

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN Y SISTEMA DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA EVALUACIÓN DEL
COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL NEVADO YERUPAJÁ”**

**TRABAJO ACADÉMICO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

EDWING TONY CAYO HUERTA

LIMA - PERÚ

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

**“APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN Y SISTEMA DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA EVALUACIÓN DEL
COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL NEVADO YERUPAJÁ”**

TRABAJO ACADÉMICO PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

EDWING TONY CAYO HUERTA

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Mg. Sc. GONZALO RAMCÉS FANO MIRANDA
Presidente

Dr. NÉSTOR MONTALVO ARQUÍÑIGO
Asesor

Mg. Sc. ÁNGEL FAUSTO BÉCERRA PAJUELO
Miembro

Mg. Sc. JAVIER ANTONIO GOICOCHEA RÍOS
Miembro

LIMA – PERU

2020

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas e instituciones interesadas en el estudio de la evaluación de nevados, precipitación, caudales
A promotores de la aplicación de la teledetección y percepción remota.

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermanas por el apoyo permanente durante mi desarrollo académico

A todas las personas que me acompañaron durante esta etapa y me dieron
la oportunidad para lograr muchas metas

A mi asesor Dr. Néstor Montalvo Arquíñigo por darme la oportunidad de
dar inicio y fin a esta investigación que marca una nueva etapa de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Nevado	3
2.2. Glaciares	3
2.3. Glaciares tropicales.....	3
2.3.1. Distribución de los Glaciares Tropicales.....	5
2.4. Nevado Yerupajá	9
2.5. Variabilidad climática.....	11
2.6. Análisis de series temporales	11
2.3.1. Series temporales.....	11
2.3.2. Heterogeneidad en los datos	12
2.3.3. Prueba Estadística.....	12
2.3.4. Coeficiente de determinación (R ²).....	13
2.3.5. Coeficiente Correlación.....	14
2.7. Análisis de consistencia de la información hidrológica.....	14
2.7.1. La regionalización	15
2.7.2. Análisis del Vector Regional.....	16
2.7.3. Software Hydraccess	17
2.8. Teledetección y percepción remota	18
2.9. Teledetección en Nieve.....	19
2.10. Índice Normalizado de Diferenciación de Nieve (NDSI).....	19
III. METODOLOGÍA	21
3.1. Ubicación de la zona de estudio	21
3.2. Materiales.....	22
3.2.1. Información geográfica.....	22
3.2.2. Información meteorológica	22
3.2.3. Información hidrográfica.....	22
3.2.4. Imágenes satelitales LandSat.....	23
3.2.5. Información Glaciológica.....	23

3.2.6.	Software.....	23
3.3.	Método.....	23
3.3.1.	Recolección de Información.....	24
3.3.2.	Análisis de datos temporales de precipitación (PP).....	38
3.3.3.	Análisis de datos temporales de caudal (Q)	117
3.3.4.	Inventario de glaciares.....	119
3.3.5.	Teledetección y percepción remota	123
3.3.6.	Determinación de áreas	126
3.3.7.	Análisis Estadístico	138
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	140
4.1.	Consistencia de la Información meteorológica e hidrológica.....	140
4.1.1.	Información Meteorológica	140
4.1.2.	Información Hidrológica	141
4.2.	Variación de datos temporales	142
4.2.1.	Precipitación	142
4.2.2.	Caudal.....	144
4.2.3.	Áreas de nevado.....	147
4.3.	Correlación de la precipitación y caudales con la dinámica del nevado.....	149
4.3.1.	Área – precipitación.....	149
4.3.2.	Área – caudal	155
V.	CONCLUSIONES.....	158
VI.	RECOMENDACIONES.....	160
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	162
VIII.	ANEXOS	167

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ubicación geográfica de las cordilleras nevadas del Perú	9
Tabla 2: Comparación de plataformas LandSat	20
Tabla 3: Periodo de datos descargados.....	25
Tabla 4: Identificación de 25 estaciones meteorológicas entorno al nevado Yerupajá.....	26
Tabla 5: Estaciones de Influencia de monitoreo del Nevado Yerupajá.....	28
Tabla 6: Estaciones Hidrométricas de la ANA-Perú de monitoreo del nevado Yerupajá...	28
Tabla 7: Número de imágenes de abril desde el año 1999-2014; LandSat 5 (1999-2010), LandSat 7 (2001-2015) y LandSat 8 (2013) para el Nevado Yerupajá.....	37
Tabla 8: Imágenes LandSat 5, LandSat 7 y LandSat 8 para la calibración del modelo de identificación del Nevado Yerupajá	37
Tabla 9: Características de las regiones naturales, flora y fauna de las 8 regiones del Perú.....	40
Tabla 10: Grupos de estaciones meteorológicas para el análisis de las precipitaciones	40
Tabla 11: Resultado del Análisis del grupo G1: Recuay	58
Tabla 12: Resultado del Análisis del grupo G1: Milpo (periodo n1 y n2)	58
Tabla 13: Resultado del Análisis del grupo G1: Milpo (periodo n2 y n3)	59
Tabla 14: Resultado del Análisis del grupo G1: Cotaparaco (periodo n1 y n2).....	59
Tabla 15: Resultado del Análisis del grupo G1: Cotaparaco (periodo n2 y n3).....	60
Tabla 16: Resultados del Análisis del grupo G2: Mayorarca.....	60
Tabla 17: Resultados del Análisis del grupo G2: Chiquián	61
Tabla 18: Resultados del Análisis del grupo G2: Orcos.....	61
Tabla 19: Resultados del Análisis del grupo G2: Cajatambo.....	62
Tabla 20: Resultados del Análisis del grupo G3: Gorgor.....	62
Tabla 21: Resultados del Análisis del grupo G3: Oyón	63
Tabla 22: Resultados del Análisis del grupo G3: Andájes (periodo n1, n2)	63
Tabla 23: Resultados del Análisis del grupo G3: Andájes (periodo n2, n3)	64
Tabla 24: Resultados del Análisis del grupo G3: Pampa Libre (periodo n1, n2).....	64
Tabla 25: Resultados del Análisis del grupo G3: Pampa Libre (periodo n2, n3).....	65
Tabla 26: Resultados del análisis del grupo G4: San Rafael.....	65
Tabla 27: Resultados del análisis del grupo G4: Huánuco	66
Tabla 28: Resultados del análisis del grupo G4: Canchan	66
Tabla 29: Resumen de análisis de consistencia de las estaciones	67
Tabla 30: Media de precipitaciones acumuladas mensuales de 1995-2014 de las	

estaciones G1, datos incompletos	70
Tabla 31: Desviación estándar de desvíos de las estaciones G1, datos incompletos.	70
Tabla 32: Correlación de las estaciones G1, datos incompletos.....	70
Tabla 33: Media de precipitaciones acumuladas mensuales de 1995-2014 de las estaciones G2, datos incompletos	71
Tabla 34: Desviación estándar de desvíos de las estaciones G2, datos incompletos	72
Tabla 35: Correlación de las estaciones G2, datos incompletos.....	72
Tabla 36: Media de precipitaciones acumuladas mensuales de 1995-2014 de las estaciones G2.v2, datos incompletos	73
Tabla 37: Desviación estándar de desvíos de las estaciones G2.v2, datos incompletos	73
Tabla 38: Correlación de las estaciones G2.v2, datos incompletos.....	73
Tabla 39: Media de precipitaciones acumuladas mensuales de 1995-2014 de las estaciones G3, datos incompletos	74
Tabla 40: Desviación estándar de desvíos de las estaciones G3, datos incompletos	74
Tabla 41: Correlación de las estaciones G3, datos incompletos.....	75
Tabla 42: Media de precipitaciones acumuladas mensuales de 1995-2014 de las estaciones G3.v2, datos incompletos	76
Tabla 43: Desviación estándar de desvíos de las estaciones G3.v2, datos incompletos	76
Tabla 44: Correlación de las estaciones G3.v2, datos incompletos.....	76
Tabla 45: Media de precipitaciones acumuladas mensuales de 1995-2014 de las estaciones G4, datos incompletos	77
Tabla 46: Desviación estándar de desvíos de las estaciones G4, datos incompletos	77
Tabla 47: Correlación de las estaciones G4, datos incompletos.....	77
Tabla 48: Desvío Estándar de Desvíos (D.E.D.) mensuales promedios del periodo 1995-2014 de los grupos G1, G2, G3v.2 y G4 (Con datos incompletos)	78
Tabla 49: Correlaciones mensuales promedio del periodo 1995-2014 de los grupos G1, G2v.2, G3v.2 y G4 con datos incompletos	79
Tabla 50: Periodos de la estación Milpo	81
Tabla 51: Datos de la estación Milpo del periodo n1 (1995-2001) corregido.....	83
Tabla 52: Datos de la estación Milpo del periodo n3 (2009-2014) corregido.....	84
Tabla 53: Periodos de la estación Cotaparaco	84
Tabla 54: Datos de estación Cotaparaco del periodo n1 (1995-2001) corregido	85
Tabla 55: Periodos de la estación Mayorarca.....	86
Tabla 56: Datos de estación Mayorarca del periodo n1 (1995-2002) corregido.....	87
Tabla 57: Periodos de la estación Chiquián.....	88
Tabla 58: Datos de la estación Chiquián del periodo n1 (1995-2002) corregido.....	89

Tabla 59: Periodos de la estación Ocros.....	90
Tabla 60: Datos de la estación Ocros del periodo n1 (1995-2001) corregido.....	90
Tabla 61: Periodos de la estación Gorgor.....	91
Tabla 62: Datos de la estación Gorgor del periodo n1 (1995-2002) corregido.....	92
Tabla 63: Periodos de la estación Pampa Libre.....	93
Tabla 64: Datos de la estación Pampa Libre del periodo n1 (1995-1999) corregido.....	94
Tabla 65: Periodos de la estación Huánuco.....	95
Tabla 66: Datos de la estación Huánuco del periodo n1 (1995-2002) corregido.....	95
Tabla 67: Periodos de la estación Canchán.....	96
Tabla 68: Datos de la estación Canchán del periodo n1 (1995-2002) corregido.....	97
Tabla 69: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Milpo (periodo n1 y n2).....	98
Tabla 70: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Milpo (periodo n2 y n3).....	99
Tabla 71: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Cotaparaco (periodo n1 y n2).....	99
Tabla 72: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Cotaparaco (periodo n2 y n3).....	100
Tabla 73: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Mayorarca.....	100
Tabla 74: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Chiquián.....	101
Tabla 75: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Ocros.....	101
Tabla 76: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Gorgor.....	102
Tabla 77: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Pampa Libre.....	102
Tabla 78: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Huánuco.....	103
Tabla 79: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Canchán.....	103
Tabla 80: Resumen de análisis de consistencia de las estaciones corregidas.....	104
Tabla 81: Datos de precipitación de las estaciones G1, consistentes e incompletos (periodo 1995-2014).....	109
Tabla 82: Evaluación de métodos de completados de datos en la estación Cotaparaco ...	109
Tabla 83: Datos simulados de la estación Cotaparaco por los diferentes métodos.....	110
Tabla 84: Evaluación de métodos de completados de datos en la estación Milpo.....	110
Tabla 85: Datos simulados de la estación Milpo por los diferentes métodos.....	111
Tabla 86: Datos de precipitación de las estaciones G2.v2, consistentes e incompletos (periodo 1995-2014).....	111
Tabla 87: Evaluación de métodos de completados de datos en la estación Mayorarca	112
Tabla 88: Datos simulados de la estación Mayorarca por los diferentes métodos.....	112

Tabla 89: Datos de precipitación de las estaciones G3.v2, consistentes e incompletos (periodo 1995-2014)	113
Tabla 90: Evaluación de métodos de completados de datos en la estación Oyón.....	113
Tabla 91: Datos simulados de la estación Oyón por los diferentes métodos	114
Tabla 92: Evaluación de métodos de completados de datos en la estación Andájes.....	114
Tabla 93: Datos simulados de la estación Andájes por los diferentes métodos	114
Tabla 94: Datos de precipitación de las estaciones G4, consistentes e incompletos (periodo 1995-2014)	115
Tabla 95: Datos simulados de la estación San Rafael por los diferentes métodos.....	116
Tabla 96: Evaluación de métodos de completados de datos en la estación San Rafael ...	116
Tabla 97: Monitoreo de caudal en cierre de cuencas del mes de abril en el periodo de 1999-2013	117
Tabla 98: Coeficiente de Correlación de los caudales.....	118
Tabla 99: Inventario de Glaciares del nevado Yerupajá (Parte 1).....	120
Tabla 100: Inventario de Glaciares del nevado Yerupajá (Parte 2).....	121
Tabla 101: Áreas del Nevado Yerupajá.....	127
Tabla 102: Evaluación con la imagen de la fecha: 25/07/2007.....	129
Tabla 103: Evaluación con la imagen de la fecha: 1/07/2007	130
Tabla 104: Evaluación con la imagen de la fecha: 7/07/2007	131
Tabla 105: Evaluado con la imagen de la fecha: 29/06/2015.....	132
Tabla 106: Rango de índices para los NDSI del LandSat 4,5	133
Tabla 107: Rango de índices para los NDSI del LandSat 7	134
Tabla 108: Rango de índices para los NDSI del LandSat 8	134
Tabla 109: Leyenda de la calidad de las áreas determinadas en Model Builder	136
Tabla 110: Áreas del nevado Yerupajá por el método de NDSI de las imágenes LandSat 5, 7 y 8 del periodo de 1999 al 2014	137
Tabla 111: Áreas del nevado Yerupajá por el método de NDSI de las imágenes LandSat 5, 7 y 8 del periodo de 1999 al 2014	138
Tabla 112: Datos completados de precipitación del mes de abril en el periodo de 1995 al 2014	140
Tabla 113: Resultados de Consistencia	141
Tabla 114: Monitoreo de caudal en cierre de cuencas del mes de abril en el periodo de 1999-2013	141
Tabla 115: Coeficiente de Correlación de los caudales.....	141
Tabla 116: Precipitación media del nevado en cada cuenca en hectáreas en el periodo de 1999-2014, en el mes de abril	142

Tabla 117: Variación de precipitaciones del nevado en cada estación en el periodo de 1999-2014, en el mes de abril.....	142
Tabla 118: Precipitación media del nevado en cada cuenca en hectáreas en el periodo de 1999-2014, en el mes de abril.....	144
Tabla 119: Variación de precipitaciones del nevado en cada cuenca en hectáreas en el periodo de 1999-2014, en el mes de abril.....	145
Tabla 120: Área media del nevado (hectáreas) para cuenca en el periodo de 1999-2014.....	147
Tabla 121: Variación de áreas del nevado para cada cuenca en el periodo de 1999-2014.....	147
Tabla 122: Datos de Abril del Nevado de la Cuenca Achín (ha.) y estaciones G1 (mm.).....	150
Tabla 123: Análisis Estadístico del Nevado de la Cuenca Achín y estaciones G1.....	150
Tabla 124: Datos de Abril del Nevado de la Cuenca Achín y estaciones G2.v2.....	151
Tabla 125: Análisis estadístico del Nevado de la Cuenca Achín y estaciones G2.v2.....	151
Tabla 126: Datos de Abril del Nevado de la Cuenca Rapay y estaciones G2.v2.....	152
Tabla 127: Análisis estadístico del Nevado de la Cuenca Rapay y estaciones G2.v2.....	152
Tabla 128: Datos de Abril del Nevado de la Cuenca Rapay y estaciones G2.v2.....	153
Tabla 129: Análisis estadístico del Nevado de la Cuenca Rapay y estaciones G2.v2.....	153
Tabla 130: Datos de abril del nevado de la Unidad Hidrográfica 498999 y las estaciones meteorológicas G4.....	154
Tabla 131: Análisis estadístico del nevado de la Unidad Hidrográfica 498999 y las estaciones meteorológicas G4.....	154
Tabla 132: Datos de abril del área de nevado y caudales de cauces.....	155
Tabla 133: Análisis Estadístico del área de nevado y caudales de cauces.....	156

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución global de los glaciares tropicales y delimitación de los trópicos desde el punto de vista glaciológico	4
Figura 2: Condiciones climáticas de los trópicos	5
Figura 3: Picos más altos por país de la Cordillera de los Andes.....	6
Figura 4: Distribución de 19 cordilleras en el Perú	8
Figura 5: Vista del sistema montaña Yerupajá de las coberturas glaciarias de 1970 (rojo) y 2007 (celeste)	10
Figura 6: Pérdida de cobertura glaciaria entre 1970 y 2007 en la cordillera Huayhuash.....	10
Figura 7: Ubicación de área de estudio	21
Figura 8: Diagrama de procesos para el desarrollo de la investigación	24
Figura 9: Proceso para la identificación de estaciones influenciadas.....	25
Figura 10: Estaciones meteorológicas	27
Figura 11: Nevado Yerupajá y entorno hidrográfico.....	29
Figura 12: Plataforma de descarga de información del SENAMHI-Perú	30
Figura 13: Datos de precipitación de las estaciones de influencia del Nevado Yerupajá ...	31
Figura 14: Plataforma de descarga de información de la ANA-Perú	32
Figura 15: Estación “PATIVILCA-2” del río Llamac en la cuenca Achin	33
Figura 16: Hidrograma de caudales monitoreados por la estación Pativilca-2	33
Figura 17: Estación “MARAÑÓN-2” de los Ríos altos (río Huayhuash, río Carhuacocha, río Machaicancha, quebrada Cocanmachai) y río bajo (Nupe) en la cuenca alta de la unidad hidrográfica – 498999	34
Figura 18: Hidrograma de caudales monitoreados por la estación “MARAÑÓN-2”	34
Figura 19: Estación “PATIVILCA-9” de los ríos altos (Huayllapa, Pumarinri, Cuchichaca) y río bajo (Rapay)	35
Figura 20: Hidrograma de caudales monitoreados por la estación “PATIVILCA-9”	36
Figura 21: Procesos para analizar los datos de precipitación	38
Figura 22: Ocho Regiones Naturales del Perú en función a su altitud, clima, flora y fauna.	39
Figura 23: Histograma de precipitaciones Recuay (n1:74.764mm)	41
Figura 24: Histograma de precipitaciones Milpo (n1:92.448mm. y n2:161.106mm.).....	42
Figura 25: Histograma de precipitaciones Cotaparaco (n1:34.142mm).....	42

Figura 26. Histograma de precipitaciones Mayorarca (n1:57.126mm. y n2:41.170mm.) ..	43
Figura 27: Histograma de precipitaciones Chiquián (n1:65.646mm. y n2: 54.506mm.)	43
Figura 28: Histograma de precipitaciones Ocros (n1:26.206mm.)	44
Figura 29: Histograma de precipitaciones Cajatambo (n1:57.460mm.).....	44
Figura 30: Histograma de precipitaciones Gorgor (n1:64.550mm. y n2:40.440mm)	45
Figura 31: Histograma de precipitaciones Oyón (n1:235mm.)	45
Figura 32: Histograma de precipitaciones Andájes (n1:37.606mm.).....	46
Figura 33: Histograma de precipitaciones Pampa Libre (n1:12.186m. y n2:7.88mm)	46
Figura 34: Histograma de precipitaciones San Rafael (n1:59.433mm.).....	47
Figura 35: Histograma de precipitaciones Huánuco (n1:36.216mm.).....	47
Figura 36: Histograma de precipitaciones Canchan (n1:40.826mm.).....	48
Figura 37: Diagrama de doble masa del grupo G1: Recuay, Milpo, Cotaparaco y estación ficticia (promedio)	49
Figura 38: Doble masa de las estaciones Recuay, Milpo, Cotaparaco	50
Figura 39: Diagrama de doble masa del grupo G2: Mayorarca, Chiquián, Ocros, Cajatambo y estación ficticia (promedio).....	51
Figura 40: Doble masa de las estaciones Mayorarca y Chiquián	51
Figura 41: Doble masa de las estaciones Ocros y Cajatambo	52
Figura 42: Diagrama de doble masa del grupo G3: Gorgor, Oyón, Andájes, Pampa Libre y estación ficticia (promedio).	52
Figura 43: Doble masa de las estaciones Gorgor, Oyón, Andájes y Pampa Libre	53
Figura 44: Diagrama de doble masa del grupo G4: San Rafael, Huánuco, Canchan y estación ficticia (promedio)	54
Figura 45: Doble masa de las estaciones San Rafael y Huánuco	54
Figura 46: Doble masa de las estaciones Canchan	55
Figura 47: Formulario de Vector Regional del software HYDRACCESS. Funciones avanzadas	69
Figura 48: Formulario de Vector Regional del software HYDRACCESS. Vector Regional.....	69
Figura 49: G1- desviación Estándar de Desvíos Mensual 1995-2014.....	71
Figura 50: G2- desviación Estándar de Desvíos Mensual 1995-2014.....	72
Figura 51: G2.v2- desviación Estándar de Desvíos Mensual 1995-2014	74
Figura 52: G3- desviación Estándar de Desvíos Mensual 1995-2014.....	75
Figura 53: G3.v2 - desviación Estándar de Desvíos Mensual 1995-2014	76

Figura 54: G4- desviación Estándar de Desvíos Mensual 1995-2014.....	78
Figura 55: Desvío Estándar de Desvíos (D.E.D.) mensual promedio del periodo 1995- 2014 de los grupos G1, G2, G3v.2 y G4. Con datos incompletos.....	79
Figura 56: Correlación promedio mensual del periodo 1995-2014 de los grupos G1, G2, G3v.2 y G4. Con datos incompletos	80
Figura 57: Histograma de la estación Milpo del periodo n1 (1995-2001) corregido y sin corregir.....	82
Figura 58: Histograma de la estación Milpo del periodo n3 (2009-2014) corregido y sin corregir.....	82
Figura 59: Histograma de estación Cotaparaco del periodo n1 (1995-2001) corregido y sin corregir	86
Figura 60: Histograma de estación Mayorarca del periodo n1 (1995-2002) corregido y sin corregir	88
Figura 61: Histograma de la estación Chiquián del periodo n1 (1995-2002) corregido y sin corregir	89
Figura 62: Histograma de la estación Ocros del periodo n1 (1995-2001) corregido y sin corregir	91
Figura 63: Histograma de la estación Gorgor del periodo n1 (1995-2002) corregido y sin corregir	93
Figura 64: Histograma de la estación Pampa Libre del periodo n1 (1995-1999) corregido y sin corregir.....	94
Figura 65: Histograma de la estación Huánuco del periodo n1 (1995-2002) corregido y sin corregir	96
Figura 66: Histograma de la estación Canchán del periodo n1 (1995-2002) corregido y sin corregir	97
Figura 67: Método de razón de distancia.....	105
Figura 68: Método de promedios vecinales.....	106
Figura 69: Proceso de análisis de correlación de datos de Caudal	117
Figura 70: Histograma de Caudales del mes de abril en el periodo de 1998 -2013	118
Figura 71: Proceso de inventario y agrupación de glaciares del nevado Yerupajá	119
Figura 72: Nevado Yerupajá e Inventario de glaciares	122
Figura 73: Aplicación del NDSI.....	123
Figura 74: Delimitación de bandas según área de estudio.....	124
Figura 75: Proceso de corrección de bandas	124

Figura 76: Comando de corrección de bandas – Fix LandSat 7 Scanline Errors	125
Figura 77: Identificación de nieve, por método del Índice Espectral NDSI.....	125
Figura 78: Comando Raster Calculator de ArcGis 10.3 para la insertar la formula NDSI.....	126
Figura 79. Proceso para la determinación de áreas	126
Figura 80: Diagrama de Procesos en Model Builder para la determinación de las áreas..	127
Figura 81: Superficie del Nevado Yerupajá en el año 2007 según el ANA y LandSat 7..	128
Figura 82: Ventana de Symbology de ArcGis, clasificación de nieve por NDSI	128
Figura 83: Ventana de Classification de ArcGis, clasificación de nieve por NDSI.....	129
Figura 84: Ecuación de Acho de Índice - Error, por Iteración de anchos de índices - LandSat 4,5	130
Figura 85: Ecuación de Acho de Índice – Error, por Iteración de anchos de índices - LandSat 7.....	131
Figura 86: Ecuación de Acho de Índice – Error, por Iteración de anchos de índices - LandSat 8.....	132
Figura 87: Resultados parciales del Model Builder.....	135
Figura 88: Buffer de inventario de Glaciares 300 metros y descarte de lagos	136
Figura 89: Dispersión de datos y su correlación	139
Figura 90: Variación de precipitaciones respecto a la media en el periodo de 1999- 2014, mes de abril. Parte 1.....	143
Figura 91: Variación de precipitaciones respecto a la media en el periodo de 1999- 2014, mes de abril. Parte 2.....	144
Figura 92: Variación de caudales respecto a la media en el periodo de 1999-2014 en la cuenca Pativilca-9	145
Figura 93: Variación de caudales respecto a la media en el periodo de 1999-2014 en la cuenca Pativilca-2.....	146
Figura 94. Variación de caudales respecto a la media en el periodo de 1999-2014 en la cuenca Marañon-2	146
Figura 95. Variación de áreas respecto a la media en el periodo de 1999-2014 en la cuenca Achín	148
Figura 96. Variación de áreas respecto a la media en el periodo de 1999-2014 en la cuenca Rapay	148
Figura 97: Variación de áreas respecto a la media en el periodo de 1999-2014 en la cuenca Unidad Hidrográfica 498999	149

Figura 98: Comparación Nevado de la Cuenca Achín (ha.) y estaciones G1 (mm.).....	150
Figura 99: Comparación Nevado de la Cuenca Achín (ha.) y estaciones G2.v2 (mm.)...	151
Figura 100: Comparación Nevado de la Cuenca Rapay (ha.) y estaciones G2.v2 (mm.)	152
Figura 101: Comparación Nevado de la Cuenca Rapay (ha.) y estaciones G3 (mm.).....	153
Figura 102: Comparación Nevado de la Unid. Hidrografica 498999 (ha.) y estaciones G4 (mm.).....	155
Figura 103: Comparación Nevado de la Rapay (ha.) y estaciones Pativilca-9 (l/s.).....	156
Figura 104: Comparación Nevado de la Achín (ha.) y estaciones Pativilca-2 (l/s.).....	156
Figura 105: Comparación Nevado de la Unid. Hidrografica 498999 (ha.) y estaciones Marañon (l/s.)	157

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Acrónimos

NDSI	Normalized Difference Snow Index o Índice Normalizado de Identificación de Nieve
ANA	Autoridad Nacional del Agua del Perú
BBC	British Broadcasting Corporation
SINANPE	Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas del Perú
ZCIT	Zona de Convergencia Intertropical
F	prueba Fisher
R ²	Coefficiente de determinación
r	Coefficiente de correlación de Pearson
VR	Vector Regional
IRD	Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo
Corr/vector	Correlación respecto al Vector
DEM	Modelo de Elevación Digital del Terreno
CSI	Consorcio para la Información espacial
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
TM	Mapas Temáticos
ETM	Mapas Temáticos Mejorado
OLI	Imagen de tierra operacional
PP	Precipitación
DED	Desviación Estándar de los Desvíos
p-valor	nivel de significancia
RL	Regresión lineal
RD	Razones de distancias
PV	Promedios vecinales
RP	Razones promedio
EV	Correlación con estaciones vecinas
RM	Regresiones múltiples
EM	Error medio
RMSE	Error cuadrático medio
COEF. CORREL.	Correlación de Correlación

RESUMEN

El siguiente trabajo académico tuvo como objetivo evaluar la dinámica del nevado Yerupajá durante el periodo de 1999 al 2014 aplicando la teledetección y sistema de información geográfica evaluando su relación con la precipitación y los caudales del río; donde dicha evaluación es a partir de la aplicación de la teledetección y aplicación del NDSI (Normalized Difference Snow Index) o Índice Normalizado de Identificación de Nieve; y apoyado en una metodología estadística de independencia para evaluar la relación de series temporales con la dinamicidad del nevado; para lo cual se ha realizado la evaluación de la calidad de la información, para las precipitaciones a través de métodos convencionales como las pruebas paramétricas (t-Student y Fisher) y no convencionales como el vector regional, para los caudales un análisis de correlación y para las imágenes satelitales la validación con monitoreos realizados por la ANA (Autoridad Nacional del Agua del Perú); para posteriormente realizar las correcciones y completado de datos necesarias, con la finalidad de hacer una correcta prueba estadística de correlación entre las variables área, precipitación y caudales; dichas evaluaciones tuvieron resultados de no correlación independencia con valores entre -0.6 a $+0.6$; sin embargo, con niveles de significancia baja es decir con p-valor mayores de 0.05 lo cual conlleva a la recomendación de continuar con las investigaciones para periodos más amplios.

Palabras claves: Índice Normalizado de Identificación de Nieve; nevado Yerupajá; consistencia; variación; correlación.

ABSTRACT

The following academic work aimed to evaluate the dynamics of the Yerupajá snow during the period from 1999 to 2014, applying remote sensing and geographic information system evaluating its relationship with the precipitation and river flows; where said evaluation is based on the application of remote sensing and application of the NDSI (Normalized Difference Snow Index); and supported by a statistical methodology of independence to evaluate the relationship of time series with the dynamics of the snow; for which the evaluation of the quality of the information has been carried out, for the precipitations through conventional methods such as the parametric tests (t-Student and Fisher) and unconventional as the regional vector, for the flows a correlation analysis and for the satellite images validation with monitoring performed by the ANA (National Water Authority of Peru); to subsequently make the corrections and complete the necessary data, in order to make a correct statistical test of correlation between the variables area, precipitation and flows; these evaluations had results of non-correlation independence with values between -0.6 to $+0.6$; However, with low levels of significance, that is, with p-value greater than 0.05, which leads to the recommendation to continue with the investigations for longer periods.

Keywords: Normalized Difference Snow Index; snowy Yerupajá; consistency; variation; correlation.

I. INTRODUCCIÓN

En nuestro país el Perú se tiene tres regiones, la costa, la sierra y la selva; y en la sierra se tiene la concentración de glaciares importantes, los cuales con los procesos de cambio climático va produciendo efectos de desglaciación que originan una disminución de la superficie glaciaria como manifestó tal persona Ortega (2018) Como también lo indica Ramos (2018), los nevados se encuentran en proceso de desglaciación y se encuentra expuestos a variaciones climáticas como la precipitación y temperatura; lo cual podría alterar la dinámica de los nevados, en este caso el nevado de Yerupajá.

Latinoamérica, se encuentra parte de los andes Tropicales; los cuales, se han venido derritiendo de manera acelerada los últimos 300 años. Cabe mencionar que los glaciares más pequeños y ubicados a menor altitud son los más afectados. En Perú, se logra observar que los glaciares que están por debajo de los 5100 metros ya han desaparecido y los glaciares ubicados a altitudes inferiores a los 5400 metros sobre el nivel del mar han perdido en promedio 1,35 centímetros de su capa de hielo cada año desde 1970, el doble que los grandes glaciares ubicados a mayor altitud (BBC, 2013).

