la localidad de Huanta.



FOTO F-09: Extracción de muestras de suelo en cada unidad geomorfológica determinada.

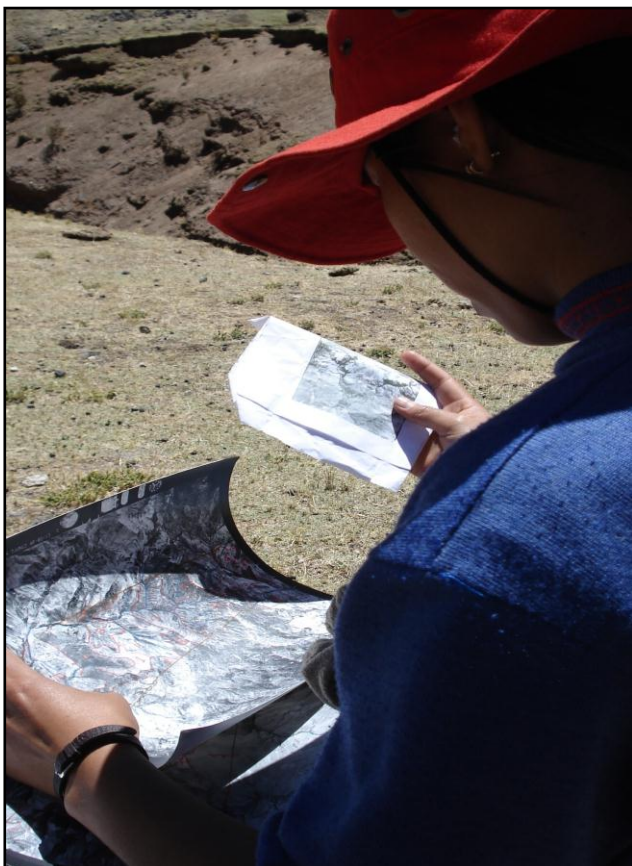


FOTO F-10: En el campo, se procedió a realizar los ajustes en la delimitación de las Unidades Geomorfológicas. Para realizar estos ajustes se tuvo en cuenta las siguientes características: Subpaisaje, grado de erosión, afloramientos rocosos, pedregosidad, y pendiente, estas características se determinaron visualmente.

FOTO F-11: La pendiente se evaluó utilizando un equipo denominado Clinómetro, que mide el grado de inclinación del terreno en grados y porcentaje.



FOTO F-12: Establecimiento de pequeñas parcelas con cultivo de alfalfa en la localidad de Huanta.



FOTO F-13: Zona de instalación de cultivo de Alfalfa con la especie *Medicago sativa*.



FOTO F-14: Parcelas con Cultivos de Alfalfa que fueron sembradas con suficientes sustancias nutritivas desde el inicio, para que así de acuerdo con su potencial genético crezcan y se desarrollen muy rápido y produzcan en lo posible abundante forraje.