Según el Autoridad Nacional del Agua - Perú (2014) el nevado Yerupajá se encuentra a 6617 metros sobre el nivel del mar siendo en segundo nevado más alto del Perú, ubicado entre las coordenadas paralelas de 10° 12' - 10° 27' de latitud sur y 76° 52' - 77°00' de longitud oeste y según menciona Raimondi (2011), es parte de la Cordillera Huayhuash; siendo uno de los 21 nevados que se encuentra en la reserva nacional de Huayhuash y que dan origen a 46 lagunas y es uno de los principales causantes de la preservación de su ecosistema y turismo; según el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas en el Estado-SERNANP (2019), y por lo que fue declarada como zona reservada dentro del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINANPE) en el 2002 (RM 1173-2002-AG).

Para el presente trabajo el objetivo general fue:

- Evaluar la dinámica del Nevado Yerupajá durante el periodo de 1999-2014 aplicando la teledetección y sistema de información geográfica y su relación con la precipitación y los caudales.

Asimismo, los objetivos específicos fueron:

- Evaluar la variación porcentual del entorno meteorológico (precipitación) e hídrico (caudal) del nevado Yerupajá durante el periodo 1999-2014.
- Realizar la teledetección y percepción del nevado Yerupajá para determinar y analizar la variación porcentual de sus áreas en el periodo de 1999-2014.
- Realizar el análisis de relación entre la precipitación y caudal con las áreas halladas en el objetivo anterior.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Nevado

El nevado es aquella superficie que fue cubierta por nieve. La nieve es aquella precipitación sólida de agua; la cual es generada por las bajas temperaturas en la atmósfera que congelan el agua y al chocar forman copos de nieve. Las cuales bajo las condiciones ambientales adecuadas; como la presencia de humedad y la acumulación de nubes; permiten mantenerse en estado sólido durante su precipitación.

2.2. Glaciares

Calizaya (2018) menciona que “un glaciar es una gruesa masa de hielo que se origina en la superficie terrestre por acumulación, compactación y recristalización de la nieve, mostrando evidencias de flujo en el pasado o en la actualidad. Su existencia es posible cuando la precipitación anual de nieve supera la evaporada en verano, por lo cual la mayoría se encuentra en zonas cercanas a los polos, aunque existen en otras zonas como en montañas. El proceso del crecimiento y establecimiento del glaciar, se llama glaciación. Los glaciares del mundo son variados y pueden clasificarse según su forma (de valle, de nicho, campo de hielo, etc.), régimen climático (tropical, temperado o polar) o condiciones térmicas (base fría, base caliente o politermal)”.

Calizaya (2018) indica que “un 10 por ciento de la Tierra está cubierto de glaciares, y en tiempos geológicos recientes ese porcentaje llegó al 30 por ciento. Los glaciares del mundo acumulan más del 75 por ciento del agua dulce del mundo”.

2.3. Glaciares tropicales

Kaser y Osmaston (2002) citado por Calizaya (2018) menciona que “el término griego tropics, originalmente, fue utilizado para las dos latitudes en que el sol alcanza el cenit una vez al año, generalmente se utiliza hoy para la región entre esas dos latitudes”.

Según Santillana y García (2015) citado por Ramos (2018); “los glaciares tropicales se ubican dentro de la región ecuatorial, en esta zona se encuentra el 50 por ciento de la superficie terrestre, habita el 70 por ciento de la población mundial; se generan factores climáticos como los monzones, los huracanes y el fenómeno El Niño, por lo que se trata del motor climático del mundo”.

Kaser (1999) citado por Calizaya (2018) propuso que para “definir los límites de la vista glaciológica trópicos; que puede verse en la Figura 1, las siguientes separaciones (1) está comprendida entre los trópicos astronómicos; (2) presentar variación de la temperatura diaria mayor que la variación de la temperatura anual y (3) localizada en el área donde ocurre la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

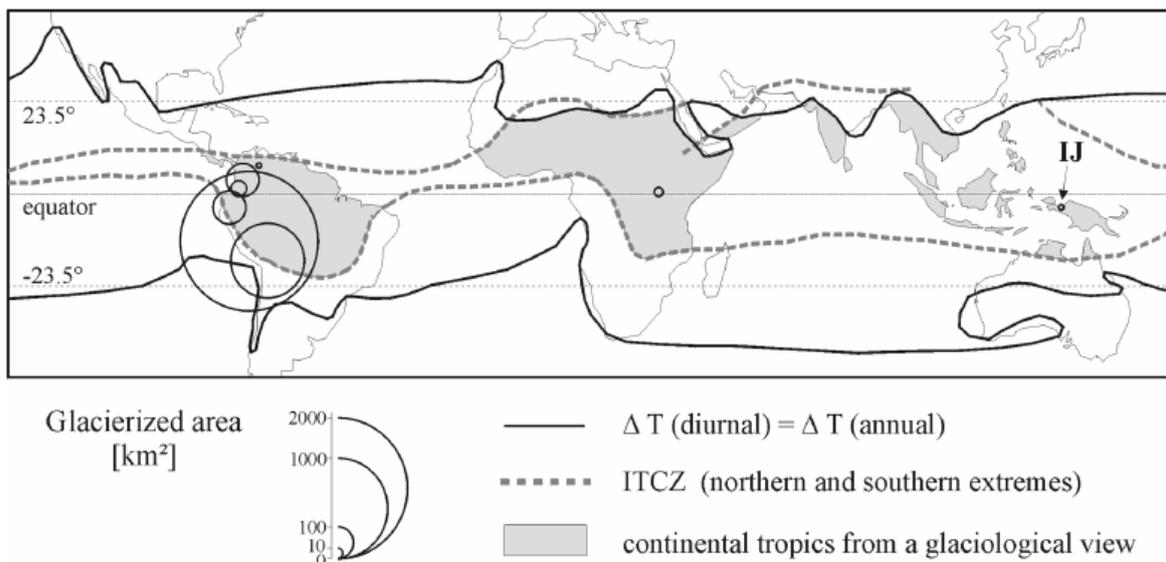


Figura 1: Distribución global de los glaciares tropicales y delimitación de los trópicos desde el punto de vista glaciológico

FUENTE: Kaser y Osmaston (2002) citado por Calizaya (2018).

Kaser (1999), Kaser y Osmaston (2002) citado por Calizaya (2018) indica que “la cordillera de los Andes tiene esa característica de tener las dos estaciones por su ubicación en los trópicos. En la Figura 2 se muestra los trópicos en amarillo que son las regiones que presentan condiciones de precipitación elevada durante todo el año y en rojo las regiones que presentan una estación húmeda y otra seca durante el año, la línea punteada identifica la oscilación estacional de la Zona de Convergencia Intertropical y la línea continua delimita

la Zona Tropical desde el punto de vista termal”.

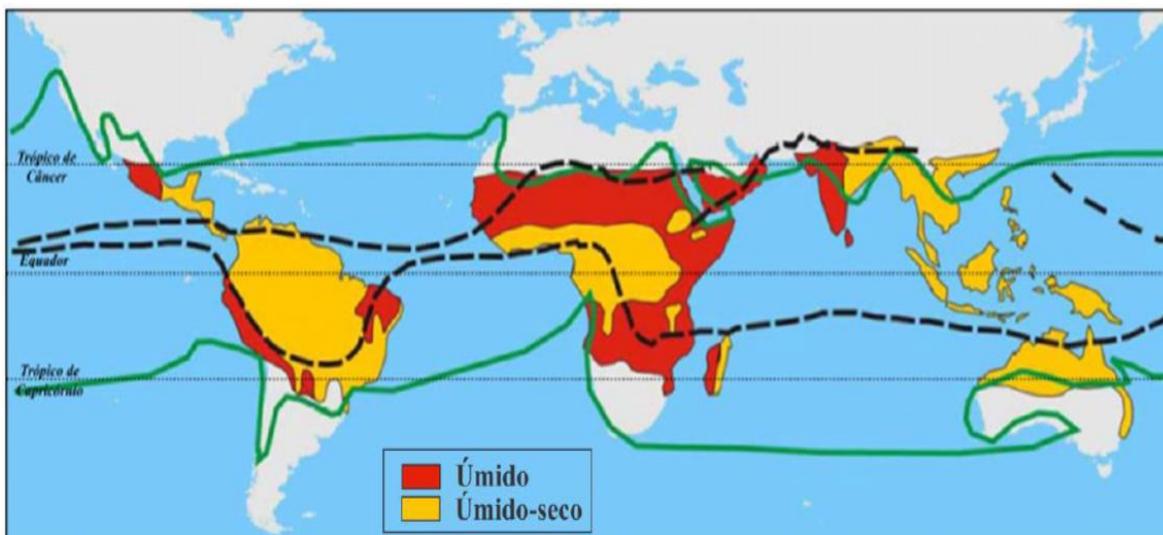


Figura 2: Condiciones climáticas de los trópicos

FUENTE: Kaser y Osmaston (2002) citado por Calizaya (2018).

2.3.1. Distribución de los Glaciares Tropicales

“La zona tropical de Suramérica se puede dividir en dos sub-áreas basándose en las características de precipitación y la ubicación geográfica: los trópicos interiores (Venezuela, Colombia y Ecuador), donde la ablación y acumulación de los glaciares ocurren simultáneamente en todo el año, sin estacionalidad de las precipitaciones y los trópicos exteriores (Perú y Bolivia), donde la estación seca se produce de mayo a septiembre, con condiciones subtropicales y la estación lluviosa de octubre a marzo, con prevaletía de condiciones tropicales” (Veettil et al., 2016 citado por Ramos, 2018).

Sagredo y Lowell (2012) citado por Ramos (2018) menciona que “clasificaron los Andes en siete grupos climáticos, con base en el análisis estadístico de tres variables climáticas (temperatura, lluvia y humedad) y en un número seleccionado de glaciares con geometría simple. Tres de los siete grupos definidos en esta clasificación pertenecen a los Andes Tropicales: los trópicos interiores (Venezuela, Colombia y Ecuador), los trópicos exteriores húmedos (cordilleras orientales de Perú y Bolivia), y los trópicos exteriores secos que comprenden las cordilleras occidentales de Bolivia y sur de Perú”.

A continuación, se presenta en la Figura 3; la distribución de los glaciares en la Cordillera de los Andes.

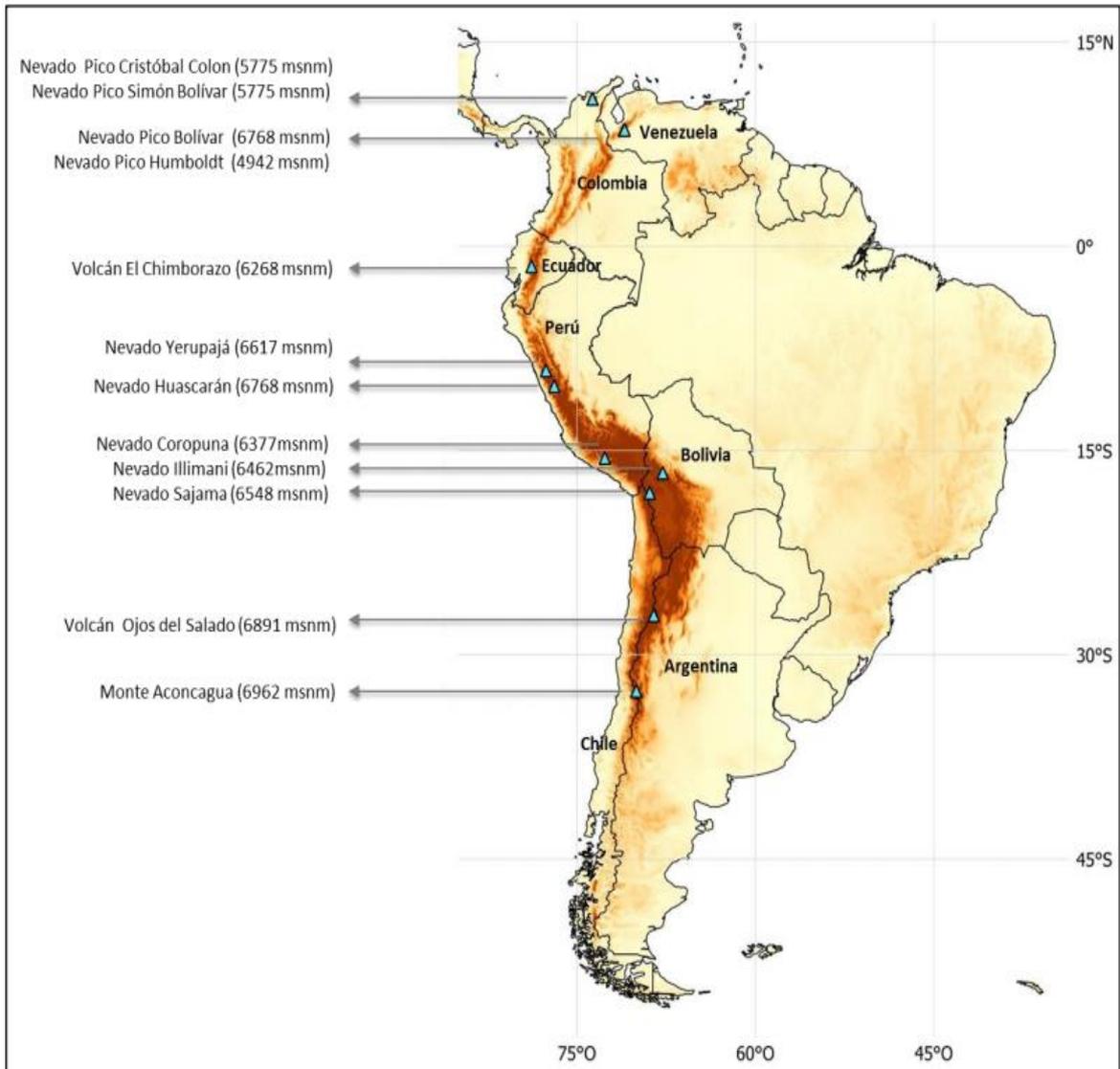


Figura 3: Picos más altos por país de la Cordillera de los Andes

FUENTE: SENAMHI (2018).

a. Trópicos interiores

Se extienden desde Venezuela hasta Ecuador. En este último país, los glaciares de los trópicos interiores se encuentran en la Cordillera Occidental ($0^{\circ}22' N - 1^{\circ}29' S$; $78^{\circ}20' O - 78^{\circ}48' O$) como en la Cordillera Oriental ($0^{\circ}1' N - 2^{\circ}20' S$; $77^{\circ}54' O - 78^{\circ}33' O$). Sobre la Cordillera Oriental, y a unos de 60 kilómetros al sureste de la ciudad de Quito, se ubica el volcán Cotopaxi, uno de los volcanes activos más grandes del mundo y es el segundo pico

más alto de Ecuador (5897 msnm; 0°40 'S – 78°25' O). La Cordillera Oriental está directamente expuesta a los vientos húmedos del este de la cuenca del Amazonas (Veettil et al., 2016).

b. Trópicos exteriores húmedos del norte

Esta región de los Andes se ubica la Cordillera Blanca, con una extensión de 180 kilómetros de largo y 30 kilómetros de ancho (8°30'S – 10°10'S; 77°00'O - 78°00'O). Ubicada en la región Ancash, a 400 kilómetros al norte de la capital Lima. Cuenta con 27 picos que alcanzan alturas superiores a los 6000 msnm y más de 200 picos que superan los 5000 msnm, Destaca los nevados el Tuco, Pastoruri, Queullaraju, Jenhuararca, Challwa, Condorjitanca y Santun (Veettil et al., 2016).

Ramos (2018) cita lo siguiente; “La Cordillera Blanca se caracteriza por una estacionalidad poco acentuada de la temperatura anual (pero con grandes variaciones diarias) y el clima alterna entre una estación seca (Mayo a Septiembre) y una estación lluviosa (Octubre a abril). La mayor parte de la precipitación anual (70 a 80 por ciento) ocurre durante la temporada de lluvias (Kaser y Georges, 1997). Por otro lado, la estación seca en las zonas tropicales de los Andes se produce durante el invierno austral. A pesar de la proximidad de los glaciares con el Océano Pacífico, los vientos persistentes desde el este determinan la Fuente de humedad para la precipitación andina y se derivan principalmente del Atlántico y el clima está fuertemente influenciado por las montañas de los Andes”.

c. Trópicos exteriores húmedos del sur

Los glaciares de la cordillera oriental del Perú y los glaciares bolivianos se encuentran en la región definida como trópicos exteriores húmedos del sur, y se caracterizan por la baja variabilidad de la temperatura, alta afluencia de radiación solar durante todo el año, alta variabilidad de la humedad y la precipitación estacional. El Nevado Cololo (14°50'S; 69°06'O; 5859 m.s.n.m.) de la Cordillera de Apolobamba se encuentra en esta región. Desde una perspectiva glaciológica, existen tres tipos de cambios de ablación: (1) los de tasa de fusión más alta debido a la radiación solar (Octubre - Diciembre), (2) los de tasa de ablación mayor debido a la fusión (Enero - abril) y (3) los de tasa de ablación limitada debido a la pérdida de energía por radiación de onda larga (Mayo - Agosto). Teniendo en cuenta que si la nieve se produce entre Mayo y Agosto pueden permanecer durante la estación seca (Rabatel et al., 2012 citado por Ramos, 2018).

d. Trópicos exteriores secos

La Zona Volcánica Central de la Cordillera Ampato, al sur de Perú, forma parte de esta región de los Andes Tropicales. Esta cordillera se compone de 93 glaciares, con un espesor medio de 40 m y una superficie total de 146.73 kilómetros cuadrados (basado en fotografías aéreas de 1962). (Ramos, 2018)

Véase la distribución de los glaciares en el Perú en la Figura 4 y su ubicación en la Tabla 1.



Figura 4: Distribución de 19 cordilleras en el Perú

FUENTE: ANA (2014).

En la Tabla 1, se muestra las cordilleras reconocidas el inventario realizado por la ANA (2014) en el Perú.

Tabla 1: Ubicación geográfica de las cordilleras nevadas del Perú

Nº	Cordillera	Latitud		Longitud	
1	Blanca	7°41´	10°10´	76°54´	78°18´
2	Huallanca	9°52´	10°3´	76°58´	77°6´
3	Huayhuash	10°12´	10°27´	76°52´	77°00´
4	Raura	10°21´	10°36´	76°39´	76°52´
5	Huagoruncho	10°29´	10°34´	75°50´	76°01´
6	La Viuda	10°33´	11°38´	76°09´	76°42´
7	Central	11°39´	12°37´	75°30´	76°20´
8	Huaytapallana	11°35´	11°58´	74°48´	75°17´
9	Chonta	12°36´	13°13´	75°00´	76°00´
10	Ampato	15°12´	15°52´	71°48´	73°28´
11	Vilcabamba	13°15´	13°25´	72°30´	73°15´
12	Urubamba	13°08´	13°15´	72°00´	72°27´
13	Huanzo	14°12´	15°00´	72°11´	72°34´
14	Chila	15°22´	15°33´	71°38´	72°11´
15	La Raya	14°20´	14°33´	70°57´	71°02´
16	Vilcanota	13°22´	14°16´	70°38´	71°25´
17	Carabaya	13°33´	14°26´	69°37´	70°48´
18	Apolobamba	14°25´	14°44´	69°13´	69°32´
19	Volcánica	15°46´	16°51´	71°47´	70°33´

FUENTE: ANA (2014).

2.4. Nevado Yerupajá

El nevado Yerupajá se encuentra en el departamento de Ancash y Huánuco, al norte de la cordillera de Huayhuash, que ahora es considerado como la Reserva Nacional de Huayhuash por el SERNAP (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas). Según el ANA, 2014; el nevado de Yerupajá actualmente es uno de los 144 glaciares de la cordillera Huayhuash, el segundo nevado más alto del Perú con una altura de 6617 metros sobre el nivel del mar y uno de los principales aportantes de caudales en la cuenca de Pativilca con 98 glaciares y Marañón con 46 glaciares. Según estudios por la ANA, la cordillera de Huayhuash tuvo una pérdida de un 34.95 por ciento de su superficie desde el año 1970 al 2014. En la Figura 5, se visualiza el nevado Yerupajá del 2014 y en la Figura 6 se expresa las pérdidas de cobertura glaciar.

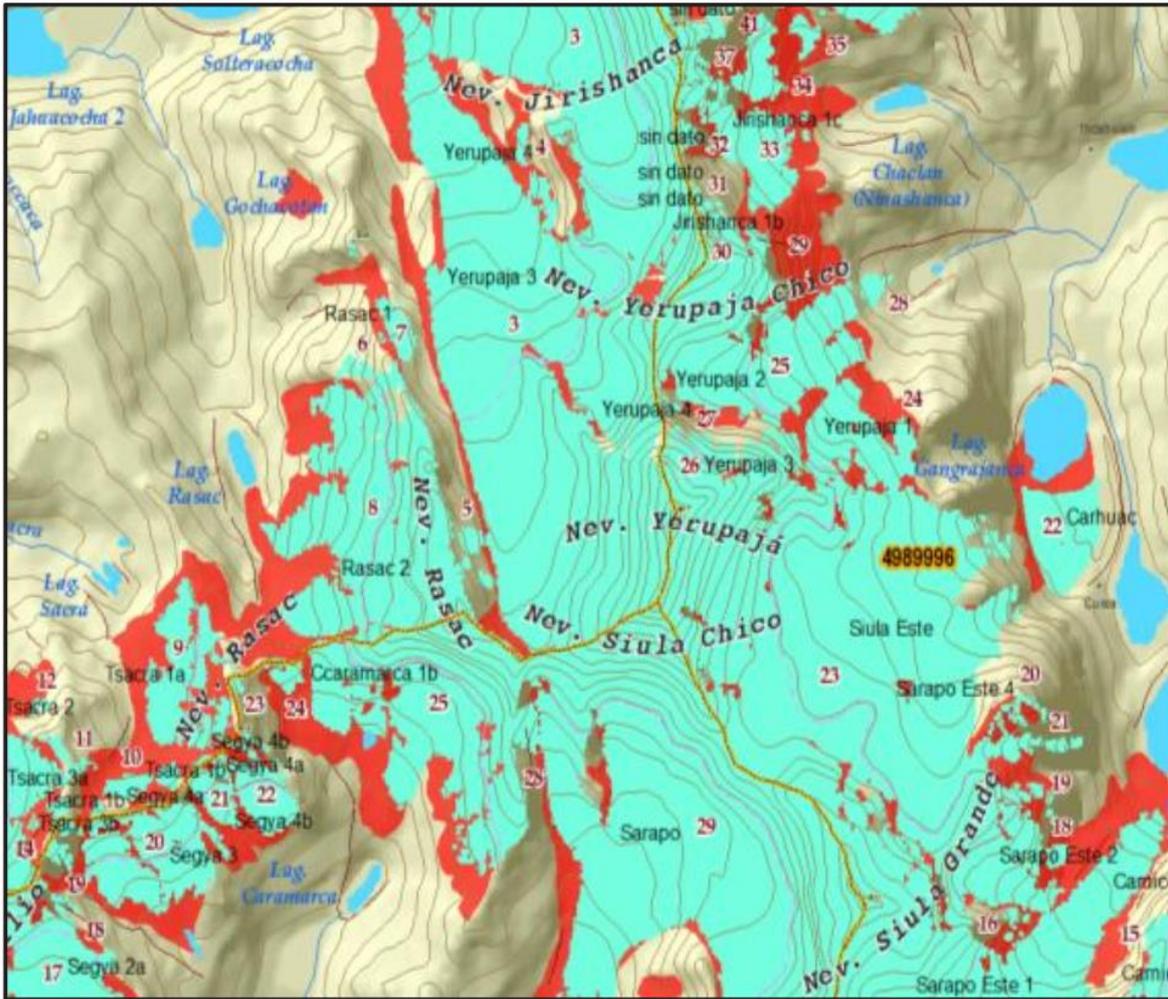


Figura 5: Vista del sistema montaña Yeropajá de las coberturas glaciara de 1970 (rojo) y 2007 (celeste)

FUENTE: ANA (2014).

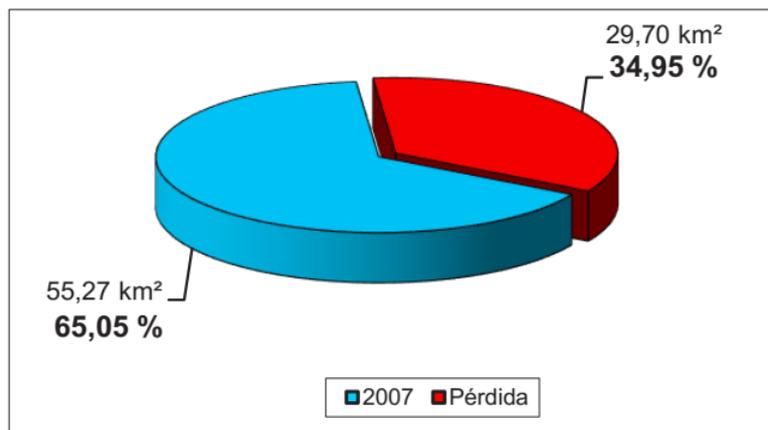


Figura 6: Pérdida de cobertura glaciara entre 1970 y 2007 en la cordillera Huayhuash

FUENTE: ANA (2014).

2.5. Variabilidad climática

Barradas y Martínez (2007) menciona que la variabilidad climática tiene que ver con la variación de las condiciones climáticas (temperatura y precipitación). Además, indica que estas variaciones se deben a factores internos (naturales) o factores externos (naturales o antropogénicos).

Montealegre y Pabón (2000), menciona que la variabilidad climática es evaluada en años particulares que registran valores por debajo o encima de lo normal. El valor normal es considerado como la media de una serie de datos de al menos 30 años y su diferencia con las variantes son consideradas como la variabilidad climática o anomalía.

2.6. Análisis de series temporales

Molinero (2004) indica que el análisis de series temporales tiene el objetivo de predecir, controlar y simular procesos y la generación de nuevas teorías a partir de una serie no determinista o aleatoria; es decir, no se puede definir con certeza los próximos sucesos climatológicos. Por lo tanto, solo series que cumplan con las características de no determinista o aleatoria puede proseguir con el análisis, caso contrario se procede a determinar el patrón a lo largo del tiempo.

2.3.1. Series temporales

Andrés (s.f.) indica que una serie temporal es la sucesión de informaciones observadas que fueron tomadas a través del tiempo. En los estudios climáticos, se pueden considerar como series temporales a las temperaturas máximas, medias o mínimas, precipitaciones diarias, etc.

Gallego (2008) indica que una serie temporal es un conjunto de observaciones de un intervalo regular de tiempo. La observación temporal suele ser: un año, trimestre, mensual, semanal, etc., y se descarta las series temporales compuestas para determinar la frecuencia de observaciones de la serie.

Fuentes (s.f.) indica que las series temporales reflejan el comportamiento de una variable en el tiempo. Además, que las observaciones de las series se encuentran en intervalos

temporales regulares y completas.

2.3.2. Heterogeneidad en los datos

Hydraccess (s.f.), indica que cabe destacar que las fuentes principales de heterogeneidad de los datos son los errores de observación y de medición. Detalladamente se puede expresar como la modificación del entorno de medición, ya sea por el cambio de ubicación o altura de los aparatos y crecimiento de árboles; también podría ser causa, la falta de calibración de los aparatos o su deformación. Por otro lado, la transmisión de la información como problemas de correo, de satélite y otros.

2.3.3. Prueba Estadística

Chiew y Siriwardena (2005) citado por Ramos (2018) indica que “el punto de partida de una prueba estadística es definir una hipótesis nula (H0) y una alternativa. Hipótesis (H1). Por ejemplo, para probar la tendencia en dos series temporales, H0 sería que no hay Tendencia en los datos, y H1 sería que hay una tendencia creciente o decreciente”.

Las pruebas para definir la homogeneidad de los datos temporales son los siguientes:

- Prueba estadística de T de student.

El cual se recomienda cuando las varianzas (n1 y n2) son iguales; siendo n1 y n2 el número de datos de las muestras de la relación total de la serie temporal de la estación (Villón, 2004).

A continuación, se muestran las ecuaciones para determinar T student calculada.

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} ; S_{\bar{d}} = S_p \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$tc = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_{\bar{d}}}$$

s1 y s2 ; son desviación estándar de las muestras

\bar{x}_1 y \bar{x}_2 ; son medias de las muestras.

tc ; t calculado

Se considera que si; t-tabla es mayor que t-calculada la relación de series temporales son consistentes.

- Prueba F de Fisher

Expresión de la ecuación para F calculada es (Villón, 2004):

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)}, \quad \text{si } S_2^2(x) > S_1^2(x) \quad F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}, \quad \text{si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

para determinar la F tabla es necesario la tabla de prueba F (ver anexo).

En el cual se verifica la homogeneidad en la varianza; si:

- F. tabla es mayor o igual que F. calculada; existe consistencia en la varianza
- F. tabla es menor que F. calculada; existe inconsistencia en la varianza

- Análisis de Saltos

Dicho análisis es visual en donde se visualiza los saltos respecto a la media y la determinación de la desviación estándar. Dichos saltos podrían representar cambios humanos o naturales.

A continuación, se expresa las ecuaciones para realizar la corrección de saltos:

$$x'_t = \left[\frac{x_t - \bar{x}_1}{s_1} \right] * s_2 + \bar{x}_2 \quad ; \text{ para corregir el 1er periodo}$$

$$x'_t = \left[\frac{x_t - \bar{x}_2}{s_2} \right] * s_1 + \bar{x}_1 \quad ; \text{ para corregir el 2do periodo}$$

2.3.4. Coeficiente de determinación (R2)

Legates & McCabe Jr. (2005) citado por Coaquira (2018), indica que el coeficiente de determinación describe la proporción de la Varianza en los datos observados que puede ser cuantificada por la siguiente ecuación.

$$R^2 = 2 - \frac{(n - 2)}{n} * \frac{\sum_{i=2}^N (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=2}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde:

R2 : Coeficiente de determinación

n : Número de observaciones

xi : Valor observado

\hat{x}_i : Valor estimado por el modelo

\bar{x} : Promedio de los datos observados

Según Andersen et al. (2002) citado por Coaquira (2018), que el R2 fue clasificado bajo los

criterios:

muy bueno >0.95

bueno de $0.85 - 0.95$

satisfactorio de $0.65 - 0.85$

insatisfactorio <0.65

2.3.5. Coeficiente Correlación

Corresponde a la raíz cuadrada del coeficiente de determinación y es una medida del grado de asociación entre dos variables, si son completamente independientes el coeficiente de correlación toma valor cero (Barria, 2010; citado por Coaquira, 2018).

$$r = \sqrt{R^2}$$

Donde:

R^2 : Coeficiente de determinación

r : Coeficiente de correlación

Según Barria (2010) citado por Coaquira (2018); el “ r ” fue clasificado bajo los criterios de:

$r= 0.2$ a $r= 0.3$ coeficiente de correlación muy bajo.

$r= 0.4$ a $r= 0.5$ coeficiente de correlación bajo.

$r= 0.6$ a $r= 0.7$ coeficiente de correlación alto.

$r= 0.8$ a $r= 2.0$ coeficiente de correlación muy alto

El coeficiente de correlación de Pearson (r) es un índice de dependencia lineal entre dos variables. El coeficiente de correlación más utilizado es el de Pearson, este índice mide cuanto se relaciona una variable con los valores de otras (Ochoa, et al.; citado por Coaquira, 2018). El coeficiente varía entre -2 y 2 , mientras el coeficiente es lo más cercano a 2 o -2 se puede concluir que es mayor la relación entre las variables y mientras más cercano a 0 menor será la relación.

2.7. Análisis de consistencia de la información hidrológica

Villón (2004) indica que un análisis de consistencia se basa en identificar, evaluar y eliminar los posibles errores que pudieran presentar las series temporales (precipitación) ya sean por causas naturales o de la intervención humana a través de criterios físicos y métodos

estadísticos.

Huamani, 2014 citado por Coaquira 2018, indica que el análisis de consistencia consiste en determinar una serie temporal representativa a su magnitud real; a través, de métodos analíticos y la consideración de la calidad de los datos, su densidad, homogeneidad y la coincidencia temporal de las observaciones con las otras estaciones de su entorno. Se entiende como homogeneidad a la condición de los datos que fueron afectados por anomalías propias de la ubicación, representadas como “outliers”.

Rodríguez, 2017 citado por Coaquira 2018, recomienda que antes de cualquier modelamiento que se desee hacer con las series temporales, es necesario realizar el análisis de consistencia a través de los siguientes procesos:

- **Análisis visual gráfico**
A través de flujogramas y la proyección de la línea de tendencia para cada una de las estaciones meteorológicas o hidrológicas.
- **Análisis doble masa.**
Dicho análisis se realiza visualizando el gráfico entre el acumulado de la media de las estaciones y el acumulado de la estación a analizar. En dicho grafico se visualiza los faltos y posibles errores en las estaciones.
- **Análisis estadístico.**
Proceso en el cual se realiza las pruebas Fisher y t-Student de las series temporales para evaluar la homogeneidad de los datos.

2.7.1. La regionalización

Romero (2013) citado por Ramos (2018), indica que la regionalización es la agrupación de regiones con características homogéneas que permiten comprender algún fenómeno de forma global. Adicionalmente, Frederic (1997), indica que la regionalización consta en identificar zonas donde los comportamientos pluviométricos sean homogéneos, de datos corregidos durante la etapa precedente.

2.7.2. Análisis del Vector Regional

Freile y Manciatí (2007) citados por Ramos (2018), indica que “El Vector Regional (VR) es, ante todo, un método de análisis de datos (y ocasionalmente de reconstitución de datos faltantes). Fue elaborado por personal del ORSTOM – IRD en los años setenta, como lo indican Brunet Moret (1979) y Hiez (1977), con el objeto de homogenizar los datos pluviométricos. Sin embargo, se puede utilizar este método para otros datos que no sean lluvias, con tal que éstos sean relativamente independientes entre sí de un año a otro, y que sean pseudo - proporcionales. Esta última condición significa que los datos de las diferentes estaciones deben variar en el mismo sentido y en proporciones similares, con variaciones ligeras debidas a las perturbaciones o señales que pueden existir en los datos de análisis”.

Espinoza (2005) citado por Ramos (2018) indica que es un método basado en la crítica de los datos, la homogenización y la extensión-complementación de los datos de precipitación. Dicho análisis bajo la premisa de que las estaciones evaluadas sean independientes sin embargo deberá cumplir con la tendencia de precipitación con leves variaciones.

Lavado y Luna (2015) mencionan lo siguiente; “La ventaja de utilizar el VR, es la extensión de datos; pero para ello se debe tener un grupo de estaciones que guarde una buena correlación y además la D.E.D. debe ser menor a 0.2; y bajo estos lineamientos el VR realizará un correcto completado de datos. Por otro lado, las estaciones que se encuentren espacialmente muy alejadas y donde exista una variabilidad de la precipitación, lo más idóneo será utilizar otros métodos convencionales como el método de regresión”.

Brunet y Moret (1979) citado por Ramos (2018) indica que “El método del vector regional consiste en lo siguiente: en lugar de comparar dos estaciones por correlación o doble masa como en otros casos, aquí se elabora una estación ficticia que sea una «especie de promedio» de todas las estaciones de la zona con la cual se compara cada una de las estaciones. El VR emplea para el cálculo de esta estación “Vector” el concepto de precipitación media extendida al periodo de trabajo. Se emplea el método de mínimos cuadrados para encontrar los índices pluviométricos regionales anuales Z_i y la precipitación media extendida P_j el que se muestra en la siguiente ecuación matemática.”

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left(\frac{P_{ij}}{P_i} - Z_i \right)$$

“Donde i es el índice de año, j el índice de estación, N el número de años y M el número de estaciones P_{ij} es la precipitación anual en la estación j el año i , P_j es la precipitación media extendida al periodo de n años y finalmente Z_i es el índice pluviométrico regional del año i (Brunet y Moret, 1979 citado por Ramos 2018).

Brunet-Moret (1979), citado por considero que una zona climática puede estar representada por un vector cuya esperanza matemática es igual a 1. La ecuación $A=B+E$ se puede escribir:

$$\frac{x_{ij}}{x_{mj}} = Z_1 + e_{ij}$$

Donde:

X_{ij} : es el total anual de la estación j para el año i

X_{mj} : es la media de las X_{ij}

Z_1 : es el componente del vector del año i

Entre las diferencias de aplicar el método de vector regional por G. Hiez y el de Brunet Moret es que el primero está basado en el cálculo de la moda, mientras que el segundo se basa en el promedio, eliminando los valores demasiado alejados del promedio.

2.7.3. Software Hydraccess

Coaquira (2018) indica que “el software HYDRACCESS fue desarrollado por el Ing. Philippe Vauchel del Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo (IRD) diseñado sobre la plataforma de los paquetes Access y Excel. Éste programa, además, de manejar un banco de datos, ofrece muchos tratamientos básicos como el Vector regional, Corr/vector que permiten hacer los análisis, la crítica y el tratamiento de la información”.

Para la hidrometría, el programa permite:

- Almacenar características de estaciones (ubicación, cuenca, río, administrador, informe histórico, inventario de datos disponibles, etc.).
- Calcular datos diarios, mensuales y anuales a partir de datos instantáneos (con el método de trapecios).
- Exportar a Excel los aforos, a partir de los caudales se puede elaborar curvas de calibración.

- Utilizar las curvas de calibración para traducir las cotas en caudales.

2.8. Teledetección y percepción remota

La teledetección es una técnica a través de la cual se obtiene información de un objeto sin tener contacto directo con él, esto es posible gracias a la relación sensor-cobertura, la cual en el caso de los barredores multi-espectrales se expresa a través de la llamada radiación electromagnética. Esta relación se puede presentar en tres formas: Emisión, Reflexión y Emisión-Reflexión, el flujo de energía que se produce por alguna de estas formas va a estar en función de la transmisión de energía térmica (Martínez, 2005 citado por Ramos 2018).

“El Instituto Geográfico Nacional de España (2016) define la teledetección como la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre enfatizando el empleo de sensores instalados en plataformas espaciales. En la bibliografía brasilera, se desglosa la detección remota (traducido del portugués sensoramiento remoto) donde el primer término refiere a la tecnología que permite obtener distintos tipos de datos por medio de sensores indistintamente donde se encuentren instalados; mientras que el término “remoto” hace mención a la obtención sin contacto físico entre el sensor y el objetivo” (Florenzano, 2012 citado por Flores, 2016).

Para poder desarrollar el proceso completo de detección remota, se necesita un sistema compuesto de los siguientes elementos (Chuvienco, 2010 citado por Flores, 2016):

- Fuente de energía: el origen de la radiación electromagnética que detecta el sensor puede tratarse de un foco externo a éste (teledetección activa) o proveniente del mismo.
- Cubierta terrestre: formada por distintas masas de vegetación, suelos, agua o construcciones humanas que reciben la señal energética y la reflejan de acuerdo con sus características fisicoquímicas.
- Sistema sensor: compuesto por el sensor y la plataforma que lo alberga. Sirve para captar la energía reflejada, codificarla y grabarla o enviarla al sistema de recepción.
- Sistema de recepción - comercialización: recibe la información transmitida por el sensor grabándola en un formato apropiado, aplicar correcciones y distribuirla a los interesados.
- Intérprete: quien convierte los datos en información temática de interés.

- Usuario final: quien analiza y dictamina.

2.9. Teledetección en Nieve

Diego (2008) menciona que los glaciares pueden ser monitoreados por la teledetección a través del método de restitución aerofotogramétrica; indicando el uso de imágenes satelitales (ASTER, SPOT, ALOS, por ejemplo), permitiendo estimar el cambio de superficies; sin embargo, detalla que el problema del uso de estas imágenes es que la resolución vertical es baja, limitando la determinación de volúmenes de los glaciares.

En el año 2014 la Unidad de Glaciología y Recurso Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua ha realizado la tercera actualización del inventario de los glaciares a través de técnicas de Teledetección y el manejo de sistemas de información geográfica. Para dicho estudio se usó imágenes satelitales de Spot 5, Aster, Liss III y LandSat de media resolución y modelos de elevación digital aplicando el algoritmo Normalized Difference Snow Index (NDSI) además de análisis multi-temporales para la diferenciación de glaciares y nieve temporal. El estudio concluye que las últimas cuatro décadas se obtuvieron pérdidas de 42.64% de superficie de nevado glaciar (Autoridad Nacional del Agua, 2014).

2.10. Índice Normalizado de Diferenciación de Nieve (NDSI)

“El NDSI ayuda a distinguir la superficie glaciar de otras formas similares, como suelos brillantes, agua y nube”. A partir de las bandas de resolución espectral visible verde y Rmedio. (Dozier, 1989 citado por Medina y Mejía, 2013).

A continuación, se presenta las ecuaciones para la identificación de nevados en cada sistema satelital (Ramos, 2018):

- LandSat 5TM y 7TM (mapas temáticos)

$$NDSI = \frac{B_2 - B_5}{B_2 + B_5}$$

Donde,

B2: Banda 2 (Banda Verde)

B5: Banda 5 (Banda Infrarroja de Onda Corta)

- LandSat 8 OLI (imagen de tierra operacional)

$$NDSI = \frac{B_3 - B_6}{B_3 + B_6}$$

Donde,

Green: Banda 3 (Banda Verde)

SWIR: Banda 6 (Banda Infrarroja de Onda Corta)

A continuación, se presenta la Tabla 2, la comparativa de las estaciones LandSat, en el cual se observa que las bandas verde e infrarrojo utilizados para el NDSI se encuentran en resoluciones espectrales entre 0.52 a 0.6 micras y 1.56 a 1.66 micras respectivamente:

Tabla 2: Comparación de plataformas LandSat

Plataforma Sensor	Resolución Espectral (II)	Resolución Espacial (m)	Resolución Temporal (Días)	Resolución Radiométrica (Bits)	Área de Cobertura (Km)
Landast-5 TM Thematic Mapper	B1:0.45-0.52 (visible-azul)	30	16	8	185x170
	B2:0.52-0.60 (visible-verde)	30			
	B3:0.63-0.69 (visible-rojo)	30			
	B4:0.76-0.90 (R cercano)	30			
	B5:1.55-1.75 (R medio)	30			
	B6:10.4-12.5 (R térmico)	120			
	B7: 2.08-2.35 (R medio)	30			
Landast-7 ETM Spectral Bands	B1:0.45-0.52 (visible-azul)	30	16	8	185
	B2:0.52-0.60 (visible-verde)	30			
	B3:0.63-0.69 (visible-rojo)	30			
	B4:0.77-0.90 (R cercano)	30			
	B5:1.55-1.75 (R medio)	30			
	B6:10.4-12.5 (R térmico)	60			
	B7: 2.09-2.35 (R medio)	30			
	B8:0.52-0.90 (Pancromática)	15			
Landast-8 Operational Land Imager (OU) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)	B2:0.450-0.515 (visible-azul)	30	16	16	183x170
	B3:0.525-0.600 (visible-verde)	30			
	B4:0.630-0.680 (visible-rojo)	30			
	B5:0.845-0.885 (R cercano)	30			
	B6:1.560-1.660 (SWIR 1)	30			
	B7:1.560-1.660 (SWIR 2)	30			
	B8:0.500-0.680 (Pancromática)	15			
	B9:1.360-1.390 (Cirrus)	30			
	B10:10.30-11.30 infrarrojo térmico (TIRS)	100			
	B11:11.50-12.50 infrarrojo térmico (TIRS) 2	100			

FUENTE: Ministerio del Ambiente (2014).

III. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación de la zona de estudio

El presente proyecto de la investigación se realizará en el nevado Yerupajá, políticamente se ubica entre los departamentos de Ancash, Junín y Lima, entre la cuenca Pativilca y Alto Marañón, como se muestra en la Figura 7; que cubre un área aproximada de 49.44 kilómetros cuadrados y con altura entre 4600 a 6627 metros sobre el nivel del mar.

- UBICACIÓN UTM:

zona 28L Este : 282242 - 296952

Norte :8854392 - 8872325

- Ubicación Geográfica:

Hemisferio Sur Latitud : 20° 22' - 20° 27'

Longitud: 76° 52' - 77°00'

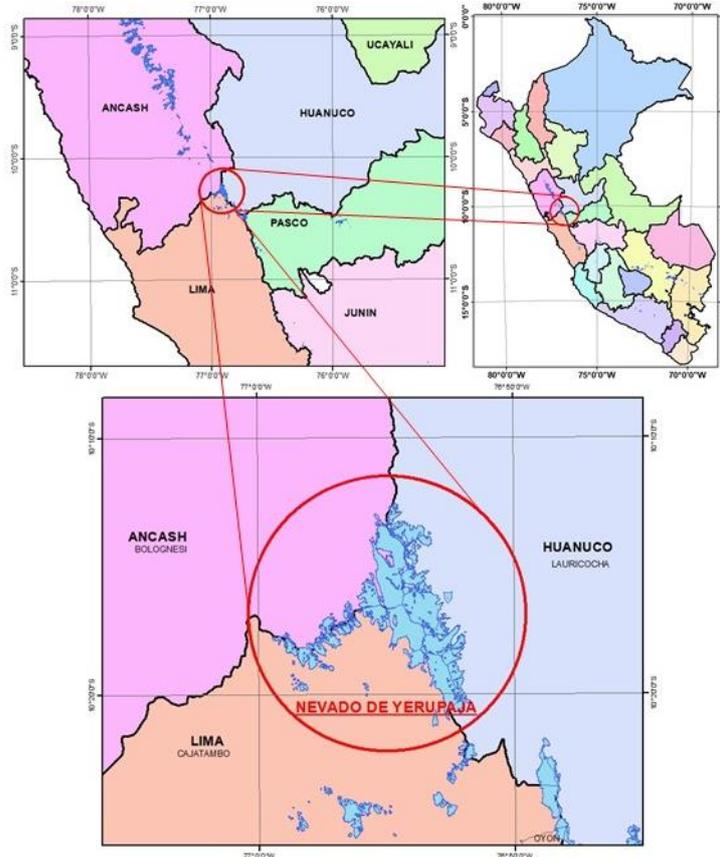


Figura 7: Ubicación de área de estudio

3.2. Materiales

3.2.1. Información geográfica

a. Cartografía

Las Cartas Nacionales serán obtenidas del Instituto Geográfico Nacional (IGN), serán descargadas las cuencas hidrográficas, límites departamentales, provinciales y distritales, todo ello para poder definir el área de investigación y a su vez servirán de suministro para la generación de los mapas temáticos. Página web: <http://www.idep.gob.pe/>

b. Modelo de Elevación Digital DEM

El Modelo de Elevación Digital del Terreno (DEM) será obtenido de la Misión Topográfica Radar Shuttle, NASA-NGA, EE.U.U. (SRTM), el cual es una misión para la obtención de un modelo digital de elevación de la zona del globo terráqueo comprendida entre 56°S a 60°N. La resolución equivale a 0.0008° ó 90 m x 90 m de grilla de resolución en escala 1:100'000. Esta información se encuentra disponible en la base de datos de la página Web del CGIAR – CSI (Consortio para la Información espacial).

3.2.2. Información meteorológica

Precipitación (1995-2014 PPmedia, PPmax, PPmín)

FUENTE: proporcionados por el SENAMHI-Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

SENAMHI, es un organismo público ejecutor adscrito al ministerio del ambiente; con el propósito de generar y proveer información y conocimientos meteorológicos, hidrológico y climático de más de 900 estaciones meteorológicas e hidrológicas en beneficio de la sociedad peruana.

3.2.3. Información hidrográfica

- Caudales de los ríos.

FUENTE: proporcionados por la ANA-Autoridad Nacional del Agua del Perú. Disponible en: <http://geo.ana.gob.pe:8080/geoportal/index.php/geoservicios/servicios-wms>

3.2.4. Imágenes satelitales LandSat

Las imágenes satelitales serán las del periodo de escasa precipitación y que no presenten nubes sobre la superficie glaciaria o en una mínima proporción que representen un problema para su digitalización (Medina y Mejía, 2013).

FUENTE: USGS Glovis

Disponible en: <https://glovis.usgs.gov/app>

3.2.5. Información Glaciológica

Registros de la dinámica de los glaciares del nevado de Yerupajá

FUENTE: Instituto glaciológico del Perú.

3.2.6. Software

- a. MS. EXCEL 2016, para la elaboración de tabla de datos y el análisis estadístico.
- b. ArcGis 10.3, para el procesamiento de imágenes de satélite y establecer el índice de normalizado de nieve (NDSI), definir áreas y generar mapas temáticos.
- c. Programación HYDRACCESS 2019 bajo plataforma MS. Access 2016, para generar el vector Regional para el parámetro de precipitación, análisis de consistencia y como uno de los métodos de completado de datos.

3.3. Método

Como se menciona con anterioridad en este proyecto, el principal objetivo es evaluar el Nevado Yerupajá durante 15 años y su relación con el entorno climático a través de un análisis estadístico de correlación y variabilidad; previo a un procesamiento de información. Por lo que a continuación se presenta el diagrama de procesos que se desarrolló en la investigación en la Figura 8:

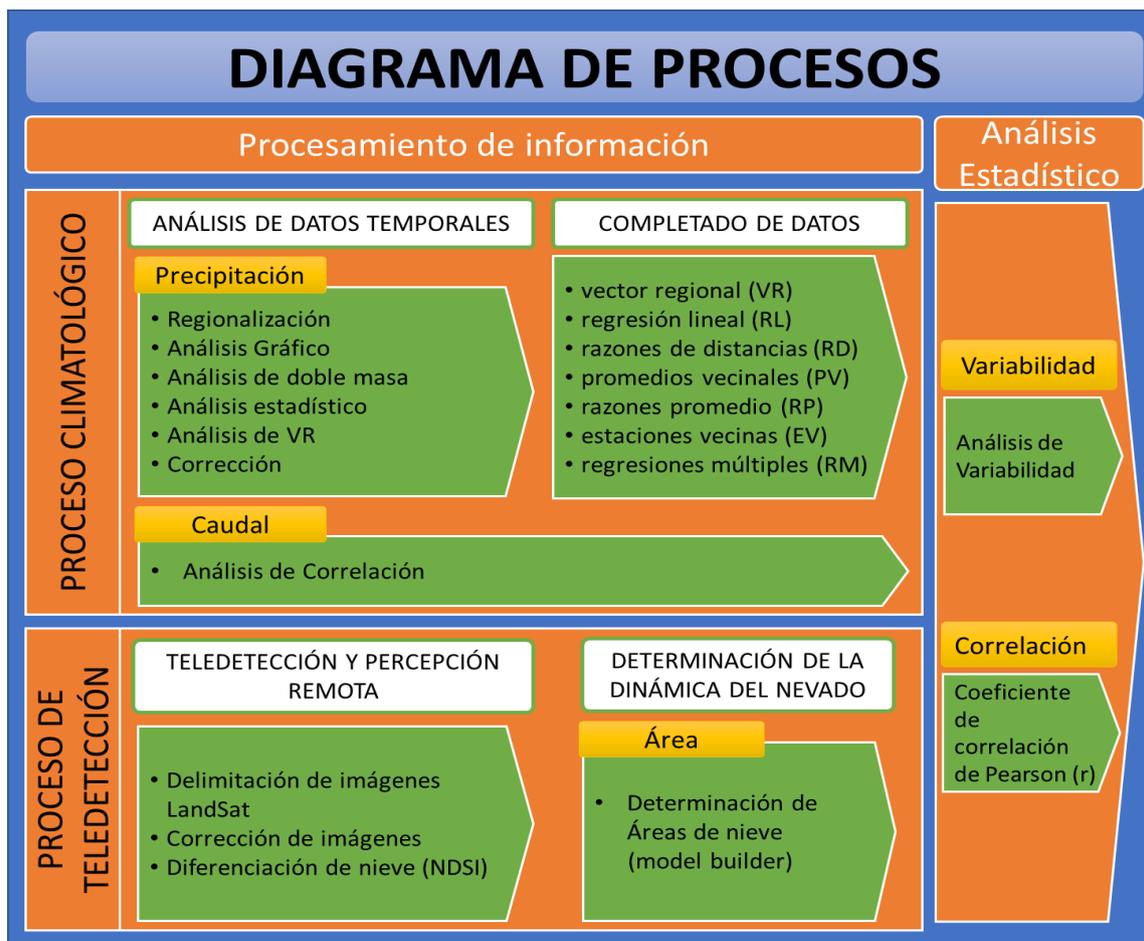


Figura 8: Diagrama de procesos para el desarrollo de la investigación

3.3.1. Recolección de Información

Para realizar la recolección de la información se tiene en consideración que se evaluará el mes abril de distintos años, periodo que se muestra en la Tabla 3. Debido a que según SENAMHI (2018); estudios realizados sobre las frecuencias de nevadas en el Perú, el mayor número de eventos se presentan en la vertiente del occidental para los meses de verano (diciembre, enero, febrero y marzo). Es decir, los meses que se rigieron para monitoreo y evaluación son en abril de cada año cuando la frecuencia de precipitación de nevada y lluvia disminuye. Adicionalmente, es el mes de abril se obtuvo la cobertura de nieve que aportará el caudal de los cauces como parte del flujo base durante los próximos meses.

En el caso de la precipitación se obtuvo información incompleta y se tuvo que realizar un análisis de consistencia con información de todos los meses desde el año 1991 al 2014. Por otro lado, los datos de caudal se encontraban completos desde el año 1999 al 2014. Con respecto a la información de imágenes LandSat se descargó de distintas fuentes (LandSat 5,

7 y 8); de los años del 1999 al 2015. Con respecto al manejo de las imágenes, para validar y calibrar el modelo de identificación de nieve, se contó con la información de las superficies del nevado determinadas por el ANA en los años 2007 y 2015 del mes de julio.

Tabla 3: Periodo de datos descargados

Variables	Periodo de descarga	Periodo de evaluación
Precipitación	1991- 2014	
Caudal	1999- 2014	1999-2014
Imágenes LandSat	1999- 2015	

A continuación, se menciona los procedimientos detallados para la recolección de la información:

a. Identificación de estaciones influenciadas

Durante este proceso el cual se diagrama en la Figura 9; se determinó las estaciones de meteorología e hidrología de las cuencas que se ven influenciadas por el nevado; en el cual se usó el método de Polígono de Thyssen.

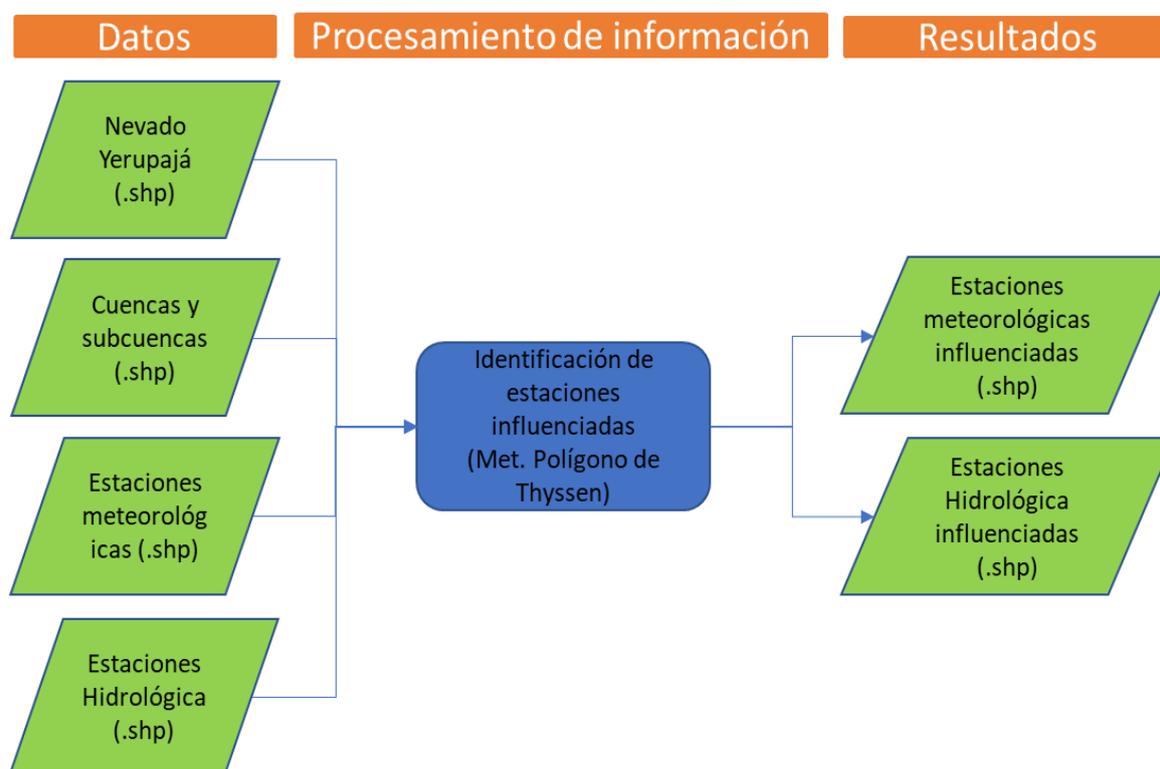


Figura 9: Proceso para la identificación de estaciones influenciadas

- Delimitación de estaciones meteorológicas

En la Tabla 4 se muestra las estaciones meteorológicas otorgadas por SENAMHI y la generación de Polígono de Thyssen, con lo cual se determinó el área representativa de cada estación.

Tabla 4: Identificación de 25 estaciones meteorológicas entorno al nevado Yerupajá

ID	Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Departamento	Provincia	Distrito
0001	Buena Vista	9° 26' 1.38"	78° 12' 29.8"	213.00	Ancash	Casma	Buena Vista Alta
0002	Chacchan	9° 32' 6.68"	77° 46' 31.29"	2266.00	Ancash	Huaraz	Pariacoto
0003	Pira	9° 35' 7"	77° 42' 25.9"	3625.00	Ancash	Huaraz	Pira
0004	Cajamarquilla	9° 37' 55.36"	77° 44' 28.88"	3286.00	Ancash	Huaraz	La Libertad
0005	Recuay	9° 43' 45.1"	77° 27' 13.15"	3431.00	Ancash	Recuay	Recuay
0006	Milpo	9° 53' 0"	77° 14' 0"	4400.00	Ancash	Recuay	Cátac
0007	Cotaparaco	9° 59' 1"	77° 35' 1"	3170.00	Ancash	Recuay	Cotaparaco
0008	Mayorarca	10° 9' 27.91"	77° 20' 56.01"	3335.00	Ancash	Bolognesi	Cajacay
0009	Chiquián	10° 8' 51.47"	77° 9' 34.18"	3386.00	Ancash	Bolognesi	Chiquián
0010	Ocos	10° 24' 16.46"	77° 24' .9"	3249.00	Ancash	Ocos	Ocos
0011	Cajatambo	10° 28' 40.38"	76° 59' 22.97"	3432.00	Lima	Cajatambo	Cajatambo
0012	Gorgor	10° 37' 16.89"	77° 2' 24.95"	3025.00	Lima	Cajatambo	Gorgor
0013	Oyón	10° 40' 3.69"	76° 46' 7.33"	3667.00	Lima	Oyón	Oyón
0014	Andájes	10° 47' 0"	76° 54' 0"	3950.00	Lima	Oyón	Andájes
0015	Pampa Libre	10° 51' 56.8"	76° 58' 12"	1756.00	Lima	Huaura	Checras
0016	Paccho	10° 57' 0"	76° 56' 0"	3250.00	Lima	Huaura	Paccho
0017	Picoy	10° 55' 17.92"	76° 44' 12.11"	2903.00	Lima	Huaura	Santa Leonor
0018	Parquin	10° 57' 59.95"	76° 43' 11.37"	3571.00	Lima	Huaura	Santa Leonor
0019	Pachamachay	11° 3' 54.89"	76° 54' 50.75"	3175.00	Lima	Huaura	Leoncio Prado
0020	Alcantarilla	11° 3' 38.45"	77° 33' .38"	131.00	Lima	Huaura	Huaura
0021	San Rafael	10° 19' 45.27"	76° 10' 35.47"	2722.00	Huánuco	Ambo	San Rafael
0022	Huánuco	9° 57' 7.24"	76° 14' 54.8"	1947.00	Huánuco	Huánuco	Amarilis
0023	Canchan	9° 55' 15.43"	76° 18' 34.62"	1986.00	Huánuco	Huánuco	Huánuco
0024	Tingo María	9° 18' 30.6"	76° 0' 1.59"	660.00	Huánuco	Leoncio Prado	Rupa-Rupa
0025	Tulumayo	9° 8' 49.4"	76° 0' 33.97"	640.00	Huánuco	Leoncio Prado	José Crespo y Castillo

A continuación, se visualiza en la Figura 10 la ubicación del nevado Yerupajá, las cuencas Alto Marañón, Pativilca y las estaciones meteorológicas monitoreadas por el SENAMHI y la aplicación del polígono de Thyssen.

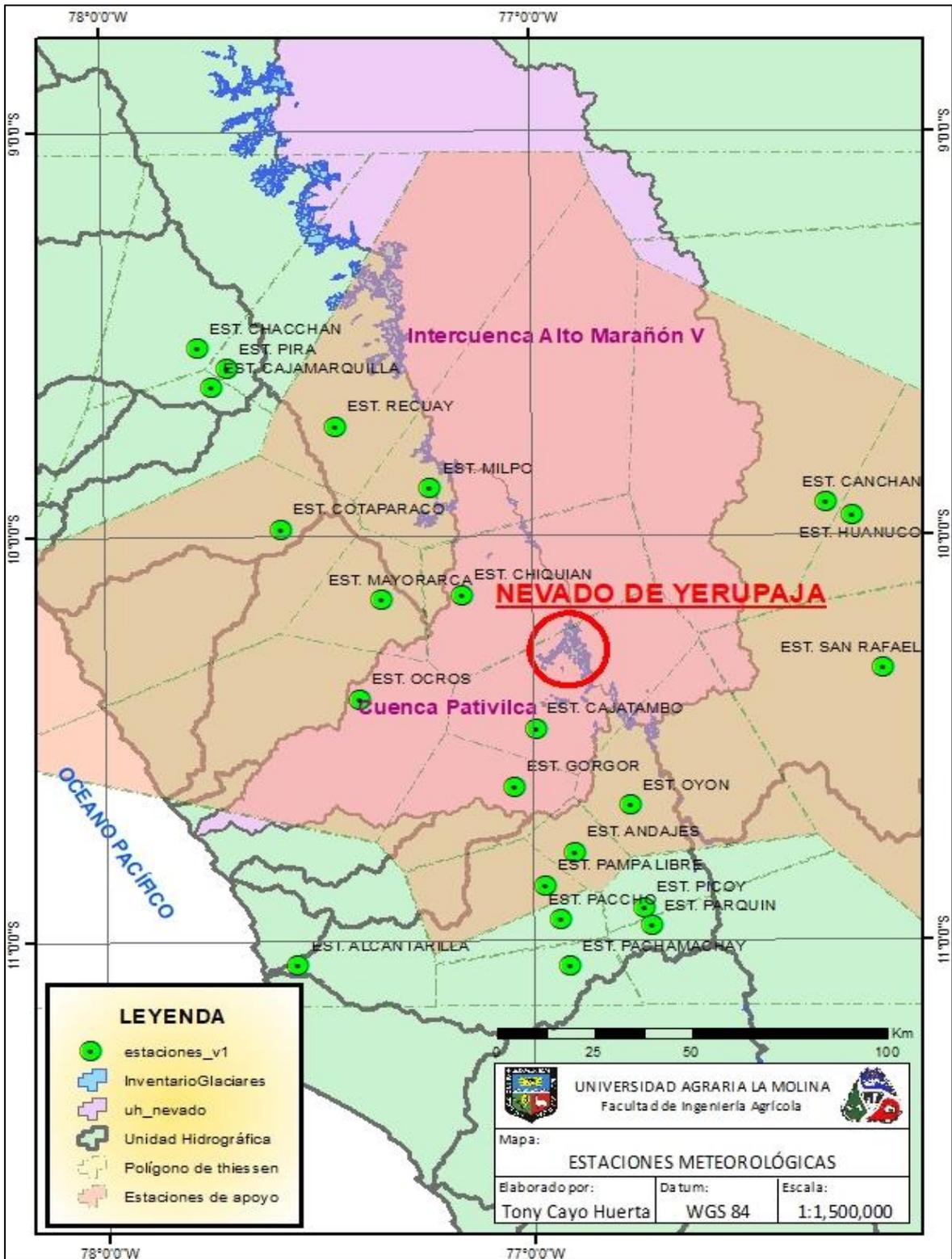


Figura 10: Estaciones meteorológicas

Con la proyección del polígono de Thyssen de las estaciones meteorológicas, se observó que las estaciones que mantienen relación directa y proximal con el nevado en estudio; son las que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Estaciones de Influencia de monitoreo del Nevado Yerupajá

ID_EST	Estación meteorológica	Latitud WGS 84 - Sur	Longitud WGS 84 - Oeste	Altitud m.s.n.m.	Departamento	Provincia	Distrito
0005	Recuay	9° 43' 45.1"	77° 27' 13.15"	3431.00	Ancash	Recuay	Recuay
0006	Milpo	9° 53' 0"	77° 14' 0"	4400.00	Ancash	Recuay	Catac
0007	Cotaparaco	9° 59' 1"	77° 35' 1"	3170.00	Ancash	Recuay	Cotaparaco
0008	Mayorarca	10° 9' 27.91"	77° 20' 56.01"	3335.00	Ancash	Bolognesi	Cajacay
0009	Chiquián	10° 8' 51.47"	77° 9' 34.18"	3386.00	Ancash	Bolognesi	Chiquián
0010	Ocros	10° 24' 16.46"	77° 24' .9"	3249.00	Ancash	Ocros	Ocros
0011	Cajatambo	10° 28' 40.38"	76° 59' 22.97"	3432.00	Lima	Cajatambo	Cajatambo
0012	Gorgor	10° 37' 16.89"	77° 2' 24.95"	3025.00	Lima	Cajatambo	Gorgor
0013	Oyón	10° 40' 3.69"	76° 46' 7.33"	3667.00	Lima	Oyón	Oyón
0014	Andájes	10° 47' 0"	76° 54' 0"	3950.00	Lima	Oyón	Andájes
0015	Pampa libre	10° 51' 56.8"	76° 58' 12"	1756.00	Lima	Huaura	Checras
0021	San rafael	10° 19' 45.27"	76° 10' 35.47"	2722.00	Huánuco	Ambo	San rafael
0022	Huánuco	9° 57' 7.24"	76° 14' 54.8"	1947.00	Huánuco	Huánuco	Amarilis
0023	Canchan	9° 55' 15.43"	76° 18' 34.62"	1986.00	Huánuco	Huánuco	Huánuco

- Delimitación de estaciones hidrológicas

En este caso tiene como representación las Inter-cuencas Achín, Rapay y Unidad Hidrográfica 498999 y sus ríos Llamac, Nupe y Rapay respectivamente; así como se muestra en la Figura 11 y se menciona en la Tabla 6.

Tabla 6: Estaciones Hidrométricas de la ANA-Perú de monitoreo del nevado Yerupajá

Estación Hidrológica	Pativilca- 2	Marañon-2	Pativilca-9
ID_EST.	H001	H002	H003
Latitud (WGS 84 - Sur)	-10.203	-9.995	-10.479
Longitud (WGS 84 - Oeste)	-77.101	-76.681	-77.174
Altitud (m.s.n.m.)	2646	3394	1430
Río	Río Llamac	Río Nupe	Río Rapay
Intercuenca	Achin	Unidad Hidrográfica 498999	Rapay
Cuenca	Pativilca	Intercuenca alto Marañon V	Pativilca

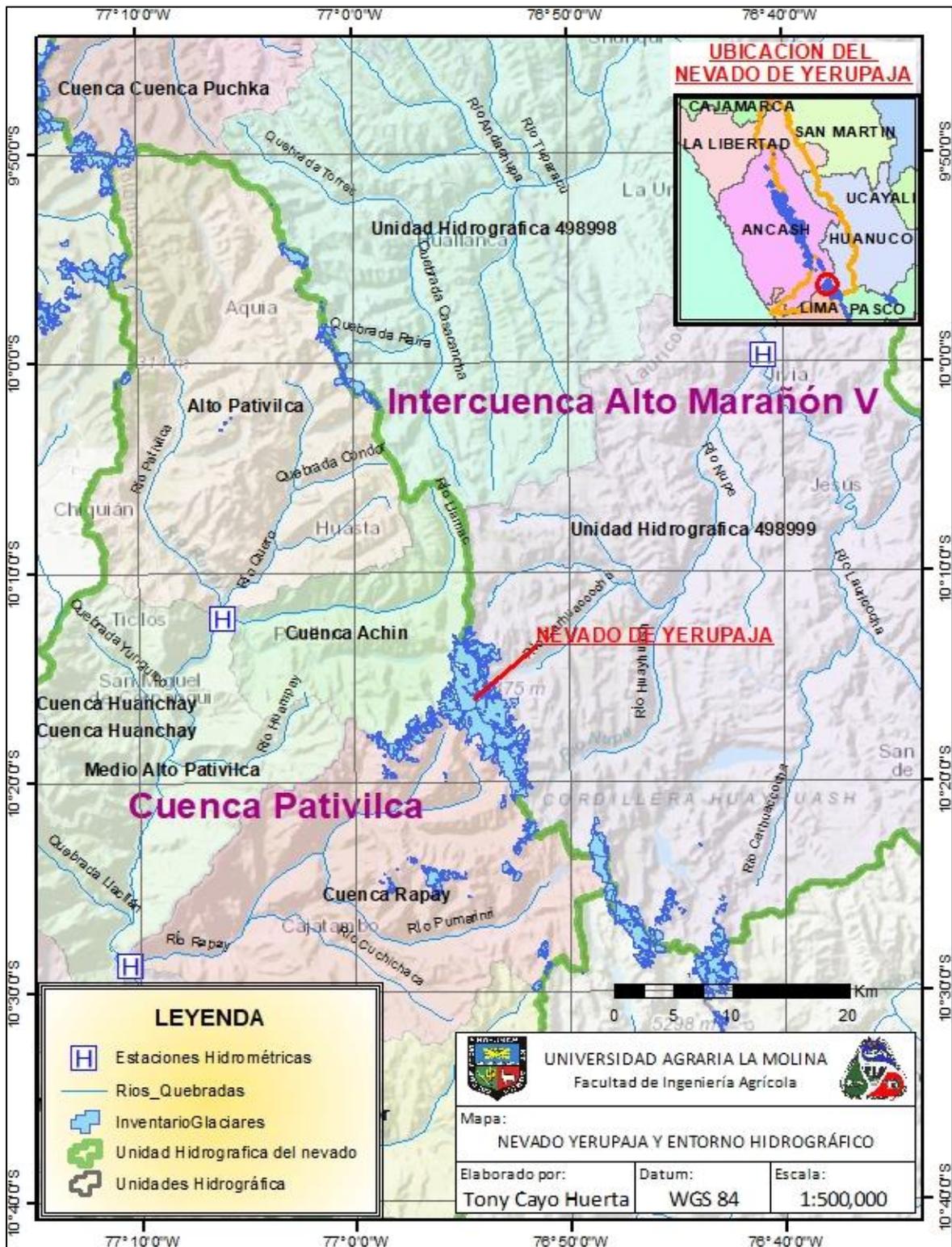


Figura 11: Nevado Yerupajá y entorno hidrográfico

b. Descarga de información

A continuación, se menciona como se recopiló la información temporal de precipitación, caudal e imágenes satelitales.

- Precipitación

En primer lugar, se accedió a la siguiente página web de SENAMHI: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>; página que se muestra en la Figura 12. Luego se procedió a identificar las estaciones que se destacó en el proceso anterior (6.3.2). Posteriormente se prosiguió los pasos de descarga que menciona la página: seleccionar estación, presionar “INGRESO” para iniciar sesión y luego presionar “DESCARGA” donde se tipeó las letras de la imagen para lograr la descarga. Los datos descargados se encontraron en formato TXT (separado por comas), el cual se abrió en Excel para mejor visualización (Se anexó la tabla de precipitación acumulada mensual calculada).

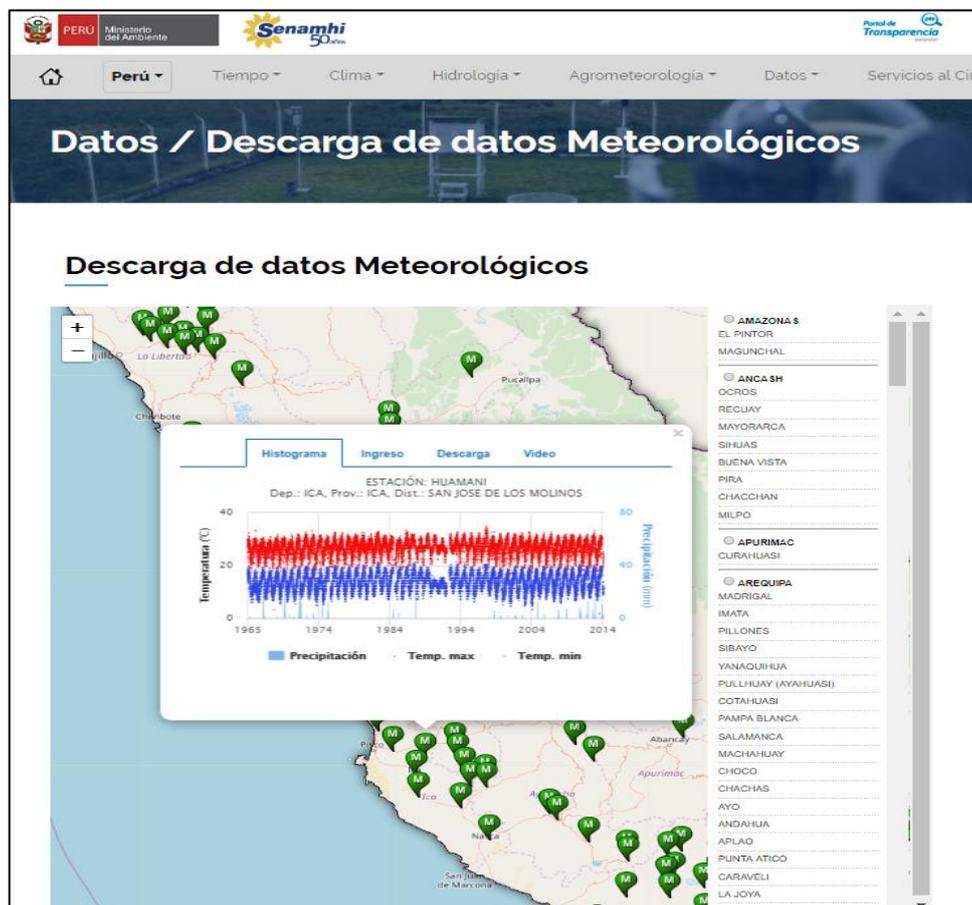


Figura 12: Plataforma de descarga de información del SENAMHI-Perú

FUENTE: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>

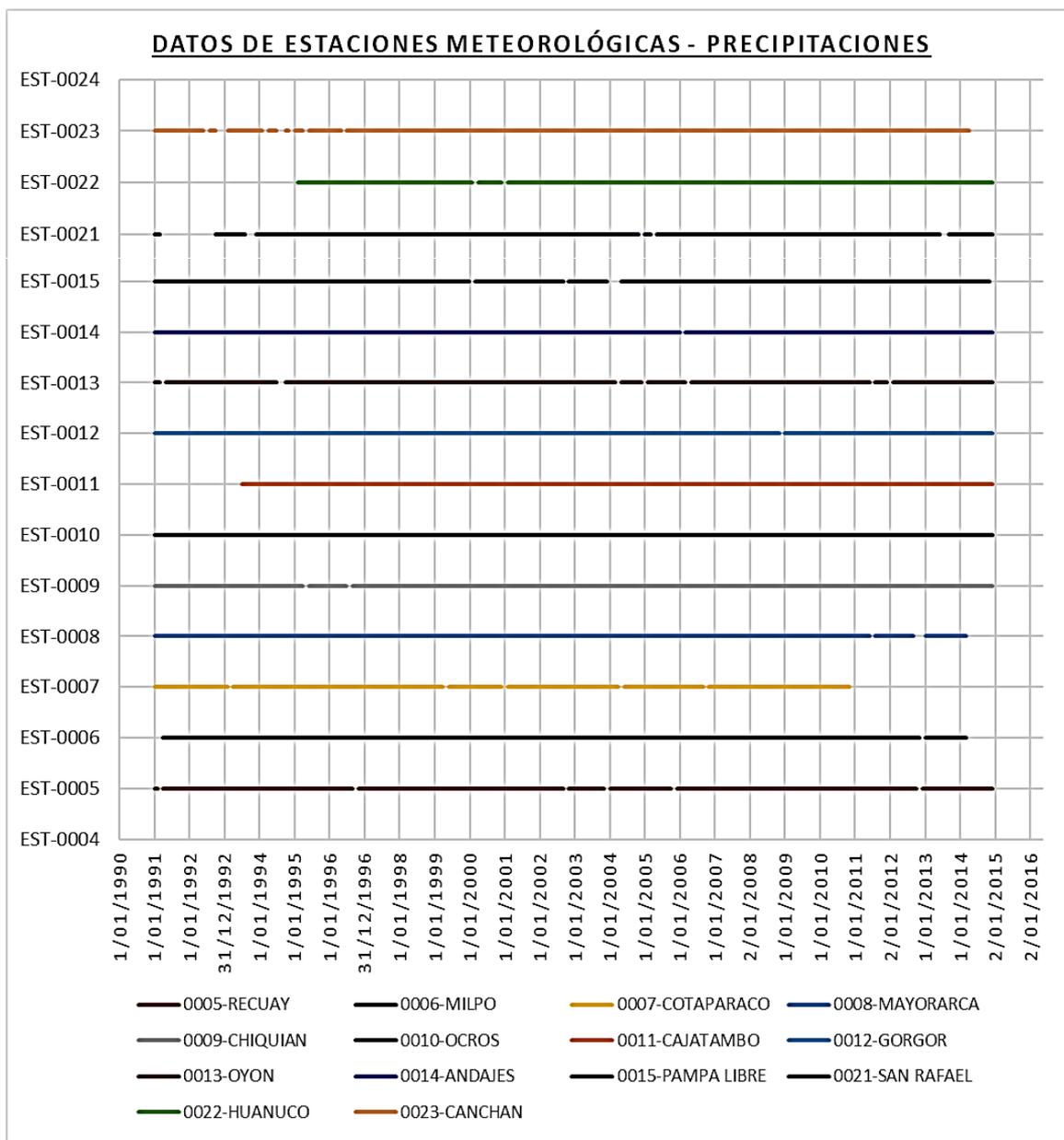


Figura 13: Datos de precipitación de las estaciones de influencia del Nevado Yerupajá

En la Figura 13 se visualiza la presencia de información tomada por las estaciones meteorológicas y a su vez la ausencia de información en algunos periodos. Dicha información fue útil para visualizar el periodo de evaluación, las estaciones en funcionamiento y los periodos en el que se requirió completar información.

- Caudal

En primero lugar se accedió a la siguiente página web de la ANA (Autoridad Nacional de Agua del Perú): <http://sofia.ana.gob.pe/public/map>; plataforma que se

visualiza en la Figura 14. Luego se procedió a identificar los cauces que son parte de las cuencas identificadas en el proceso anterior de delimitación de áreas de estudio. Posteriormente se prosiguió los pasos de descarga que menciona la página: seleccionar estación, presionar icono “CALCULOS” y luego seleccionar el cauce que se desea descargar el historial, donde apareció un gráfico y finalmente se seleccionó el icono de opciones y se seleccionó el formato de descarga XLS.

Los datos temporales de caudales fueron descargadas desde el año 1999 al 2013. Se anexa las tablas con los datos temporales de caudales de las siguientes estaciones hidrométricas.

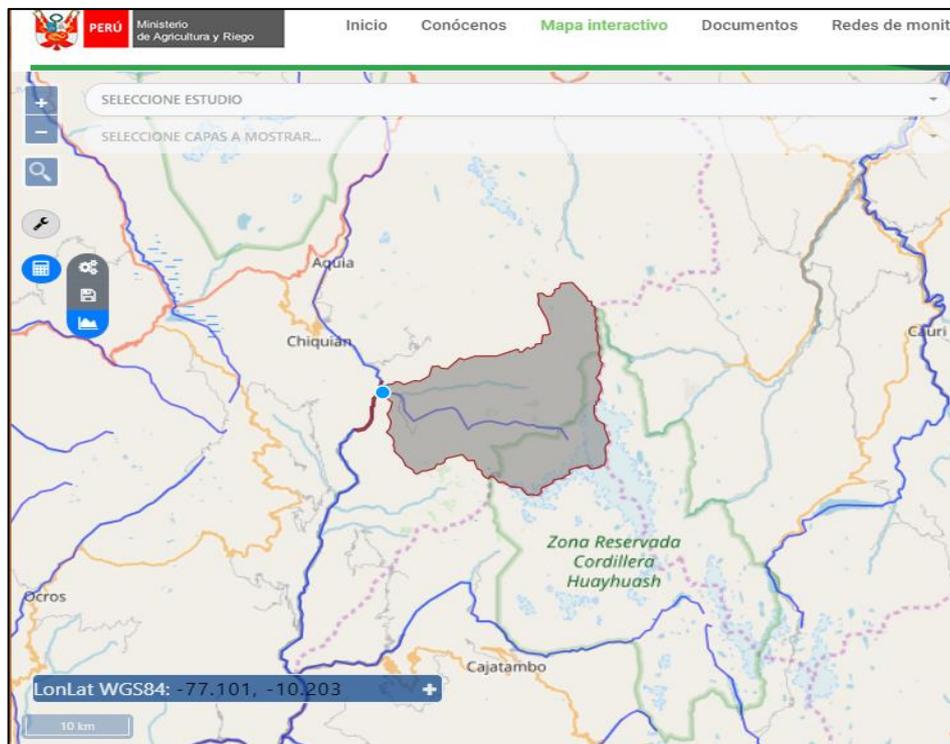


Figura 14: Plataforma de descarga de información de la ANA-Perú

Los datos temporales de caudales fueron descargadas de la página web de la ANA-Perú con una relación existente desde el año 1965 al 2013. Se anexa las tablas con los datos temporales de caudales de las siguientes estaciones hidrométricas.

En la Figura 15 se encuentra la estación Pativilca 2; perteneciente a la cuenca Achín y donde se encuentra el río LLamac. Esta estación se encuentra ubicada en la vertiente del Pacífico; lado noroeste del nevado Yerupajá. Y en la Figura 16 se muestra el hidrograma de la misma.

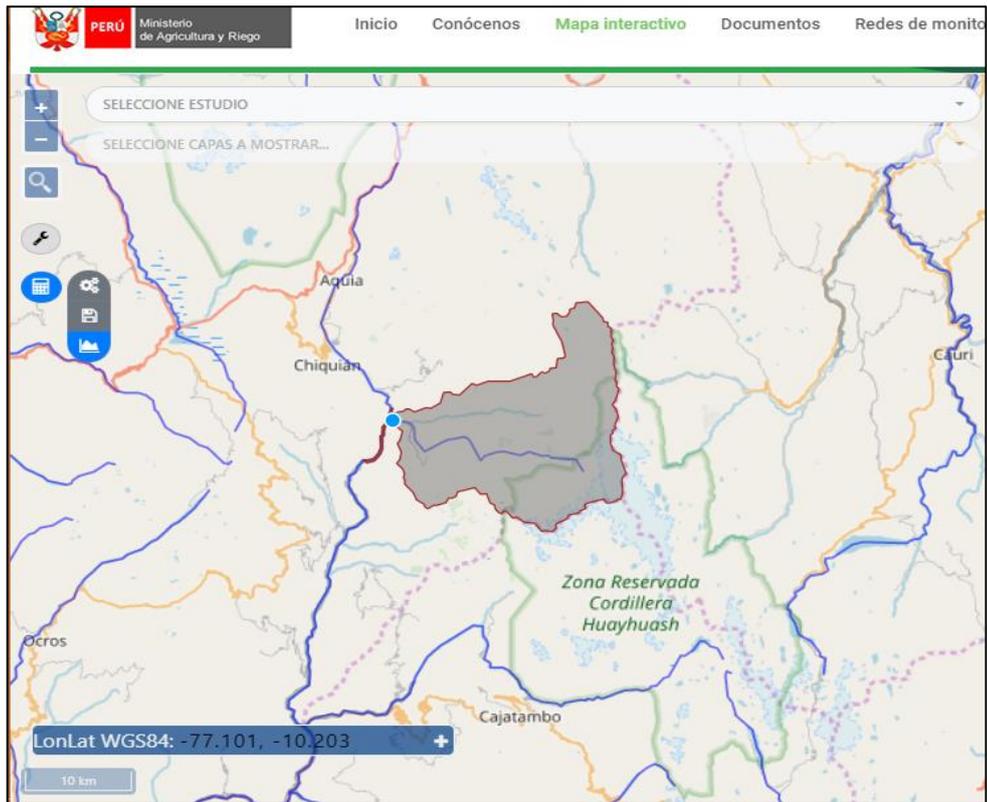


Figura 15: Estación “PATIVILCA-2” del río Llacmá en la cuenca Achin

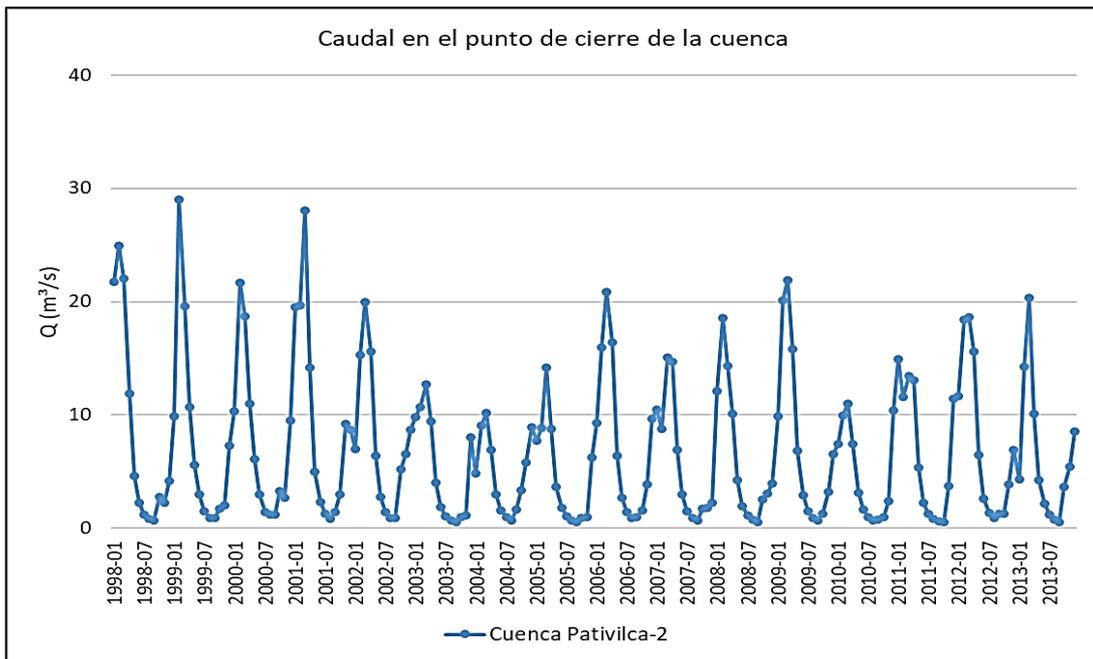


Figura 16: Hidrograma de caudales monitoreados por la estación Pativilca-2

En la Figura 17 se encuentra la estación Marañón-2; perteneciente a la cuenca UH 498999 y donde se encuentra los ríos Huayhuash, Carhuacocha, Machaicancha, quebrada

Cocanmachai y río Nupe. Esta estación se encuentra ubicada en la vertiente del Atlántico; lado sureste del nevado Yerupajá. Y en la Figura 18 se muestra el hidrograma de la misma.

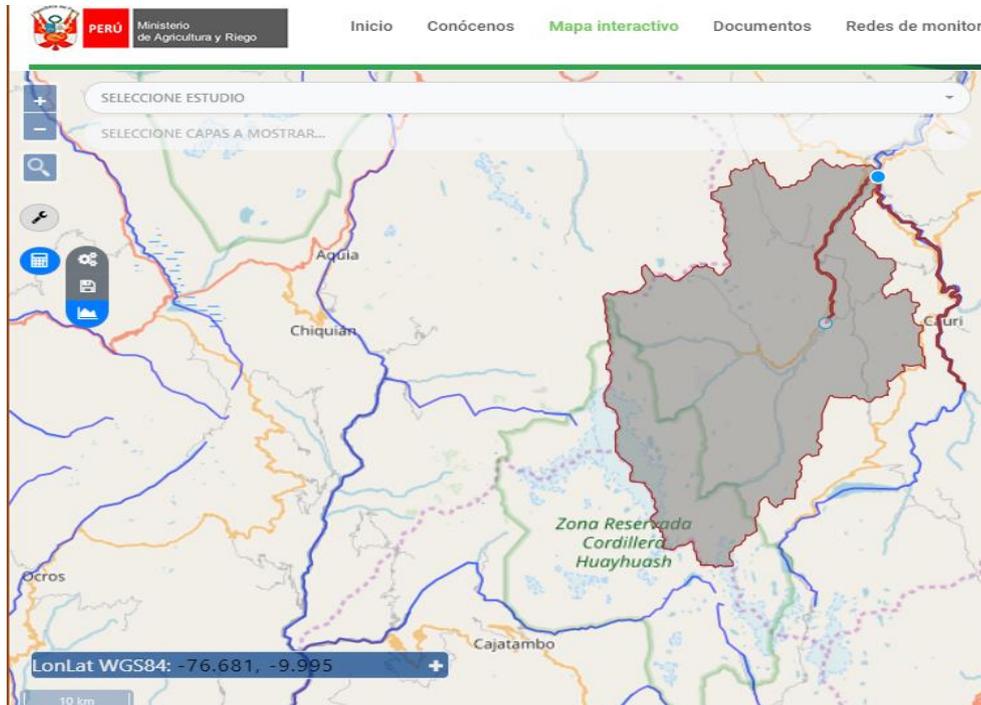


Figura 17: Estación “MARAÑÓN-2” de los Ríos altos (río Huayhuash, río Carhuacocha, río Machaicancha, quebrada Cocanmachai) y río bajo (Nupe) en la cuenca alta de la unidad hidrográfica – 498999

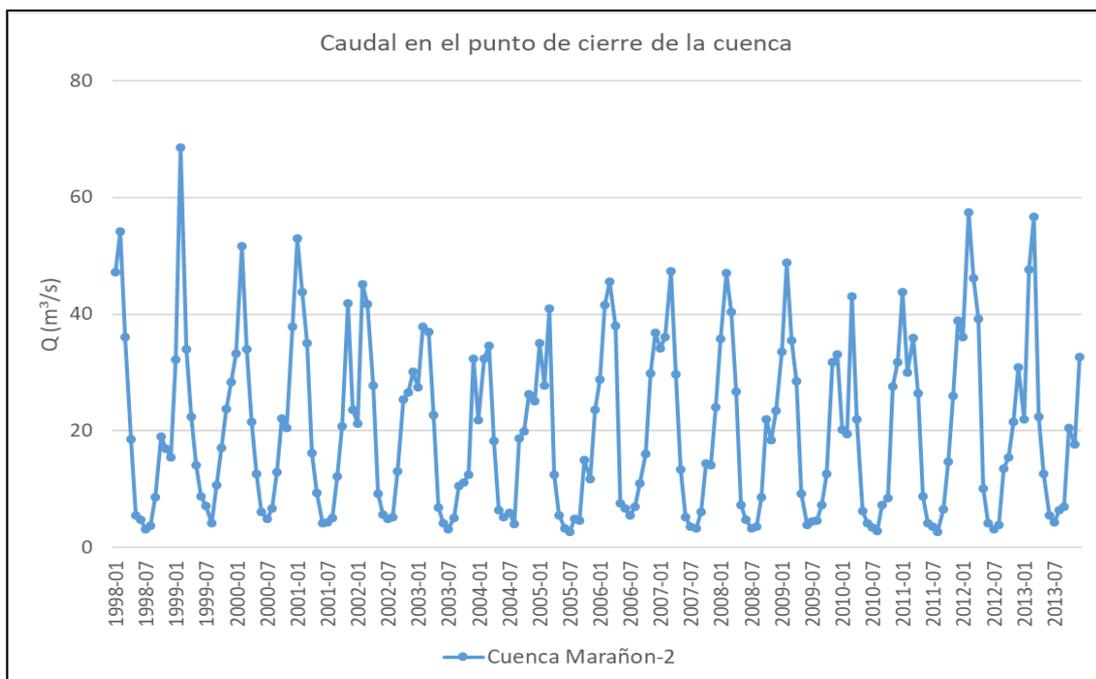


Figura 18: Hidrograma de caudales monitoreados por la estación “MARAÑÓN-2”

En la Figura 19 se encuentra la estación Pativilca-9; perteneciente a la cuenca Pativilca y donde se encuentra los ríos altos (Huayllapa, Pumarinri, Cuchichaca) y río bajo (Rapay). Esta estación se encuentra ubicada en la vertiente del Pacífico; lado sureste del nevado Yerupajá. Y en la Figura 20 se muestra el hidrograma de la misma.

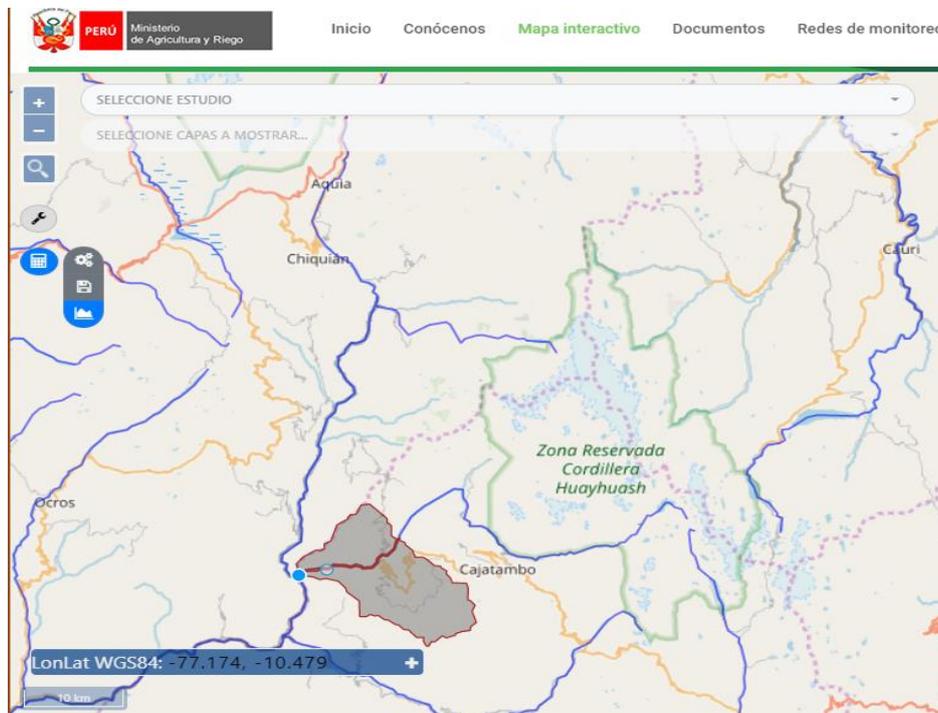


Figura 19: Estación “PATIVILCA-9” de los ríos altos (Huayllapa, Pumarinri, Cuchichaca) y río bajo (Rapay)

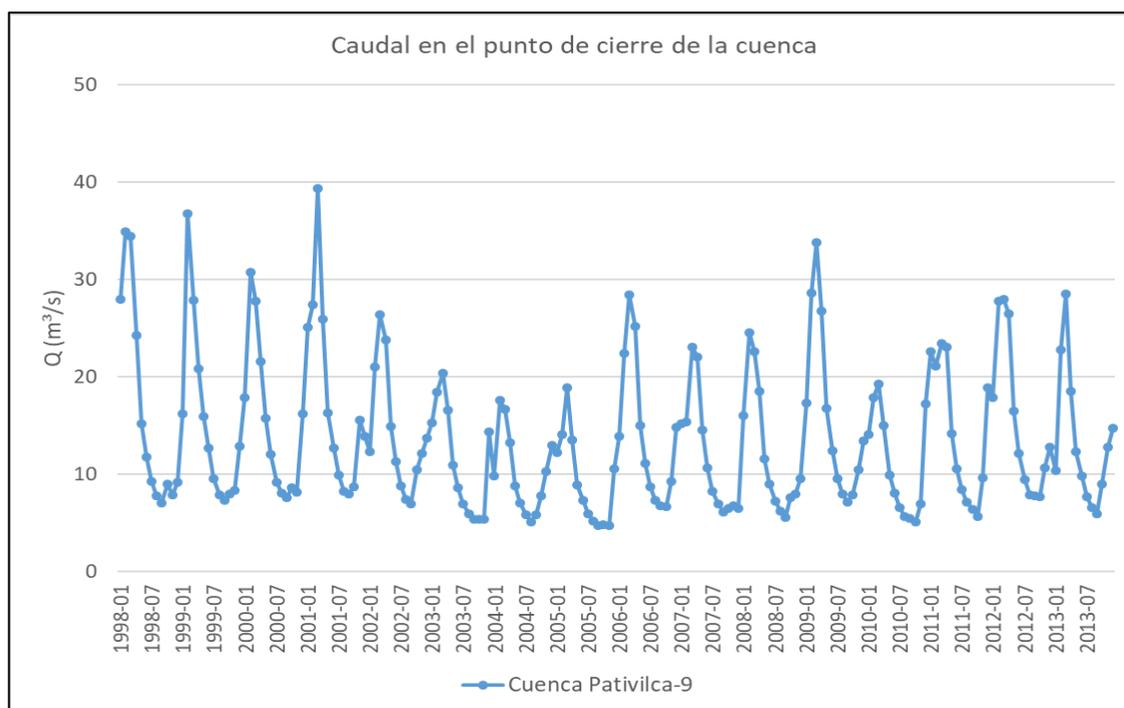


Figura 20: Hidrograma de caudales monitoreados por la estación “PATIVILCA-9”

En función a los gráficos de caudales (figura 16, 18 y 20) aforados por el ANA en el cierre de las cuencas, se observó que mantiene información desde el año 1965 al 2013 para lo cual se seleccionará un periodo de 1999 al 2013 para su análisis de relación caudal – superficie de nevado.

- Imágenes Satelitales (LandSat 7 y LandSat 8)

En primero lugar se accedió a la siguiente página web de la USGS – Science for a changing world: <https://glovis.usgs.gov/app>. Luego se presionó “LOGIN” para iniciar sesión e ingresar los datos de usuario. Posteriormente se procedió a seleccionar el conjunto de datos que se desea descargar: “LandSat 4-5 TM + C1 Nivel-1”, “LandSat 7 ETM + C1 Level-1” o “LandSat 8 OLI/ TIRS C1 Level-1”. Luego se navegó por el mapa mostrado en la página web y se centró hasta el área de estudio, en este caso centrandose en el nevado de Yerupajá. Después se prosiguió a identificar los años en estudio (1999-2014); en la línea de tiempo con iconos de derecha a izquierda se seleccionó las imágenes de diferentes fechas. Una vez seleccionado una fecha en específico, posteriormente se prosiguió los pasos de descarga: seleccionar DOWNLOAD, se espera que salga la ventana de opción de imágenes, luego se selecciona la imagen en formato TIFF. Las imágenes descargadas se encontraron en formato

ZIP, y fueron descomprimidas para ser trabajadas. A continuación se muestra la Tabla 7, indicando las imágenes roster disponibles por los diferentes sistemas Landsat.

Tabla 7: Número de imágenes de abril desde el año 1999-2014; LandSat 5 (1999-2010), LandSat 7 (2001-2015) y LandSat 8 (2013) para el Nevado Yerupajá

Año	Abril		
	Landsat 5	Landsat 7	Landsat 8
1999	2	F	F
2000	1	F	F
2001	F	1	F
2002	F	1	F
2003	F	1	F
2004	1	1	F
2005	1	1	F
2006	1	F	F
2007	1	1	F
2008	F	1	F
2009	1	F	F
2010	2	2	F
2011	F	10/06/2011	F
2012	F	F	F
2013	F	1	1
2014	F	30/03/2014	F
2015	F	26/03/2015 04/05/2015	F

*F: sin imagen LandSat de apoyo.

Cabe mencionar que las imágenes LandSat que mantenían nubosidad sobre el nevado y no permitían su visibilidad o no se contaba con captura de información, fueron descartadas y clasificadas como “F” en las Tablas 7 y 8.

Tabla 8: Imágenes LandSat 5, LandSat 7 y LandSat 8 para la calibración del modelo de identificación del Nevado Yerupajá

Año	Abril		
	Landsat 5	Landsat 7	Landsat 8
2007	25/07/2007	1/07/2007	F
2015	F	7/07/2015	29/06/2015

F: sin imagen LandSat de apoyo.

3.3.2. Análisis de datos temporales de precipitación (PP)

Los datos pasaron por los procesos de regionalización, análisis de consistencia y completado de datos en ese mismo orden. Dichos procesos son expresados en el flujograma de la Figura 21 para entender los datos y resultados obtenidos en este proceso.

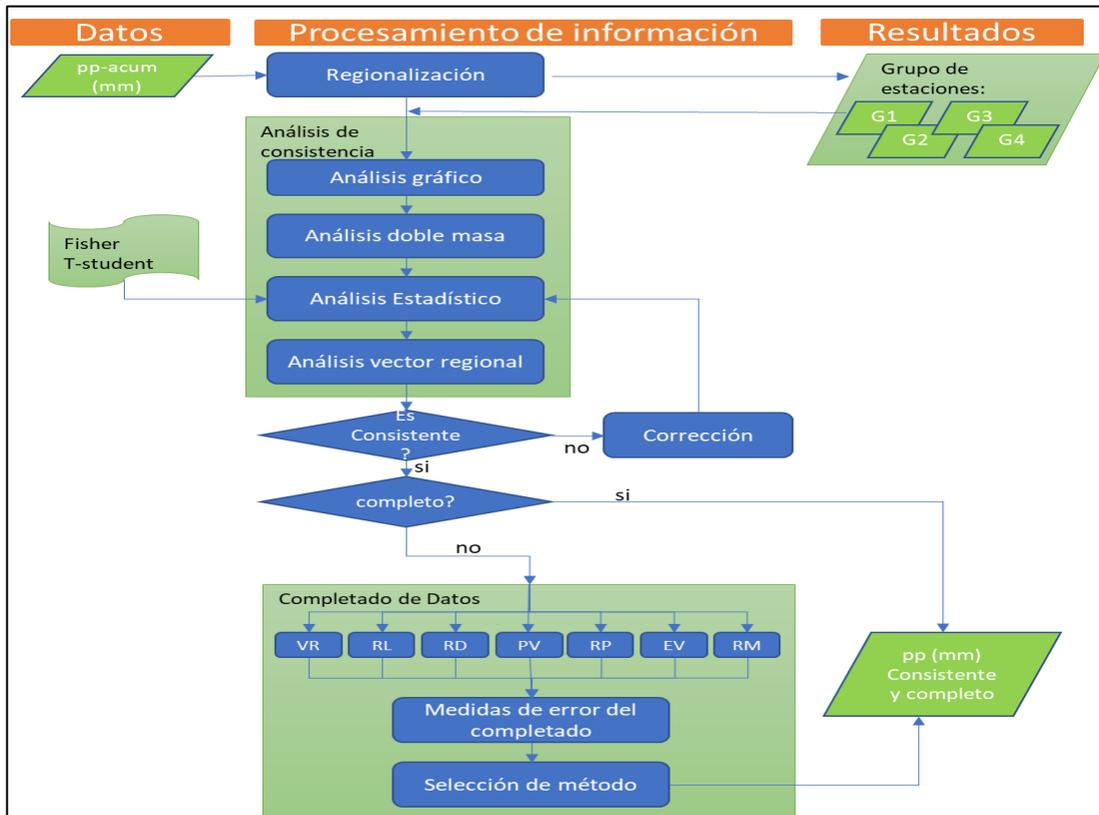


Figura 21: Procesos para analizar los datos de precipitación

a. Regionalización

Para el Análisis de consistencia de las estaciones meteorológicas se realizó la agrupación de las estaciones meteorológicas con la finalidad de lograr la regionalización, bajo los siguientes criterios, según Pabón (s.f.):

- La influencia de los procesos de las vertientes Atlántico (Caribe) y del Pacífico.
- Ubicación en la región de la Zona de Confluencia Intertropical, es decir la latitud.
- La interacción de circulación atmosférica y la compleja orografía (relieve terrestre) genera diversidad de condiciones climáticas.
- La altitud sobre el nivel del mar de diversos lugares genera zonificación climática altitudinal.

A continuación, se muestra en la Figura 22 la variabilidad climática, flora y fauna clasificadas en 8 regiones del Perú en función al rango de sus altitudes.

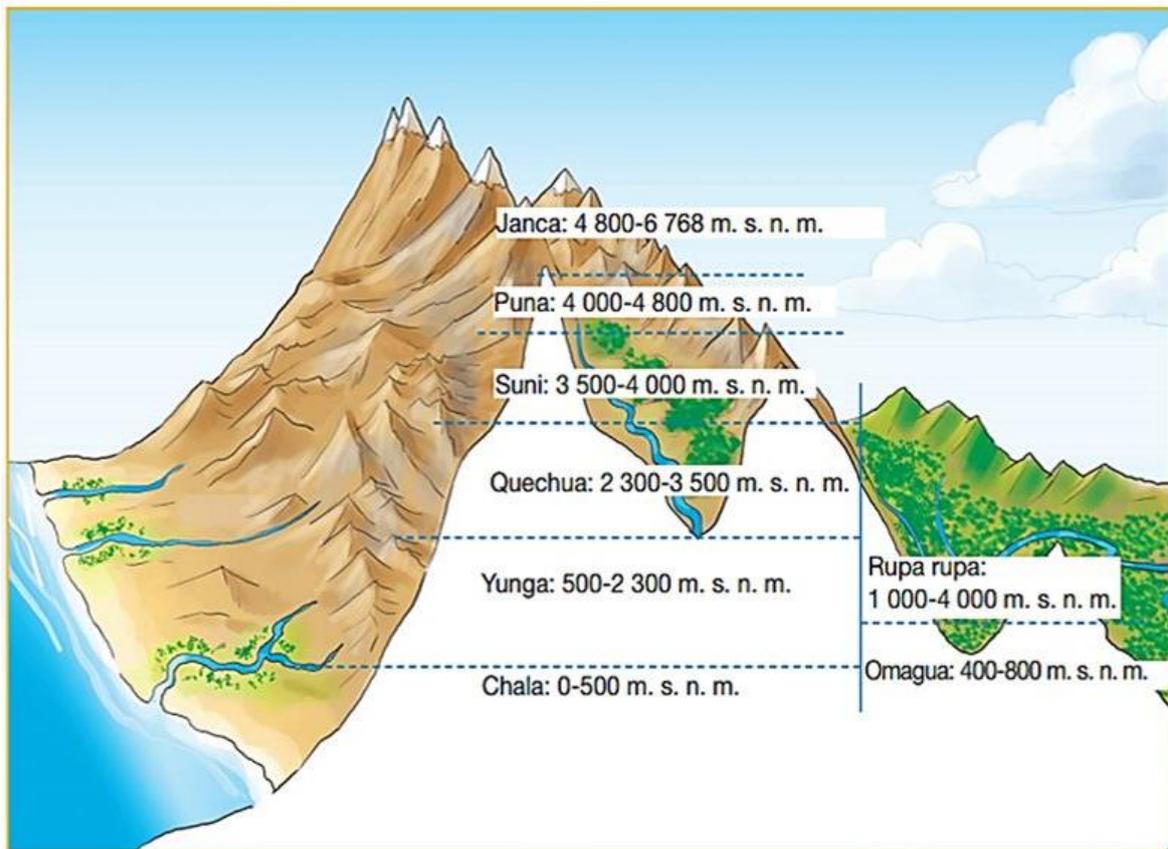


Figura 22: Ocho Regiones Naturales del Perú en función a su altitud, clima, flora y fauna

FUENTE: Ministerio de Educación (2016).

A continuación, se muestra la escala de regiones que fue usado para clasificar a las estaciones meteorológicas.

Tabla 9: Características de las regiones naturales, flora y fauna de las 8 regiones del Perú

Vertiente	Región	Altitud (m.s.n.m.)	Color de Escala
Pacífico	Chala	0 - 500	
	Yunga	500 - 2300	
	Quechua	2300 - 3500	
	Suni	3500 - 4000	
	Puna	4000 - 4800	
	Janca	4800 - 6768	
Atlántico	Selva Baja	80 - 400	
	Selva Alta	400 -1000	

FUENTE: Modificado de Ministerio de Educación (2016).

A continuación, en la Tabla 10, se presenta las agrupaciones formadas para la distribución de las estaciones, obedeciendo la escala de colores de la Tabla 9; y considerando la latitud en la que se encuentra:

Tabla 10: Grupos de estaciones meteorológicas para el análisis de las precipitaciones

Grupo	ID_EST	Estación meteorológica	Latitud WGS 84 - Sur	Altitud m.s.n.m.	Vertiente
G-1	0005	Recuay	-10.11 al -9.73	3431.00	V. Pacífico
	0007	Cotaparaco		3170.00	
	0006	Milpo		4400.00	
G-2	0009	Chiquián	-10.49 al -10.11	3386.00	
	0008	Mayorarca		3335.00	
	0010	Ocros		3249.00	
	0011	Cajatambo		3432.00	
G-3	0015	Pampa libre	-10.87 al -10.49	1756.00	
	0012	Gorgor		3025.00	
	0013	Oyón		3667.00	
	0014	Andájes		3950.00	
G-4	0021	San rafaél	-10.33 al -9.92	2722.00	V. Atlántico
	0022	Huánuco		1947.00	
	0023	Canchan		1986.00	

b. Análisis Gráfico

En este proceso se elabora el histograma de precipitaciones y se identificó los periodos de saltos a través de un análisis visual y donde se apreció el cambio de la media de precipitaciones para distintos periodos (n1 y n2 según el caso). El histograma presentó solo una serie (n1) cuando la media se mantuvo constante y gráficamente mantiene una línea de tendencia lineal; en cambio, el histograma presentó dos series (n1 y n2) cuando la línea de tendencia tenía una pendiente muy pronunciada y se expresaba su variación de medias, y justificaba la identificación de dos series con medias constantes.

A continuación, se presenta el histograma de las estaciones meteorológicas y la identificación de las series n1 y n2 con sus respectivas medias de precipitación según el caso; En la Figura 23, se muestra el histograma de precipitaciones mensuales acumuladas de la estación Recuay en donde se observa que la línea tendencia expresa una media constante de los datos, por lo que se le definió una sola serie (n1).

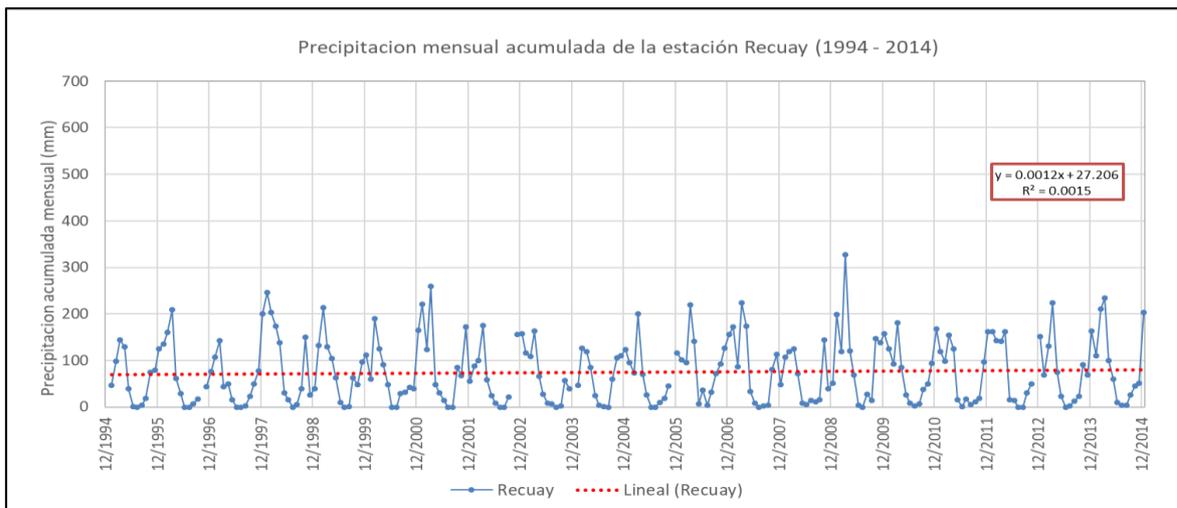


Figura 23: Histograma de precipitaciones Recuay (n1:74.764mm)

En la Figura 24, se muestra el histograma de precipitaciones mensuales acumuladas de la estación Milpo en donde se observa que la línea tendencia expresa una media no constante de los datos, por lo que se le definió dos series (n1 y n2).

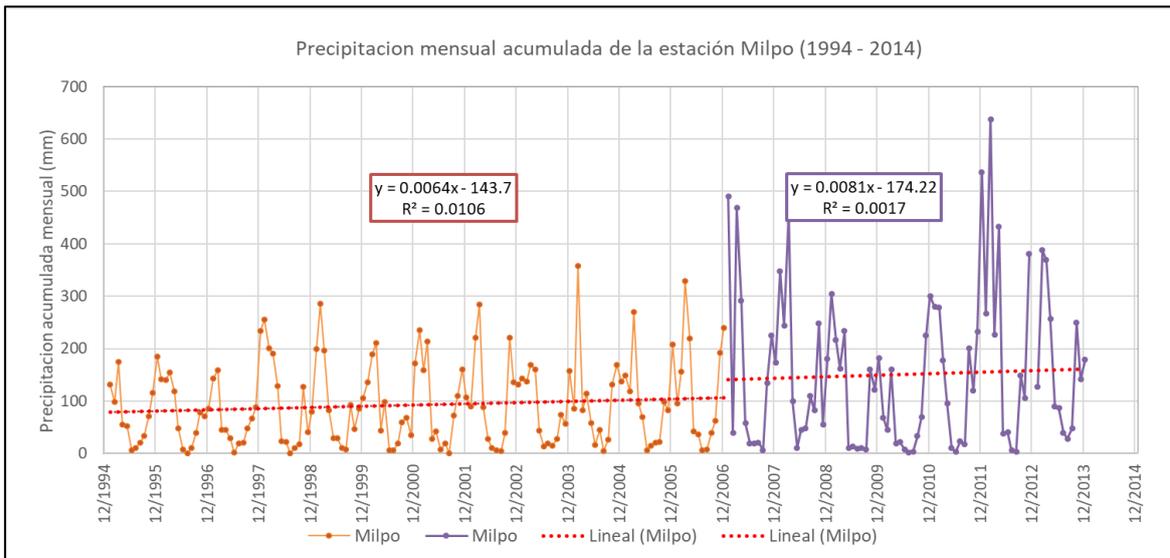


Figura 24: Histograma de precipitaciones Milpo (n1:92.448mm. y n2:161.106mm.)

En la Figura 25, se muestra el histograma de precipitaciones mensuales acumuladas de la estación Cotaparaco en donde se observa que la línea tendencia expresa una media constante de los datos, por lo que se le definió una serie (n1).

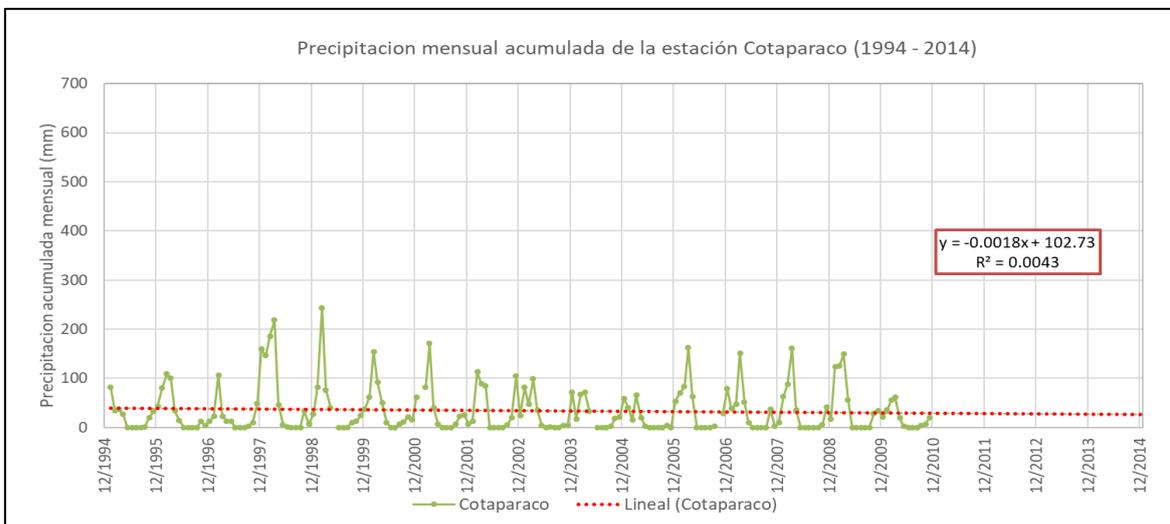


Figura 25: Histograma de precipitaciones Cotaparaco (n1:34.142mm)

En la Figura 26, se muestra el histograma de precipitaciones mensuales acumuladas de la estación Mayorarca en donde se observa que la línea tendencia expresa una media no constante de los datos, por lo que se le definió dos series (n1 y n2).

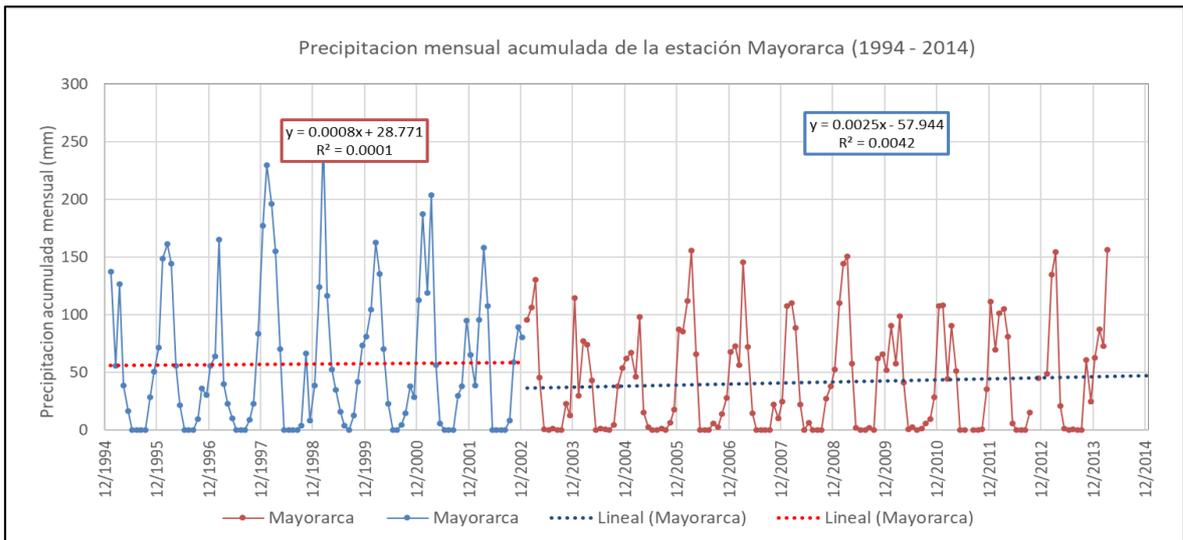


Figura 26. Histograma de precipitaciones Mayorca (n1:57.126mm. y n2:41.170mm.)

En la Figura 27, se muestra el histograma de precipitaciones mensuales acumuladas de la estación Chiquián en donde se observa que la línea tendencia expresa una media no constante de los datos, por lo que se le definió dos series (n1 y n2).

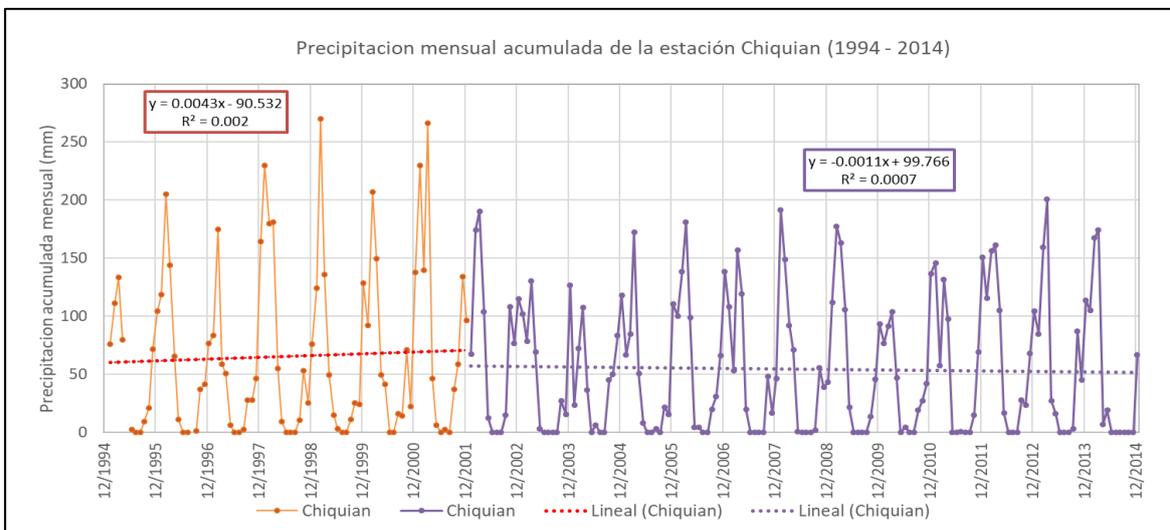


Figura 27: Histograma de precipitaciones Chiquián (n1:65.646mm. y n2: 54.506mm.)

En la Figura 28, se muestra el histograma de precipitaciones mensuales acumuladas de la estación Ocos en donde se observa que la línea tendencia expresa una media constante de los datos, por lo que se le definió una serie (n1).

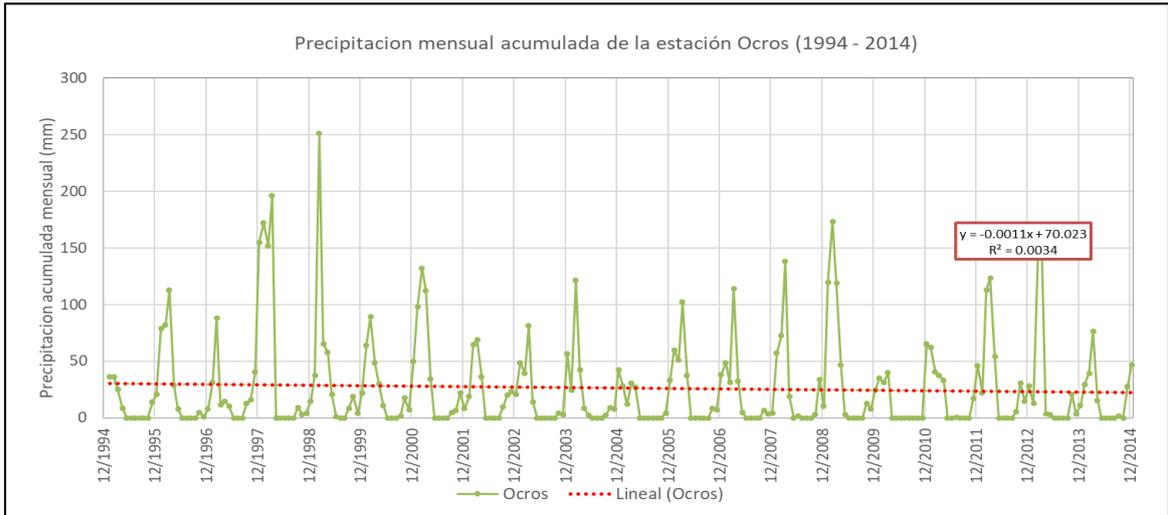


Figura 28: Histograma de precipitaciones Ocos (n1:26.206mm.)

En la Figura 29, se muestra el histograma de precipitaciones mensuales acumuladas de la estación Cajatambo en donde se observa que la línea tendencia expresa una media constante de los datos, por lo que se le definió una serie (n1).

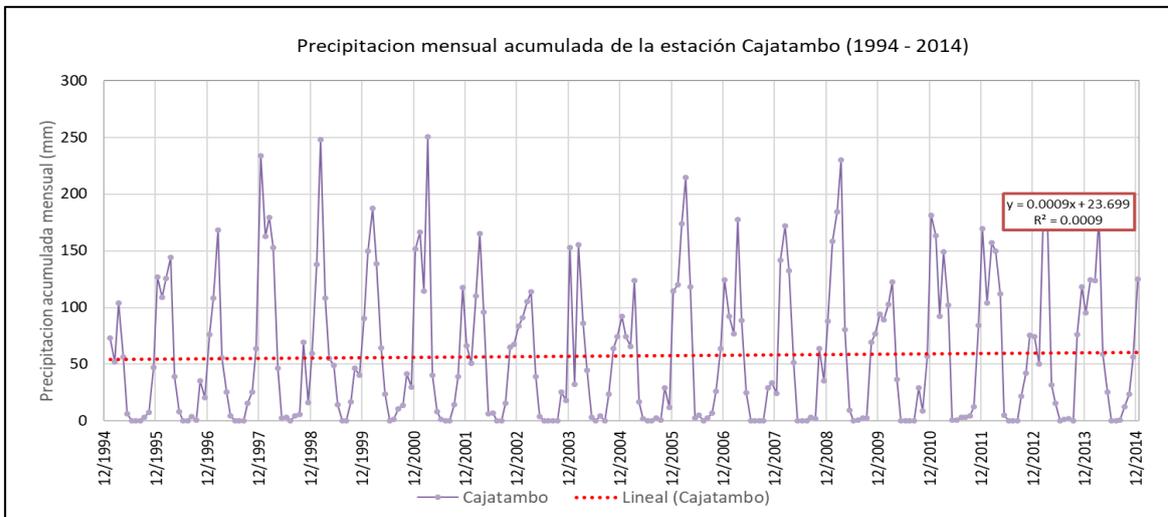


Figura 29: Histograma de precipitaciones Cajatambo (n1:57.460mm.)

En la Figura 30, se muestra el histograma de precipitaciones mensuales acumuladas de la estación Gorgor en donde se observa que la línea tendencia expresa una media no constante de los datos, por lo que se le definió dos series (n1 y n2).

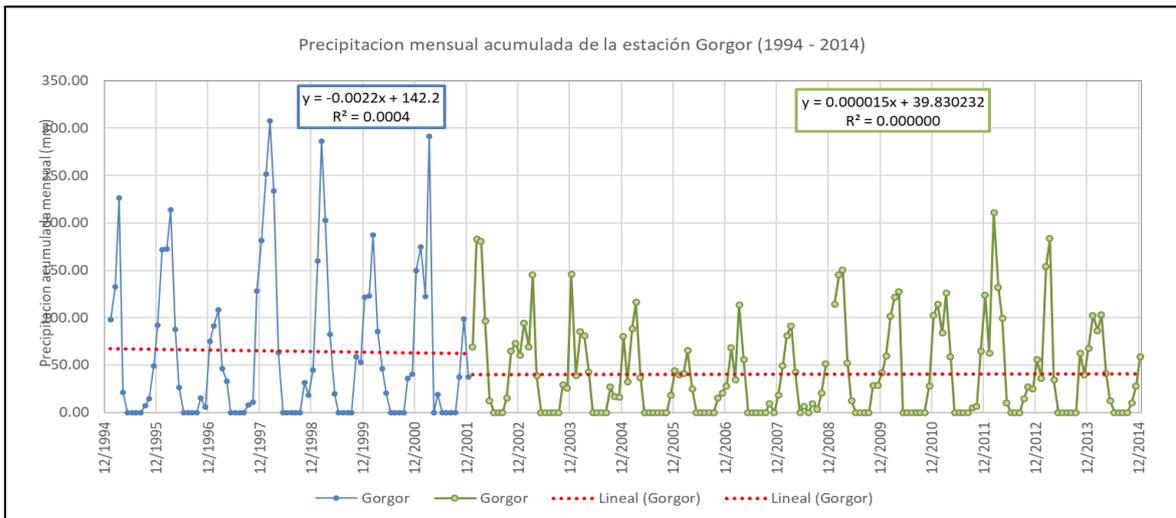


Figura 30: Histograma de precipitaciones Gorgor (n1:64.550mm. y n2:40.440mm)

En la Figura 31, se muestra el histograma de precipitaciones mensuales acumuladas de la estación Oyón en donde se observa que la línea tendencia expresa una media constante de los datos, por lo que se le definió una serie (n1).

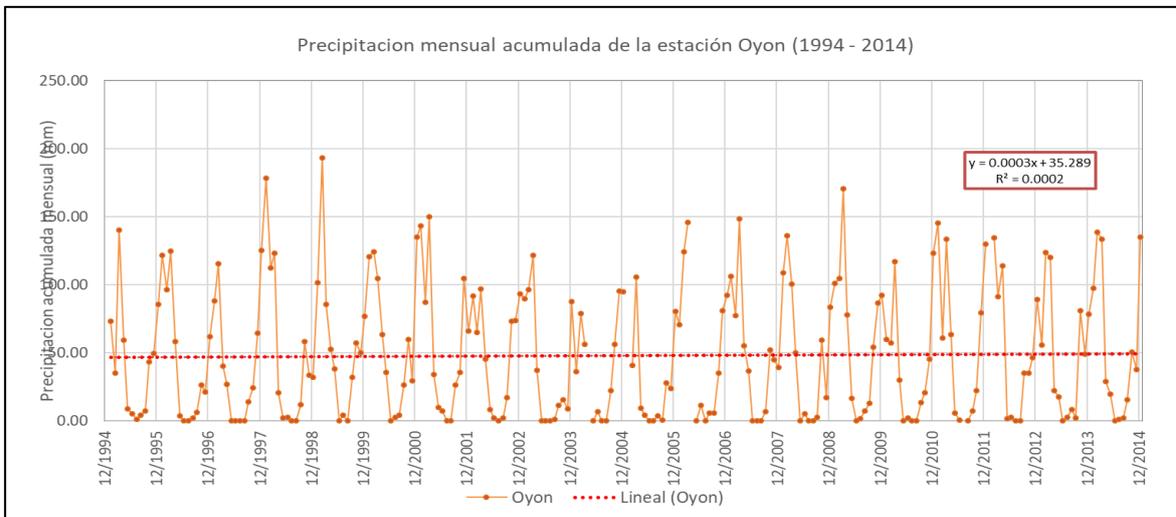


Figura 31: Histograma de precipitaciones Oyón (n1:235mm.)

En la Figura 32, se muestra el histograma de precipitaciones mensuales acumuladas de la estación Andájes en donde se observa que la línea tendencia expresa una media constante de los datos, por lo que se le definió una serie (n1).

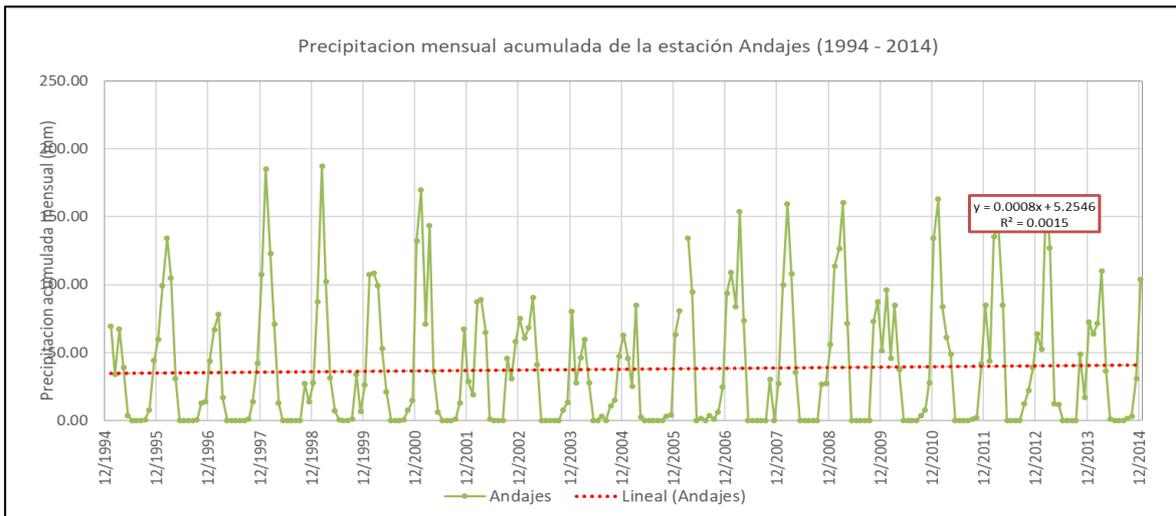


Figura 32: Histograma de precipitaciones Andájes (n1:37.606mm.)

En la Figura 33, se muestra el histograma de precipitaciones mensuales acumuladas de la estación Pampa Libre en donde se observa que la línea tendencia expresa una media no constante de los datos, por lo que se le definió dos series (n1 y n2).

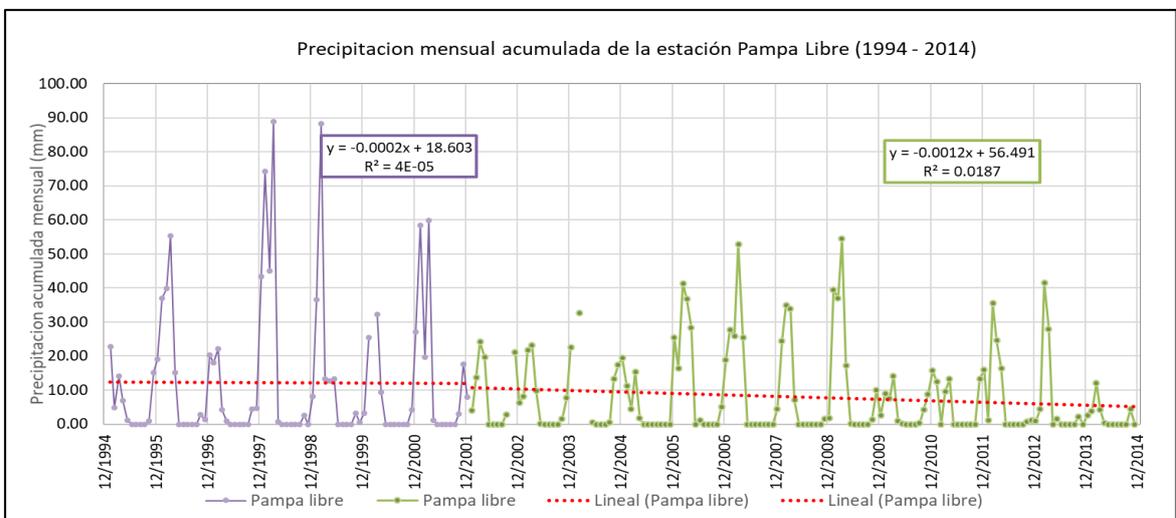


Figura 33: Histograma de precipitaciones Pampa Libre (n1:12.186m. y n2:7.88mm)

En la Figura 34, se muestra el histograma de precipitaciones mensuales acumuladas de la estación San Rafael en donde se observa que la línea tendencia expresa una media constante de los datos, por lo que se le definió una serie (n1).

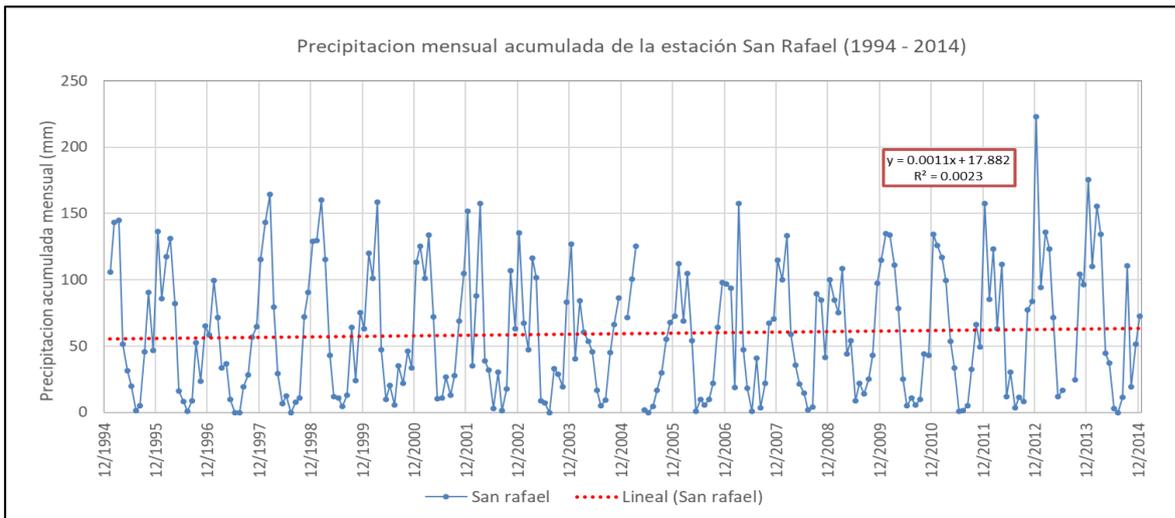


Figura 34: Histograma de precipitaciones San Rafael (n1:59.433mm.)

En la Figura 35, se muestra el histograma de precipitaciones mensuales acumuladas de la estación Huánuco en donde se observa que la línea tendencia presenta una pendiente constante de los datos, por lo que se le definió una serie (n1).

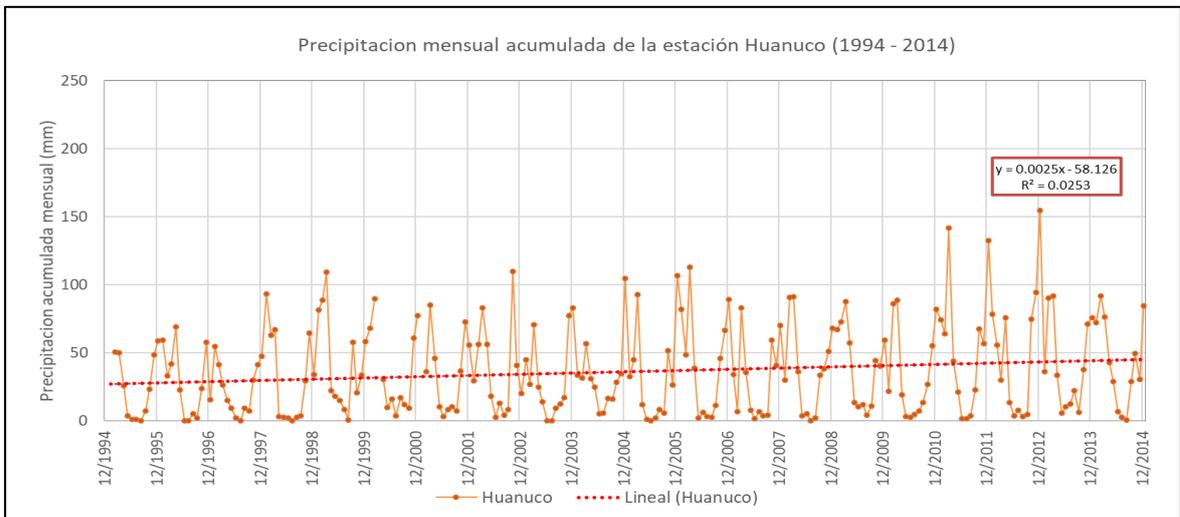


Figura 35: Histograma de precipitaciones Huánuco (n1:36.216mm.)

En la Figura 36, se muestra el histograma de precipitaciones mensuales acumuladas de la estación Canchán en donde se observa que la línea tendencia presenta una pendiente constante de los datos, por lo que se le definió una serie (n1).

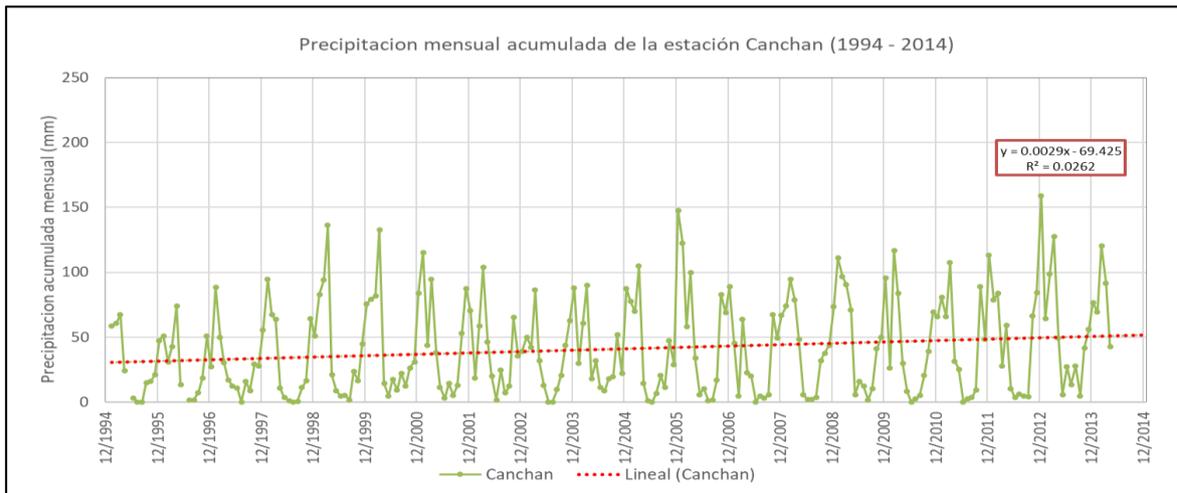


Figura 36: Histograma de precipitaciones Canchan (n1:40.826mm.)

En el caso de las estaciones Canchan y Huánuco, se presentaron pendientes pronunciadas; sin embargo, no se les designo dos periodos, debido a que la pendiente se mantenía constante en todos los periodos designados.

c. Análisis de doble masa

Para este análisis se generó la estación ficticia, la cual representa el promedio de las estaciones de cada grupo (G1, G2 y G3). Lo que se logró observar en los gráficos, fue la diferencia entre las precipitaciones acumuladas anuales; ya que las estaciones de menor pendiente son las que presentan menor precipitación anual acumulada y lo más importante es la variación de la precipitación en un año puntual; los cuales generaron en los gráficos los saltos. Adicionalmente se visualiza la relación que hay entre las estaciones; ya que, al encontrarse una estación más dispersa a las otras, da por entender su baja relación.

A continuación, se presenta los diagramas de doble masa de las estaciones por región. G1, G2 y G3:

- Evaluación de desviación de las estaciones del grupo G1: Recuay, Milpo y Cotaparaco

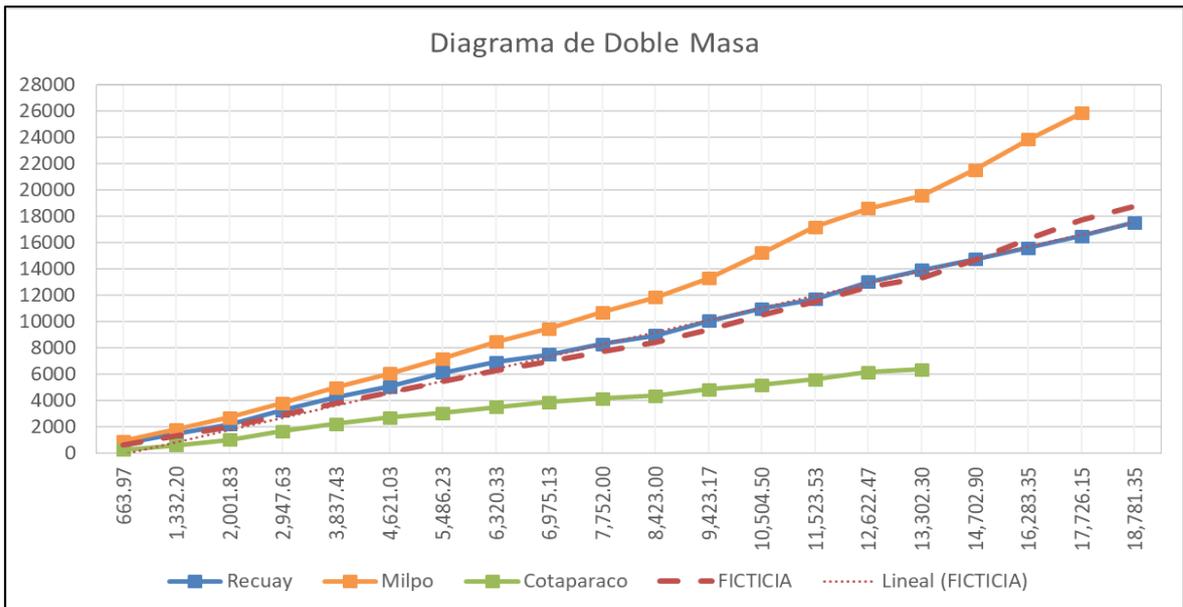


Figura 37: Diagrama de doble masa del grupo G1: Recuay, Milpo, Cotaparaco y estación ficticia (promedio)

Se observa en la Figura 37 que las estaciones Recuay, Milpo y Cotaparaco presentan diferencias en sus precipitaciones acumuladas ya que sus rectas se encuentran dispersas.

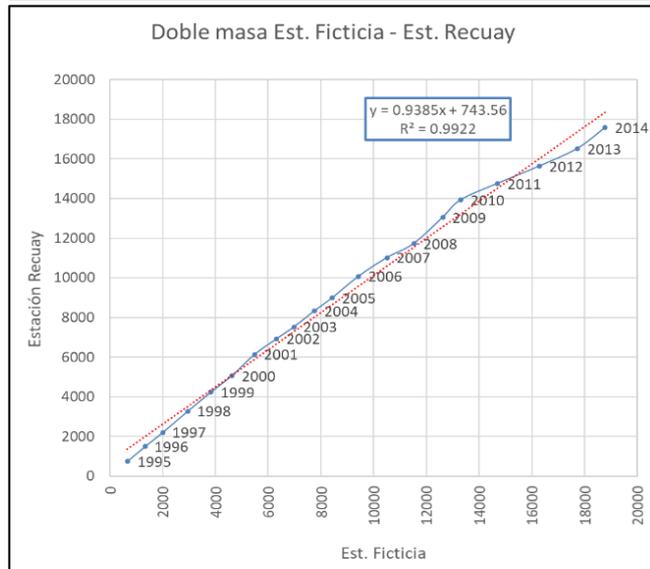
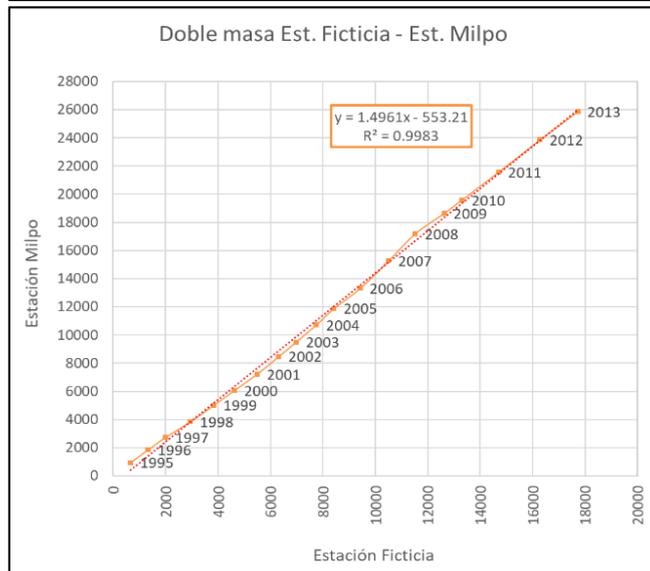
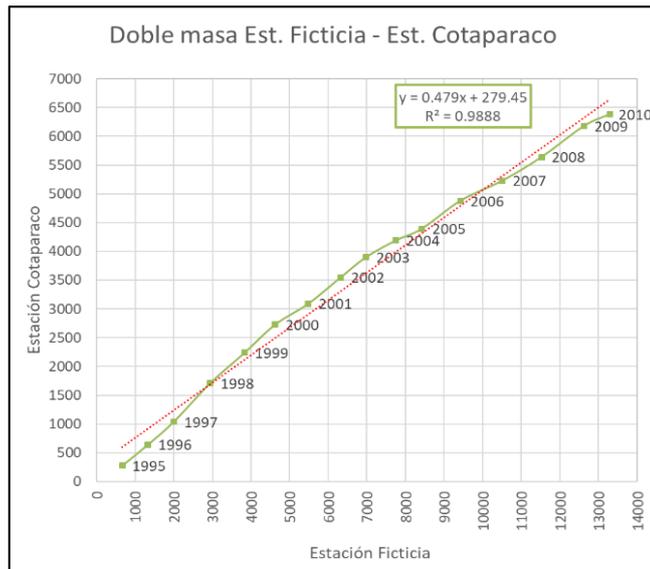


Figura 38: Doble masa de las estaciones Recuay, Milpo, Cotaparaco

En la Figura 38 se muestra que en la estación Recuay se identificaron saltos en el año 2006 y 2009, Milpo 2007 y 2011; y en la estación Cotaparaco, saltos en los años 1998 y 2006.

- Evaluación de desviación de las estaciones del grupo G2: Mayorarca, Chiquián, Ocos y Cajatambo

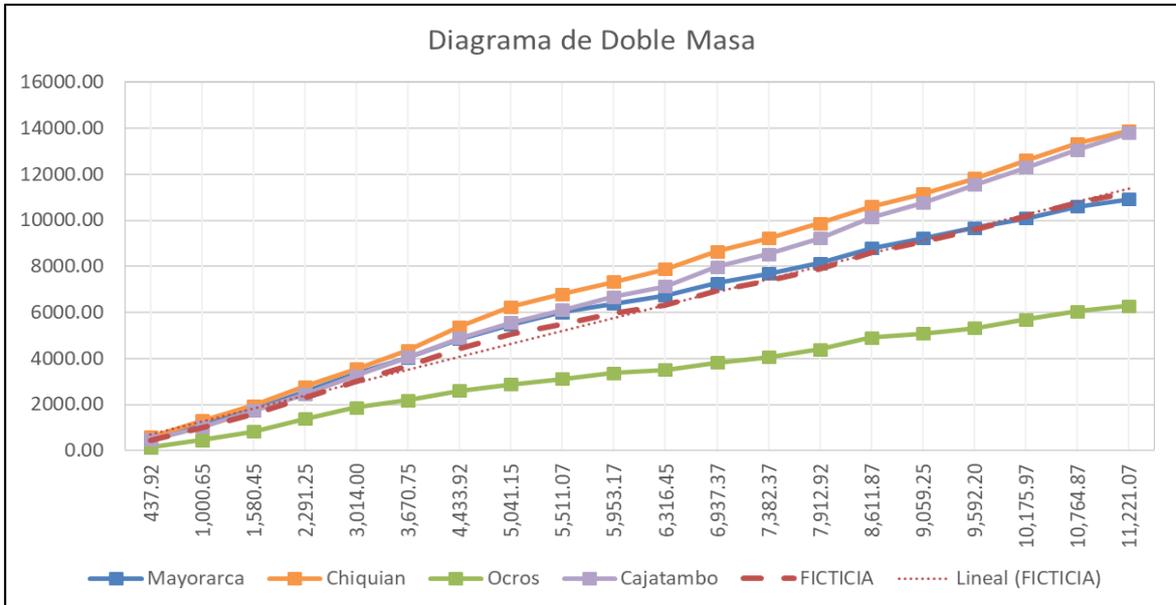


Figura 39: Diagrama de doble masa del grupo G2: Mayorarca, Chiquián, Ocos, Cajatambo y estación ficticia (promedio)

Se observa en la Figura 39 que la estación Ocos presenta menor relación respecto a las otras al encontrarse más distanciada a las demás.

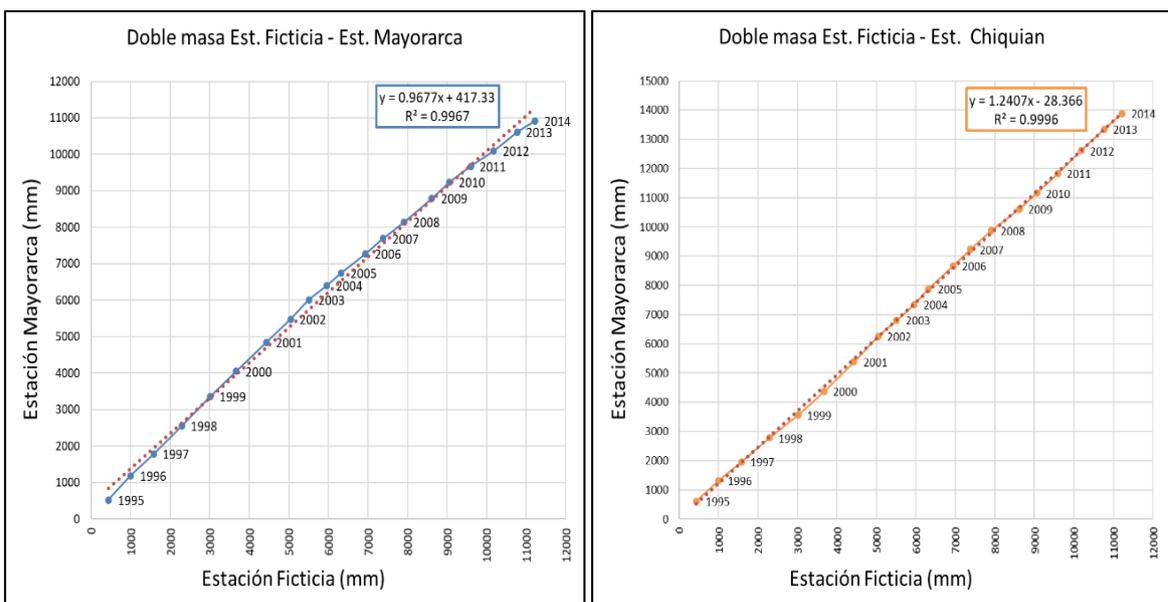


Figura 40: Doble masa de las estaciones Mayorarca y Chiquián

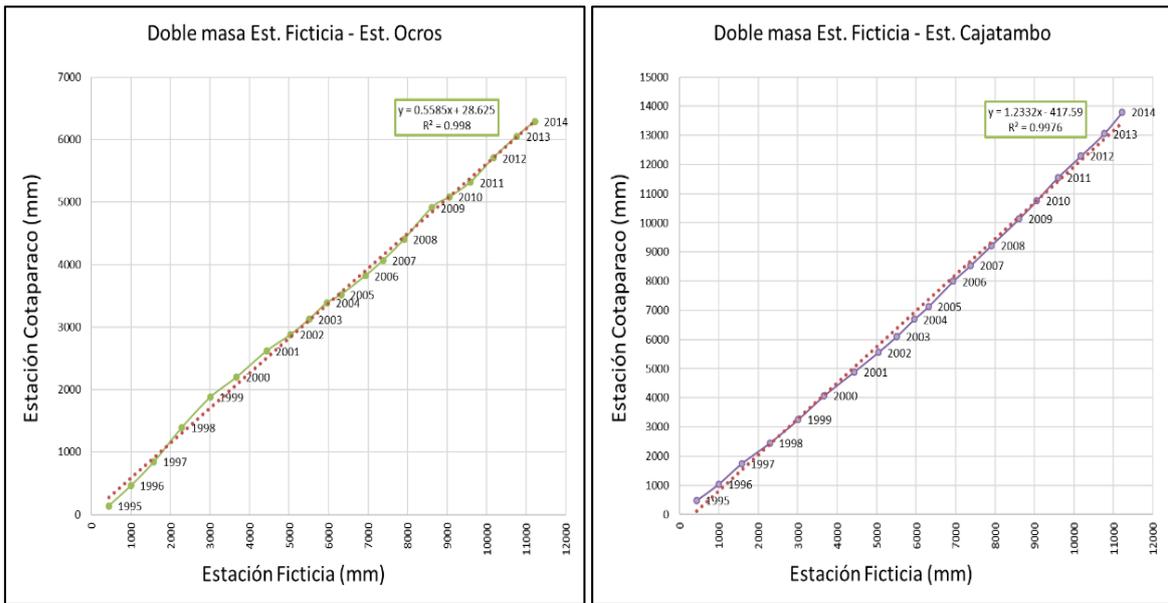


Figura 41: Doble masa de las estaciones Ocos y Cajatambo

En la Figura 41 y 40 se muestra que en la estación Mayorarca se identificaron saltos en el año 2006 y 2009, Chiquián 2007 y 2011, Ocos 2007 y 2011; y en la estación Cajatambo, saltos en los años 1998 y 2006.

- Evaluación de desviación de las estaciones del grupo G3: Gorgor, Oyón, Andájes y Pampa Libre

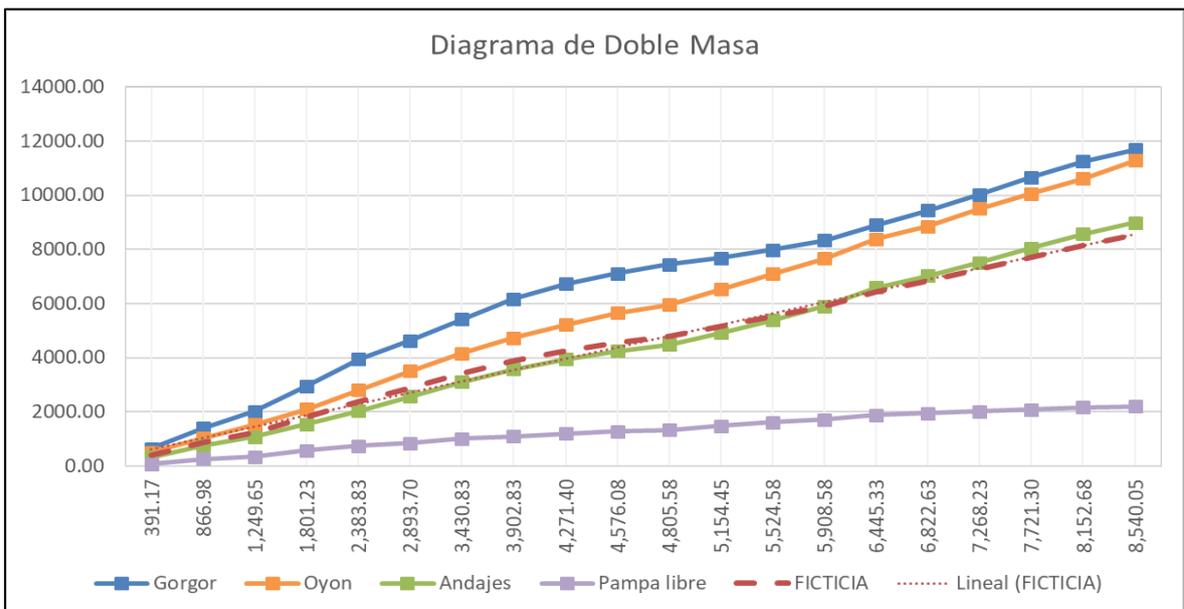


Figura 42: Diagrama de doble masa del grupo G3: Gorgor, Oyón, Andájes, Pampa Libre y estación ficticia (promedio)

Se observa en la Figura 42 que la estación Pampa Libre presenta menor relación respecto a las otras al encontrarse más distanciada a las demás.

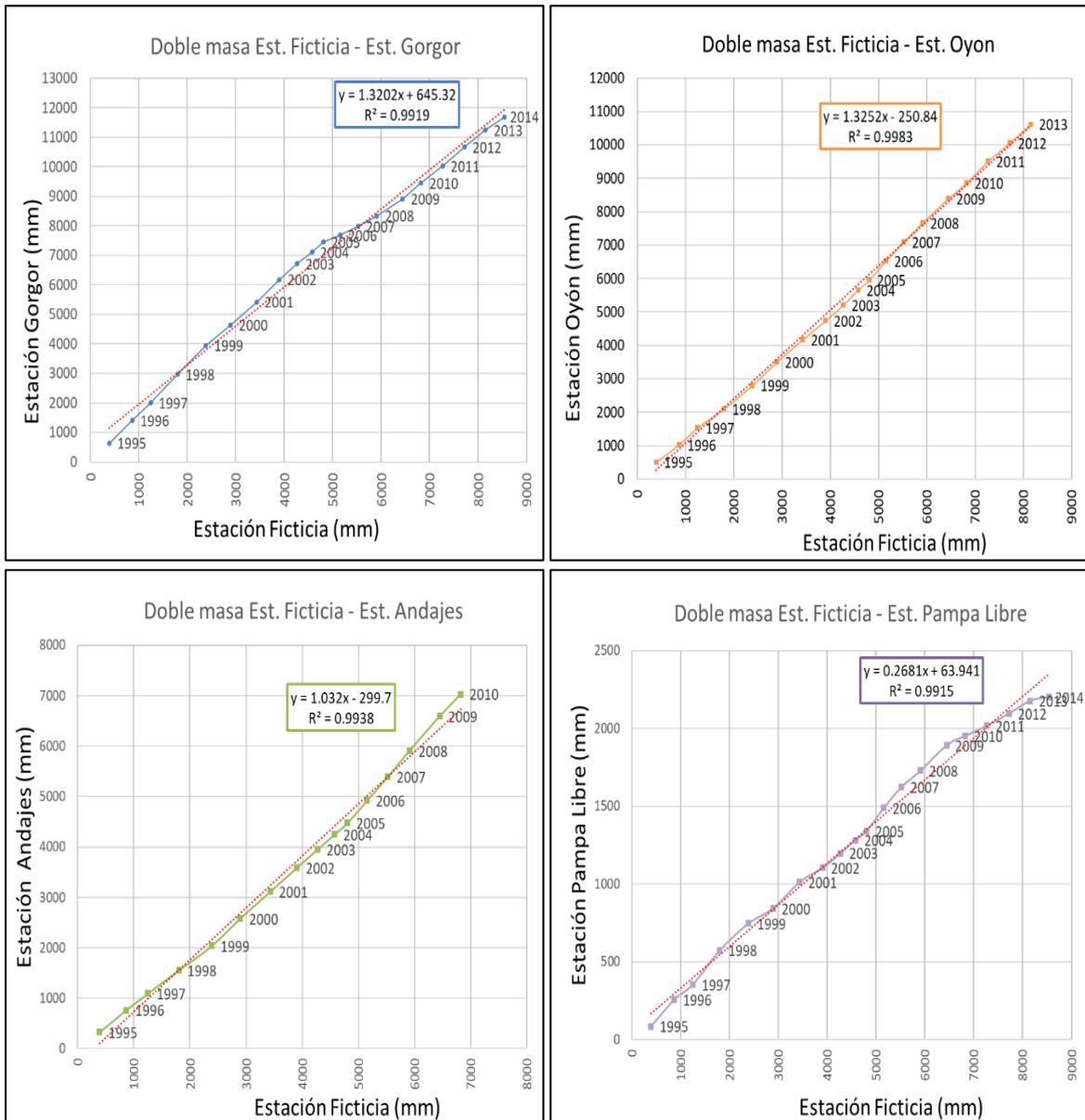


Figura 43: Doble masa de las estaciones Gorgor, Oyón, Andájes y Pampa Libre

En la Figura 43 se muestra que en la estación Gorgor se identificaron saltos en el año 2005, Oyón 2006, Andájes 2006 y en la estación Pampa Libre en el 2002 y 2011.

- Evaluación de desviación de las estaciones del grupo G4: San Rafael, Huánuco y Canchan

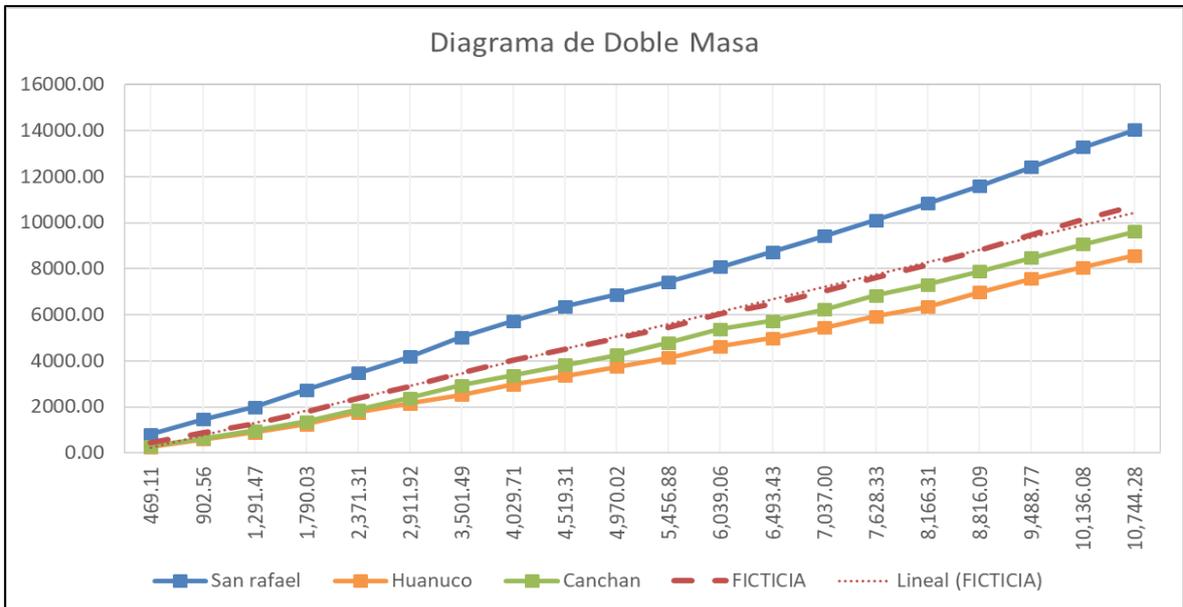


Figura 44: Diagrama de doble masa del grupo G4: San Rafael, Huánuco, Canchan y estación ficticia (promedio)

Se puede observar en Figura 44 que la estación San Rafael presenta menor relación respecto a las otras al encontrarse más distanciada a las demás.

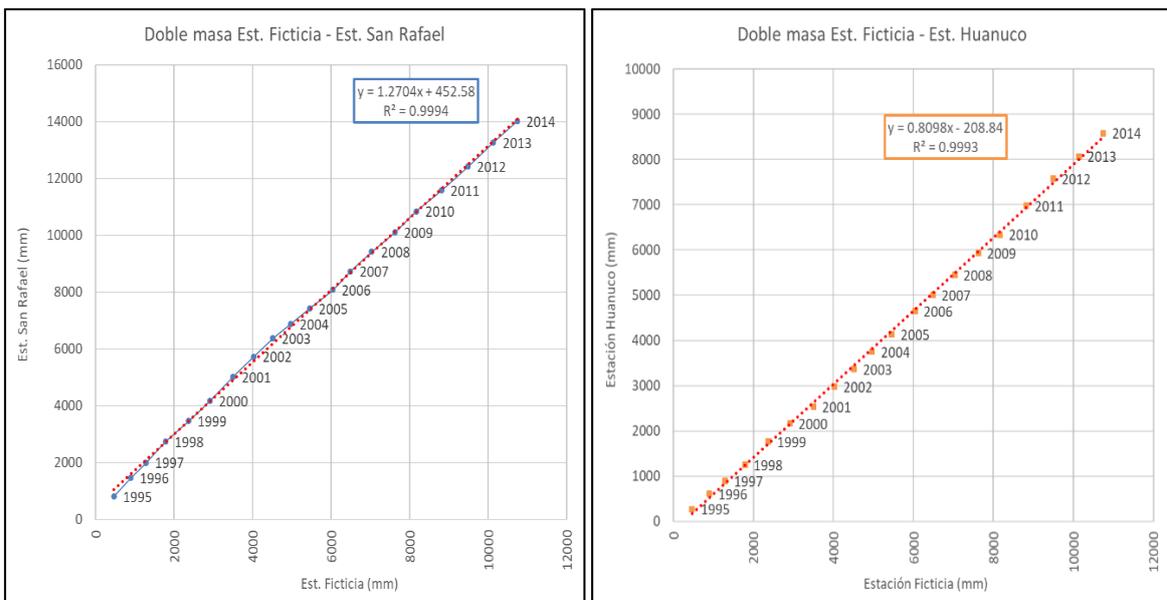


Figura 45: Doble masa de las estaciones San Rafael y Huánuco

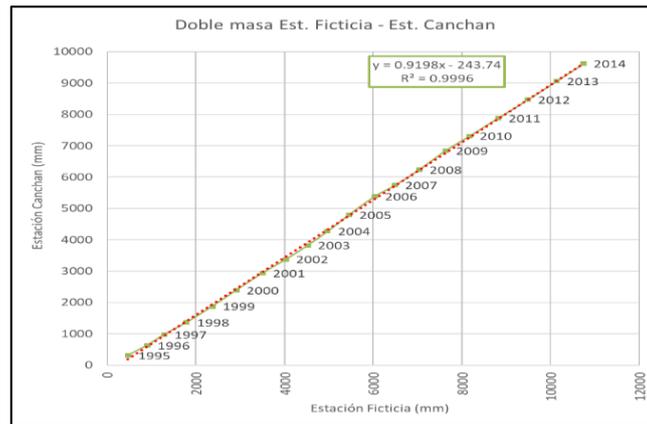


Figura 46: Doble masa de las estaciones Canchan

Como se muestra en las Figuras 45 y 46, en las estaciones San Rafael, Huánuco y Canchan no se identificaron saltos; lo cual también es propio al tener un coeficiente de determinación aproximada de uno (0.999).

d. Análisis de Estadístico por el Método de Pruebas Fisher y T de Student

El siguiente procedimiento es la evaluación de consistencia de los datos temporales de precipitación históricos de cada estación, en caso los resultados sean inconsistentes se prosigue con la rectificación de los datos. Para lo cual, se ha considerado que los datos de precipitación presentan una distribución normal, para así ser analizados por pruebas paramétricas (T-Student y Fisher).

Aplicación de las siguientes ecuaciones, según máximo Villón;

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i \quad ; \quad S_1(x) = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j \quad ; \quad S_2(x) = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

donde:

- x_i = valores de la serie del período 1
- x_j = valores de la serie del período 2
- \bar{x}_1, \bar{x}_2 = media de los períodos 1 y 2 respectivamente
- $S_1(x), S_2(x)$ = desviación estándar de los períodos 1 y 2 respectivamente
- n = tamaño de la muestra
- n_1, n_2 = tamaño de las submuestras
- $n = n_1 + n_2$

– para la prueba t Student, para evaluar la consistencia de la media:

$$S_{\bar{d}} = S_p \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$S_{\bar{d}}$ = desviación de las diferencias de los promedios

S_p = desviación estándar ponderada

– Cálculo del t calculado (t_c):

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_{\bar{d}}}$$

donde: $\mu_1 - \mu_2 = 0$ (por hipótesis, se dice que las medias son iguales)

quedando:

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_{\bar{d}}}$$

– Cálculo del t tabular (t_t):

El valor crítico de t se obtiene de la tabla t de Student (anexo. tabla), con una probabilidad al 95%, ó con un nivel de significación del 5%, es decir con $\alpha/2 = 0.025$ y con grados de libertad $y = n_1 + n_2 - 2$.

La prueba t-Student se evaluó bajo e siguiente criterio:

- Si $|t_c| \leq t_t (95\%) \rightarrow \bar{x}_1 = \bar{x}_2$ (estadísticamente)

En este caso, siendo las medias $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$ estadísticamente, no se debe realizar proceso de corrección.

- Si $|t_c| > t_t(95\%) \rightarrow \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ (estadísticamente)

En este caso, siendo las medias $\bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ estadísticamente, se debe corregir la información.

- Para a prueba Fisher, para evaluar la consistencia de la desviación estándar:

Cálculo del F calculado (F_c), según:

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}, \quad \text{si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)}, \quad \text{si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

Cálculo del F tabular (F_t):

El valor crítico de F se obtiene de la tabla F (anexo. tabla), con

$$\text{G.L.N} = n_1 - 1 \uparrow, \quad \text{si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$\text{G.L.D} = n_2 - 1 \downarrow$$

$$\text{G.L.N} = n_2 - 1 \uparrow, \quad \text{si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

$$\text{G.L.D} = n_1 - 1 \downarrow$$

La prueba Fisher se evaluó bajo el siguiente criterio:

- Si $F_c \leq F_t(95\%) \rightarrow S_1(x) = S_2(x)$ (estadísticamente)

En este caso, siendo las medias $S_1(x) = S_2(x)$ estadísticamente, no se debe realizar proceso de corrección.

- Si $F_c > F_t(95\%) \rightarrow S_1(x) \neq S_2(x)$ (estadísticamente)

En este caso, siendo las medias $S_1(x) \neq S_2(x)$ estadísticamente, se debe corregir la información.

A continuación, se presenta la calidad de los datos temporales en cada periodo de cada estación con el carácter de consistente e inconsistente, bajo el análisis de las pruebas paramétricas Fisher y T de student.

Para realizar este proceso se tomó en consideración el análisis gráfico y de doble masa para cada estación con la finalidad de obtener los periodos (n_1 , n_2 y n_3 según el caso) y estos posteriormente fueron evaluados.

- Análisis del grupo G1: Recuay, Cotaparaco y Milpo
- Recuay:
 - Periodo n1: 1995 - 2008
 - Periodo n2: 2009 – 2014

Tabla 11: Resultado del Análisis del grupo G1: Recuay

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	72.15	84.39	
desviación	64.23	75.85	
cantidad	168	72	
varianza	4125.33	5753.2	
Sp	67.9		INCONSISTENTE
Sd	9.56		t-calc<t -tabla; 1.2794<1.9699
t-calc	1.2794		F-calc>F -tabla; 1.3946>1.3751
t-tabla	1.97		
F-calc	1.3946		
F-tabla	1.3751		

- Milpo
 - Periodo n1: 1995 – 2001;
 - Periodo n2: 2002 – 2008;
 - Periodo n3: 2009 – 2014;

Tabla 12: Resultado del Análisis del grupo G1: Milpo (periodo n1 y n2)

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	85.96	118.76	
desviación	72.34	112.89	
cantidad	84	84	
varianza	5233.70	12743.44	
Sp	94.81		INCONSISTENTE
Sd	14.63		t-calc>t -tabla; 2.2422>1.9744
t-calc	2.2423		F-calc>F -tabla; 2.4388>1.4379
t-tabla	1.9744		
F-calc	2.4349		
F-tabla	1.4379		

Tabla 13: Resultado del Análisis del grupo G1: Milpo (periodo n2 y n3)

	Parámetros		Resultado
	n2	n3	
promedio	118.76	160.80	
desviación	112.89	156.33	
cantidad	84	62	
varianza	12743.44	24439.76	INCONSISTENTE
Sp	132.58		t-calc<t -tabla; 1.8974<1.9764
Sd	22.10		F-calc>F -tabla; 1.8870>1.4720
t-calc	1.8975		
t-tabla	1.9765		
F-calc	1.8870		
F-tabla	1.4721		

– Cotaparaco

Periodo n1: 1995 – 2000;

Periodo n2: 2001 – 2006;

Periodo n2: 2007 – 2014;

Tabla 14: Resultado del Análisis del grupo G1: Cotaparaco (periodo n1 y n2)

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	37.99	30.81	
desviación	54.07	39.98	
cantidad	72	71	
varianza	2923.60	1598.09	INCONSISTENTE
Sp	47.60		t-calc<t -tabla; 0.016<1.9768
Sd	7.96		F-calc>F -tabla; 1.8294>1.4825
t-calc	0.9016		
t-tabla	1.9768		
F-calc	1.8294		
F-tabla	1.4825		

Tabla 15: Resultado del Análisis del grupo G1: Cotaparaco (periodo n2 y n3)

	Parámetros		Resultado
	n2	n3	
promedio	30.81	32.01	
desviación	39.98	44.64	
cantidad	71	47	
varianza	1598.09	1993.03	
Sp	41.89		CONSISTENTE
Sd	7.88		t-calc<t -tabla; 0.1524<1.9806
t-calc	0.1524		F-calc<F -tabla; 1.2471<1.5428
t-tabla	1.9806		
F-calc	1.2471		
F-tabla	1.5428		

- Análisis del grupo G2: Mayorarca, Chiquián, Orcos y Cajatambo
- Mayorarca
 - Periodo n1: 1995 - 2002
 - Periodo n2: 2003 – 2014

Tabla 16: Resultados del Análisis del grupo G2: Mayorarca

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	57.13	41.03	
desviación	62.67	45.37	
cantidad	96	135	
varianza	3927.29	2058.70	
Sp	53.23		INCONSISTENTE
Sd	7.11		t-calc>t -tabla; 2.2642>1.9704
t-calc	2.2642		F-calc>F -tabla; 1.9077>1.3614
t-tabla	1.9704		
F-calc	1.9077		
F-tabla	1.3614		

- Chiquián
 - Periodo n1: 1995 - 2002
 - Periodo n2: 2003 – 2014

Tabla 17: Resultados del Análisis del grupo G2: Chiquián

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	65.28	53.05	
desviación	70.11	57.36	
cantidad	96	144	
varianza	4914.89	3290.74	
Sp	62.76		INCONSISTENTE t-calc<t -tabla; 1.4797<1.9700
Sd	8.27		F-calc>F -tabla; 1.4936>1.3548
t-calc	1.4797		
t-tabla	1.9700		
F-calc	1.4936		
F-tabla	1.3548		

– Orcos

Periodo n1: 1995 - 2001

Periodo n2: 2002 – 2014

Tabla 18: Resultados del Análisis del grupo G2: Orcos

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	31.15	23.54	
desviación	50.15	35.59	
cantidad	84	156	
varianza	2514.96	1266.94	
Sp	41.26		INCONSISTENTE t-calc<t -tabla; 1.3619<1.9700
Sd	5.58		F-calc>F -tabla; 1.9851>1.3621
t-calc	1.3619		
t-tabla	1.9700		
F-calc	1.9851		
F-tabla	1.3621		

– Cajatambo

Periodo n1: 1995 - 2002

Periodo n2: 2003 – 2014

Tabla 19: Resultados del Análisis del grupo G2: Cajatambo

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	57.86	57.19	
desviación	63.54	61.04	
cantidad	96	144	
varianza	4037.00	3726.31	CONSISTENTE
Sp	62.05		t-calc<t -tabla; 0.0813<1.9700
Sd	8.18		F-calc<F -tabla; 1.0834<1.3548
t-calc	0.0813		
t-tabla	1.9700		
F-calc	1.0834		
F-tabla	1.3548		

○ Análisis del grupo G3: Gorgor, Oyón, Andájes y Pampa Libre

– Gorgor

Periodo n1: 1995 - 2004

Periodo n2: 2005 – 2014

Tabla 20: Resultados del Análisis del grupo G3: Gorgor

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	59.27	38.86	
desviación	74.70	47.60	
cantidad	120	120	
varianza	5580.32	2265.95	INCONSISTENTE
Sp	62.63		t-calc>t -tabla; 2.5237>1.9700
Sd	8.09		F-cal>F -tabla; 2.4627>1.3536
t-calc	2.5237		
t-tabla	1.9700		
F-calc	2.4627		
F-tabla	1.3536		

– Oyón

Periodo n1: 1995 - 2002

Periodo n2: 2003 – 2014

Tabla 21: Resultados del Análisis del grupo G3: Oyón

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	49.42	46.49	
desviación	48.14	46.56	
cantidad	96	144	
varianza	2317.26	2167.40	
Sp	47.19		CONSISTENTE t-calc<t -tabla; 0.4715<1.9700
Sd	6.22		F-calc<F -tabla; 1.0691<1.3548
t-calc	0.4715		
t-tabla	1.9700		
F-calc	1.0691		
F-tabla	1.3548		

– Andájes

Periodo n1: 1995 – 1998;

Periodo n2: 1999 – 2004;

Periodo n3: 2005 – 2014;

Tabla 22: Resultados del Análisis del grupo G3: Andájes (periodo n1, n2)

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	32.33	37.46	
desviación	43.83	44.62	
cantidad	48	72	
varianza	1921.39	1990.56	
Sp	44.31		CONSISTENTE t-calc<t -tabla; 0.6213<1.9803
Sd	8.26		F-calc<F -tabla; 1.0360<1.5726
t-calc	0.6213		
t-tabla	1.9803		
F-calc	1.0360		
F-tabla	1.5726		

Tabla 23: Resultados del Análisis del grupo G3: Andájes (periodo n2, n3)

	Parámetros		Resultado
	n2	n3	
promedio	37.46	40.87	
desviación	44.62	49.53	
cantidad	72	120	
varianza	1990.56	2452.92	
Sp	47.75		CONSISTENTE
Sd	7.12		t-calc<t -tabla; 0.4795<1.9725
t-calc	0.4795		F-calc<F -tabla; 1.2323<1.4330
t-tabla	1.9725		
F-calc	1.2323		
F-tabla	1.4330		

– Pampa Libre

Periodo n1: 1995 – 1999;

Periodo n2: 2000 – 2006;

Periodo n2: 2007 – 2014;

Tabla 24: Resultados del Análisis del grupo G3: Pampa Libre (periodo n1, n2)

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	12.43	9.59	
desviación	21.29	13.23	
cantidad	60	84	
varianza	453.13	174.93	
Sp	17.04		INCONSISTENTE
Sd	2.88		t-calc<t -tabla; 0.9825<1.9768
t-calc	0.9825		F-calc>F -tabla; 2.5903>1.4787
t-tabla	1.9768		
F-calc	2.5903		
F-tabla	1.4787		

Tabla 25: Resultados del Análisis del grupo G3: Pampa Libre (periodo n2, n3)

	Parámetros		Resultado
	n2	n3	
promedio	9.59	7.51	
desviación	13.23	12.76	
cantidad	84	95	
varianza	174.93	162.79	
Sp	12.98		CONSISTENTE t-calc<t -tabla; 1.0718<1.9734
Sd	1.94		F-calc<F -tabla; 1.0746<1.4176
t-calc	1.0718		
t-tabla	1.9734		
F-calc	1.0746		
F-tabla	1.4176		

○ Análisis del grupo G4: San Rafael, Huánuco y Canchan.

– San Rafael

Periodo n1: 1995 - 2003

Periodo n2: 2004 – 2014

Tabla 26: Resultados del análisis del grupo G4: San Rafael

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	59.04	59.77	
desviación	48.55	47.37	
cantidad	108	128	
varianza	2357.03	2244.02	
Sp	47.91		CONSISTENTE t-calc<t -tabla; 0.1171<1.9702
Sd	6.26		F-calc<F -tabla; 1.0504<1.3555
t-calc	0.1171		
t-tabla	1.9702		
F-calc	1.0504		
F-tabla	1.3555		

– Huánuco

Periodo n1: 1995 - 2003

Periodo n2: 2004 – 2014

Tabla 27: Resultados del análisis del grupo G4: Huánuco

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	32.01	39.56	
desviación	28.82	35.02	
cantidad	105	132	
varianza	830.49	1226.32	
Sp	32.42		INCONSISTENTE
Sd	4.24		t-calc<t -tabla; 1.7822<1.9701
t-calc	1.7822		F-calc<F -tabla; 1.4766>1.3633
t-tabla	1.9701		
F-calc	1.4766		
F-tabla	1.3633		

– Canchan

Periodo n1: 1995 - 2003

Periodo n2: 2004 – 2014

Tabla 28: Resultados del análisis del grupo G4: Canchan

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	36.05	44.91	
desviación	32.61	38.53	
cantidad	106	124	
varianza	1063.73	1484.67	
Sp	35.93		INCONSISTENTE
Sd	4.75		t-calc<t -tabla; 1.8640<1.9704
t-calc	1.8640		F-calc>F -tabla; 1.3957>1.3670
t-tabla	1.9704		
F-calc	1.3957		
F-tabla	1.3670		

Tabla 29: Resumen de análisis de consistencia de las estaciones

Grupo	Estación	Periodos evaluados	Calidad
G1	Recuay	n1-n2	Consistente
	Milpo	n1-n2	Inconsistente
		n2-n3	Inconsistente
	Cotaparaco	n1-n2	Inconsistente
		n2-n3	Consistente
G2	Mayorarca	n1-n2	Inconsistente
	Chiquián	n1-n2	Inconsistente
	Orcos	n1-n2	Inconsistente
	Cajatambo	n1-n2	Consistente
G3	Gorgor	n1-n2	Inconsistente
	Oyón	n1-n2	Consistente
	Andájes	n1-n2	Consistente
		n2-n3	Consistente
	Pampa Libre	n1-n2	Inconsistente
		n2-n3	Consistente
G4	San Rafael	n1-n2	Consistente
	Huánuco	n1-n2	Inconsistente
	Canchan	n1-n2	Inconsistente

Como se observa en la Tabla 29, una estación con 3 periodos fue analizado de dos maneras; en primer lugar, el periodo n1 con el periodo n2 y en segundo lugar, el periodo n2 con el periodo n3 y sus evaluaciones son independientes. Por ejemplo, la estación Cotaparaco que se le determinó inconsistente en n1-n2 y consistente entre n2-n3.

e. Análisis vector regional (VR) - Brunet Moret

Cabe detallar que para el método de cálculo de vector regional en HYDRACCESS, se tuvo como requisito trabajar con al menos 3 estaciones y con periodos comunes de al menos 5 años, como lo sugiere Espinoza (2005). Lo cual nos permitió definir la relación entre estaciones (correl/vector) y a completar los datos.

- Análisis de los procesos en HYDRACCESS

Espinoza (2005), menciona que los parámetros más importantes para evaluar el comportamiento de las estaciones son:

- La Desviación Estándar de los Desvíos (D.E.D), el cual se comparó la desviación de

una estación respecto al vector (estación ficticia, media de las otras estaciones) y las desviaciones altas indicaron variaciones altas.

Si la desviación fue mayor a 0.20; las estaciones fueron observados.

Si las desviaciones fueron igual o menor a 0.20; las estaciones no son observadas; ya que cumplieron con la tendencia del vector.

- La relación entre la estación y el vector (correl/vector); en el cual, si la zona fue homogénea climáticamente, los valores serán cercanos entre sí; si un valor fue sensiblemente más bajo que el promedio de la zona, entonces la estación tuvo fuerte probabilidad de tener errores o que se encontró en el margen de la zona. (Espinoza, 2005)

si $p=(+)$ la relación es directa entre las variables

si $p=(-)$ la relación es inversa

si $p=0$ son independientes; siendo “p” la correlación entre la estación evaluada y la ficticia(media).

Las estaciones que presenten una mayor desviación y correlaciones negativas respecto a las otras estaciones serán descartadas para los siguientes procesos o interrelacionadas con otras estaciones para volver a evaluar su correlación. Por lo tanto, las estaciones que cumplan con las condiciones de desviaciones mínimas y correlaciones positivas podrán continuar con el proceso de completado de datos por el método de VR ya que mantienen el mismo comportamiento.

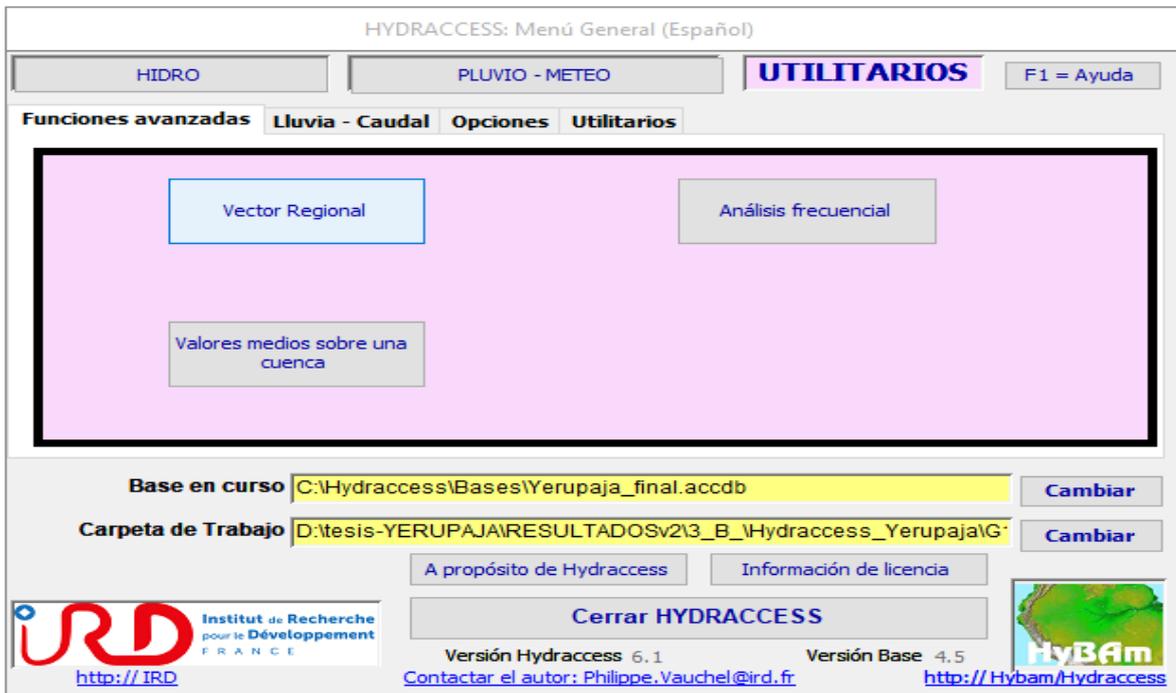


Figura 47: Formulario de Vector Regional del software HYDRACCESS. Funciones avanzadas

Vector Regional de índices anuales

Parámetros del archivo multi-estaciones		Estaciones	Años
Nombre	D:\tesis-YERUPAJA\RESULTADOSv2\3_B_\Hydraccess_Yerup	filas =	248
Año Inicio	1995	Número de Estaciones	3
Año Final	2014	Número de Años	20
Tipo de Datos	Valores Mensuales	Mes de trabajo	01 - Enero
Parámetros del procesamiento			
Año Inicio trabajo	1995	Número mínimo de estaciones por año	3
Año Final trabajo	2014	Número mínimo de años por estación	5
<input checked="" type="radio"/> Brunet Moret -->	Desvío límite inferior 0.80	Producir estas tablas:	
	Desvío límite superior 1.25	<input checked="" type="checkbox"/> Desvíos Índices / Vector	
<input type="radio"/> Hiez -->	Valor límite inferior 5	<input checked="" type="checkbox"/> Coeficientes Índices / Vector	
		<input checked="" type="checkbox"/> Rieles de dobles masas	
Parámetros de la estimación			
<input checked="" type="checkbox"/>	calcular los valores con un desvío aleatorio entre -2 DED y +2 DED	DED	
<input checked="" type="checkbox"/>	guardar los valores observados con desvíos entre -2 DED y +2 DED		0.50
Estación			
Captor			valores
Captor de salida	M-Vec		valores
<input type="button" value="Leer un Archivo multi-estaciones"/>	<input type="button" value="Calcular el Vector"/>	<input type="button" value="Detalles de la Estación"/>	<input type="button" value="Mapa del Año"/>
	<input checked="" type="checkbox"/> Desvíos	<input type="button" value="Completar el captor de salida"/>	
	<input checked="" type="checkbox"/> Medias		

Figura 48: Formulario de Vector Regional del software HYDRACCESS. Vector Regional

A continuación, se prosiguió con la evaluación de las estaciones a través del método de vector regional (VR) para cada uno de los meses (enero a diciembre) en el periodo de 1995 al 2014 entre las estaciones asociadas con anterioridad, a través del software HYDRACCESS.

- Análisis del grupo G1: Recuay, Cotaparaco y Milpo

Tabla 30: Media de precipitaciones acumuladas mensuales de 1995-2014 de las estaciones G1, datos incompletos

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Recuay	118.4	128.3	176.2	93.5	29.5	7.7	2.54	8.6	32.8	81.7	90	113.1
Milpo	185.4	173.1	223.4	114	41.4	15.8	16.05	17.8	40.6	108.2	118.6	158.8
Cotaparaco	63.9	97.5	108.3	40.6	4.9	0.1	0.09	0.4	3	17.4	27.6	43.9

Tabla 31: Desviación estándar de desvíos de las estaciones G1, datos incompletos.

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Recuay	0.2	0.16	0.27	0.26	1.01	4.53	*	3.6	0.72	0.2	0.25	0.23
Milpo	0.4	0.33	0.32	0.32	0.69	4.62	*	4.1	0.87	0.31	0.44	0.28
Cotaparaco	0.35	0.24	0.25	0.37	0.71	0.06	*	0.04	0.7	0.48	0.65	0.44

Tabla 32: Correlación de las estaciones G1, datos incompletos

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Recuay	0.9	0.92	0.72	0.79	0.15	0.25	*	0.5	0.74	0.91	0.88	0.88
Milpo	0.73	0.7	0.74	0.89	0.65	0.15	*	0.01	0.66	0.77	0.6	0.77
Cotaparaco	0.82	0.94	0.88	0.71	0.91	1	*	1	0.94	0.71	0.8	0.94

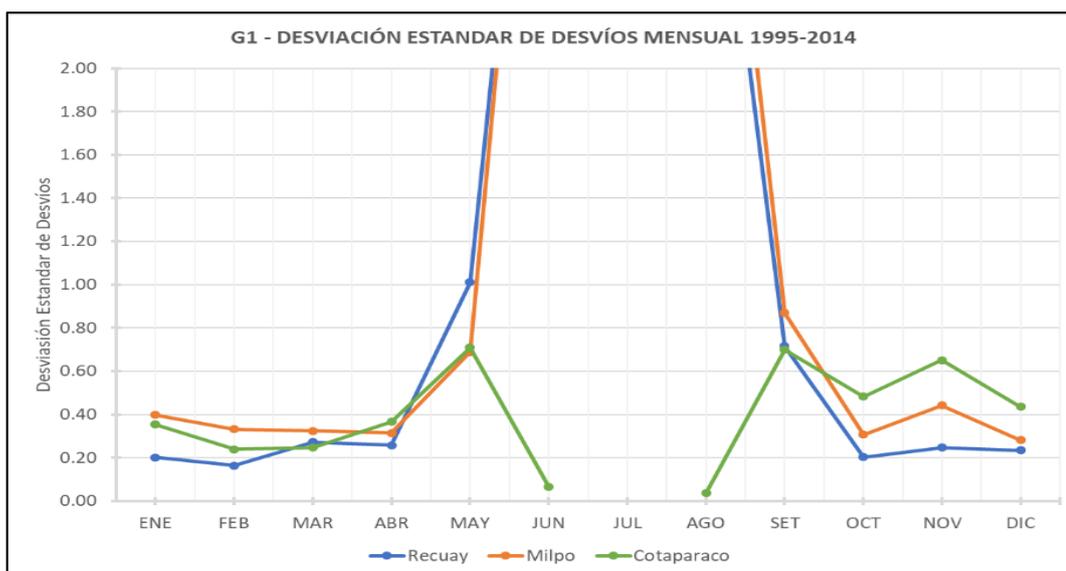


Figura 49: G1- desviación Estándar de Desvíos Mensual 1995-2014

En las estaciones del G1 se observaron D.E.D. con valores de 0.04 a 4.62 de enero a diciembre. Y en el periodo de interés de diciembre a marzo presenta valores de 0.16 a 0.44 y media de 0.32, manteniendo una desviación muy alto e inaceptable para el completado de datos por el método de Vector Regional. Según se observa en los datos, la estación de Milpo se encuentra a una altitud mayor, hasta por 1 000 m de diferencia con las demás estaciones que podrían estar ocasionando resultados desfavorables, sus precipitaciones medias mensuales también son muy altas; datos temporales que alteraron la creación de la estación vector y por lo tanto las otras estaciones presentaron desviaciones muy altas. Para lo cual, se prosiguió con el completado de datos por los otros métodos convencionales.

- Análisis del grupo G2: Mayorarca, Chiquián, Orcos y Cajatambo

Tabla 33: Media de precipitaciones acumuladas mensuales de 1995-2014 de las estaciones G2, datos incompletos

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Mayorarca	100.2	113.5	126.3	52	7.2	1.63	0.33	0.77	6.03	32.9	43	79
Chiquián	112.7	142.5	151.8	66.8	11.2	1.06	0.18	1.19	12.22	40.2	47.6	107.5
Ocros	54.2	88.3	84.4	25	3.1	0.12	0.02	0	2.77	9.1	12.3	35.2
Cajatambo	110.1	138.4	150	60.4	10.2	1.35	0.57	1.94	9.58	40.1	55.5	111.2

Tabla 34: Desviación estándar de desvíos de las estaciones G2, datos incompletos

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Mayorarca	0.19	0.13	0.11	0.47	0.9	*	*	*	*	0.38	0.37	0.11
Chiquián	0.21	0.2	0.14	0.35	1.38	*	*	*	*	0.5	0.4	0.27
Ocros	0.32	0.32	0.36	0.35	0.89	*	*	*	*	0.61	0.89	0.44
Cajatambo	0.22	0.2	0.12	0.32	1.01	*	*	*	*	0.42	0.53	0.12

Tabla 35: Correlación de las estaciones G2, datos incompletos

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Mayorarca	0.92	0.97	0.93	0.6	0.87	*	*	*	*	0.85	0.83	0.97
Chiquián	0.9	0.9	0.9	0.77	0.6	*	*	*	*	0.71	0.81	0.81
Ocros	0.92	0.88	0.74	0.87	0.95	*	*	*	*	0.83	0.6	0.94
Cajatambo	0.87	0.91	0.92	0.81	0.82	*	*	*	*	0.83	0.63	0.97

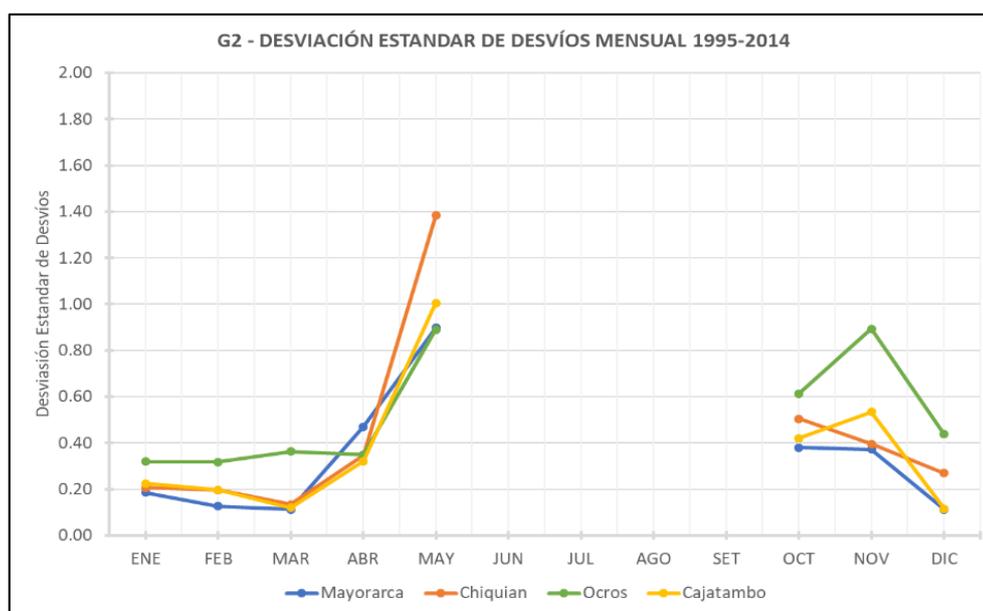


Figura 50: G2- desviación Estándar de Desvíos Mensual 1995-2014

En las estaciones del G2 se observaron D.E.D. con valores de 0.11 a 1.38 de enero a diciembre. Y en el periodo de interés de diciembre a marzo presenta valores de 0.11 a 0.44 y media de 0.21, manteniendo una desviación muy alto e inaceptable para el completado de datos por el método de Vector Regional. Según se observa en los datos, la estación de Ocros presenta precipitaciones medias mensuales muy bajas con respecto a las otras estaciones; datos temporales que alteraron la creación de la estación vector y por lo tanto las otras estaciones presentaron desviaciones muy altas sobre todo en el periodo de octubre a

diciembre. Para lo cual, se prosiguió con el descarte de la estación Ocos, generando el grupo G2.v2 (Mayorarca, Chiquián y Cajatambo) y se volvió a evaluar las desviaciones.

- Análisis del grupo G2.v2: Mayorarca, Chiquián y Cajatambo

Tabla 36: Media de precipitaciones acumuladas mensuales de 1995-2014 de las estaciones G2.v2, datos incompletos

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Mayorarca	100.2	113.5	126.3	52	7.2	1.63	0.33	0.77	6.03	32.9	43	79
Chiquián	112.7	142.5	151.8	66.8	11.2	1.06	0.18	1.19	12.22	40.2	47.6	107.5
Cajatambo	110.1	138.4	150	60.4	10.2	1.35	0.57	1.94	9.58	40.1	55.5	111.2

Tabla 37: Desviación estándar de desvíos de las estaciones G2.v2, datos incompletos

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Mayorarca	0.16	0.13	0.09	0.25	0.5	*	*	*	*	0.23	0.36	0.1
Chiquián	0.14	0.15	0.09	0.18	0.91	*	*	*	*	0.35	0.23	0.17
Cajatambo	0.2	0.17	0.11	0.18	0.5	*	*	*	*	0.24	0.27	0.13

Tabla 38: Correlación de las estaciones G2.v2, datos incompletos

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Mayorarca	0.95	0.97	0.96	0.83	0.94	*	*	*	*	0.92	0.82	0.98
Chiquián	0.95	0.93	0.95	0.9	0.72	*	*	*	*	0.78	0.91	0.91
Cajatambo	0.88	0.89	0.94	0.94	0.93	*	*	*	*	0.92	0.87	0.96

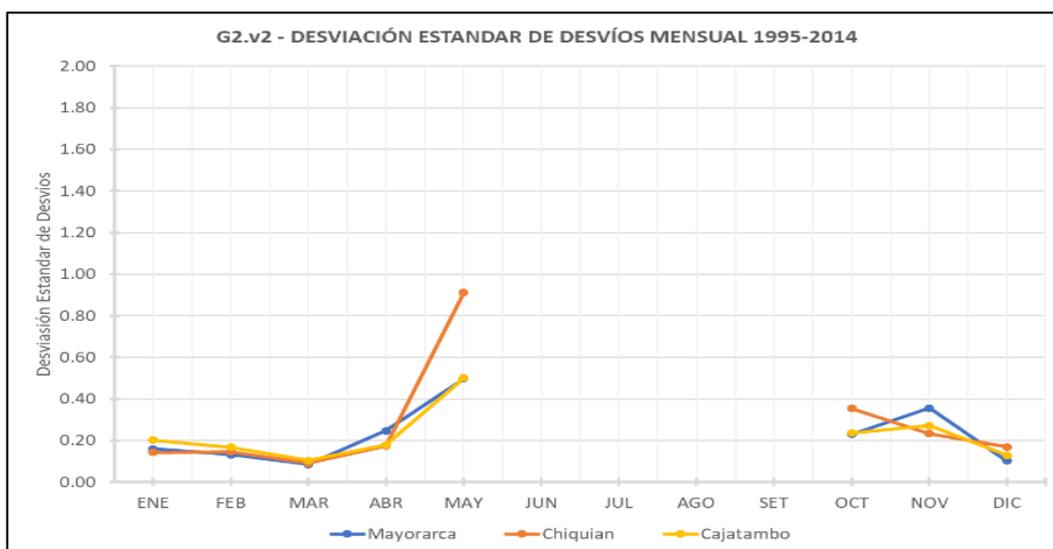


Figura 51: G2.v2- desviación Estándar de Desvíos Mensual 1995-2014

En las estaciones del G2.v2 se observaron D.E.D. con valores de 0.09 a 0.91 de enero a diciembre. Y en el periodo de interés de diciembre a marzo presenta valores de 0.09 a 0.20 y media de 0.14, manteniendo una desviación aceptable para el completado de datos por el método de Vector Regional.

- Análisis del grupo G3: Gorgor, Oyón, Andájes y Pampa Libre

Tabla 39: Media de precipitaciones acumuladas mensuales de 1995-2014 de las estaciones G3, datos incompletos

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Gorgor	97.6	134	145.5	54.9	6.64	0.34	0	0.48	4	24.7	40.6	80.5
Oyón	99.5	100.1	115.6	47.2	10.51	2.34	0.69	2.13	13.9	44.5	52.2	90.1
Andájes	88	96.5	100.6	42.4	2.61	0.1	0.16	0.19	4	19.6	31	69.7
Pampa Libre	22.9	27.8	31	9.9	0.86	0.06	0	0	0.2	2.4	6.5	14

Tabla 40: Desviación estándar de desvíos de las estaciones G3, datos incompletos

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Gorgor	0.24	0.4	0.33	0.63	*	*	*	*	2.56	0.74	0.69	0.3
Oyón	0.24	0.26	0.24	0.34	*	*	*	*	3.36	0.79	0.53	0.28
Andájes	0.24	0.25	0.29	0.28	*	*	*	*	0.94	0.87	0.47	0.28
Pampa Libre	0.4	0.34	0.48	0.61	*	*	*	*	0.61	1.78	0.75	0.5

Tabla 41: Correlación de las estaciones G3, datos incompletos

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Gorgor	0.9	0.68	0.65	0.43	*	*	*	*	0.63	0.59	0.6	0.83
Oyón	0.9	0.83	0.75	0.82	*	*	*	*	0.16	0.51	0.77	0.79
Andájes	0.89	0.87	0.68	0.9	*	*	*	*	0.96	0.47	0.85	0.81
Pampa Libre	0.94	0.93	0.88	0.91	*	*	*	*	0.98	0.74	0.91	0.86

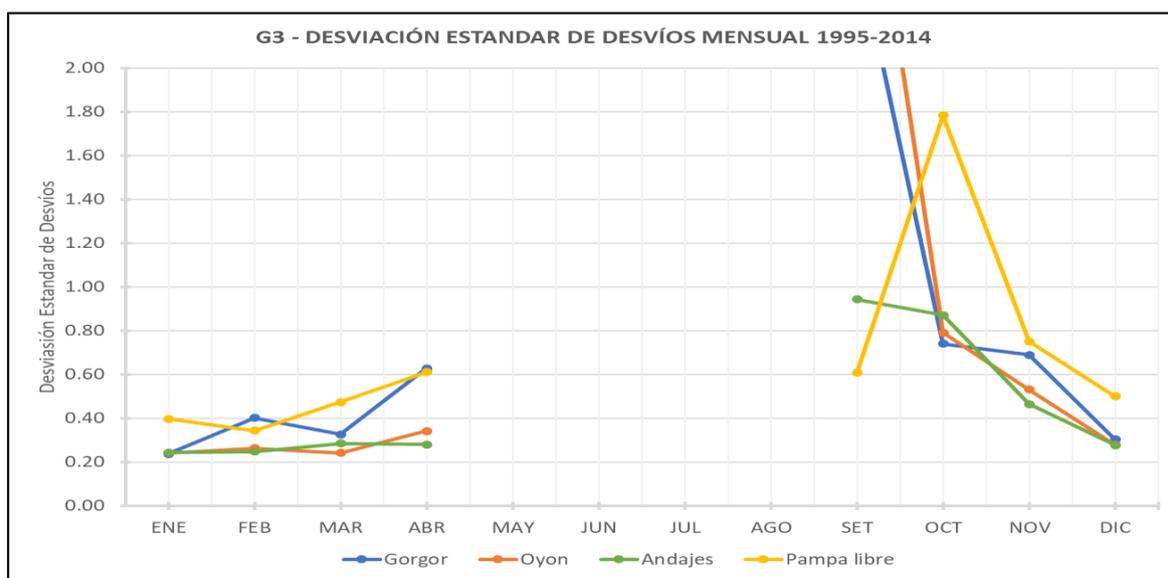


Figura 52: G3- desviación Estándar de Desvíos Mensual 1995-2014

En las estaciones del G3 se observaron D.E.D. con valores de 0.24 a 3.36 de enero a diciembre. Y en el periodo de interés de diciembre a marzo presenta valores de 0.24 a 0.50 y media de 0.32, manteniendo una desviación muy alto e inaceptable para el completado de datos por el método de Vector Regional. Según se observa en los datos, la estación de Pampa Libre se encuentra a una altitud menor hasta por 2 200 m de diferencia con las demás estaciones, las precipitaciones medias mensuales también son muy bajas; datos temporales que alteraron la creación del vector regional y por lo tanto las otras estaciones presentaron desviaciones muy altas. Para lo cual, se prosiguió con el descarte de la estación Pampa Libre, generando el grupo G3.v2 (Gorgor, Oyón y Andájes) y se volvió a evaluar las desviaciones.

- Análisis del grupo G3.v2: Gorgor, Oyón y Andájes.

Tabla 42: Media de precipitaciones acumuladas mensuales de 1995-2014 de las estaciones G3.v2, datos incompletos

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Gorgor	103.2	138.9	145.5	56.5	6.64	0.34	0	0.48	4	24.7	40.6	80.5
Oyón	99.5	98.8	115.6	47.2	10.51	2.34	0.69	2.13	13.9	44.5	52.2	90.5
Andájes	92.9	96.5	100.6	39.5	2.61	0.1	0.16	0.19	4	19.6	31	70.4

Tabla 43: Desviación estándar de desvíos de las estaciones G3.v2, datos incompletos

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Gorgor	0.26	0.3	0.3	0.43	*	*	*	*	1.23	0.41	0.46	0.32
Oyón	0.12	0.21	0.15	0.32	*	*	*	*	1.9	0.37	0.36	0.15
Andájes	0.18	0.19	0.22	0.35	*	*	*	*	1.59	0.46	0.36	0.2

Tabla 44: Correlación de las estaciones G3.v2, datos incompletos

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Gorgor	0.87	0.79	0.68	0.7	*	*	*	*	0.92	0.84	0.77	0.79
Oyón	0.97	0.87	0.86	0.83	*	*	*	*	0.4	0.84	0.8	0.92
Andájes	0.92	0.93	0.78	0.83	*	*	*	*	0.84	0.86	0.89	0.91

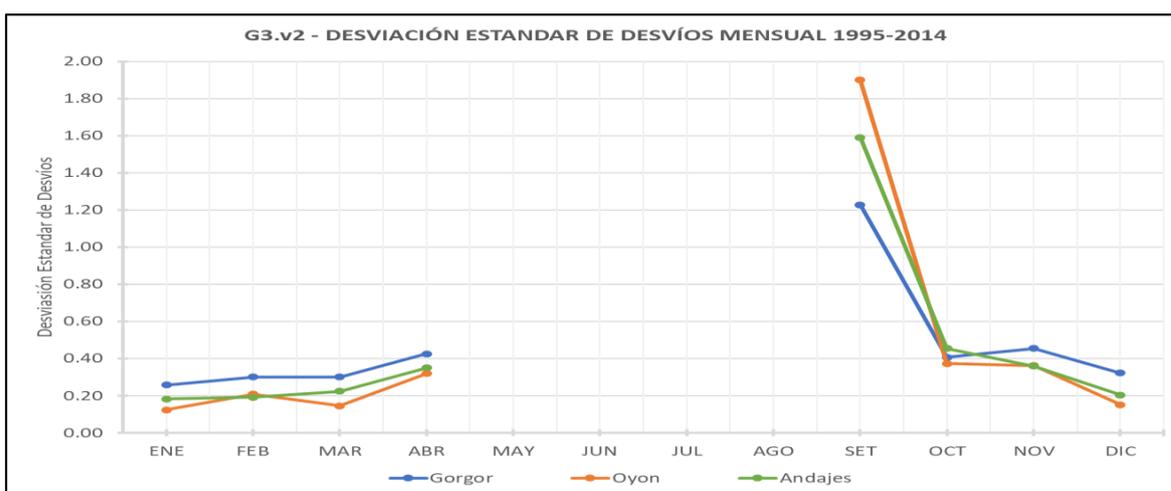


Figura 53: G3.v2 - desviación Estándar de Desvíos Mensual 1995-2014

En las estaciones del G3.v2 se observaron D.E.D. con valores de 0.12 a 1.90 de enero a diciembre. Y en el periodo de interés de diciembre a marzo presenta valores de 0.12 a 0.32 y media de 0.22, manteniendo una desviación aceptable para el completado de datos por el método de Vector Regional.

- Análisis del grupo G4: San Rafael, Huánuco y Canchán.

Tabla 45: Media de precipitaciones acumuladas mensuales de 1995-2014 de las estaciones G4, datos incompletos

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
San Rafael	96.3	107	108.4	57.7	18.3	9.9	8.66	12	31.9	62.1	71.6	123.3
Huánuco	55.2	58.4	78.3	37.3	11.3	5.3	4.74	6.2	13.1	40.8	54.5	71.7
Canchan	69.1	70	83.7	36	11.4	6.4	6.01	6.9	13.6	44.7	49.8	79.2

Tabla 46: Desviación estándar de desvíos de las estaciones G4, datos incompletos

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
San Rafael	0.23	0.25	0.26	0.33	0.46	0.67	*	0.5	0.32	0.33	0.24	0.32
Huánuco	0.19	0.12	0.17	0.18	0.34	0.59	*	0.34	0.44	0.25	0.17	0.14
Canchan	0.18	0.1	0.14	0.21	0.29	0.69	*	0.36	0.32	0.26	0.15	0.17

Tabla 47: Correlación de las estaciones G4, datos incompletos

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
San Rafael	0.73	0.78	0.63	0.62	0.79	0.72	*	0.79	0.86	0.68	0.64	0.59
Huánuco	0.88	0.96	0.89	0.93	0.88	0.88	*	0.94	0.9	0.92	0.84	0.98
Canchan	0.9	0.97	0.91	0.92	0.9	0.82	*	0.93	0.87	0.84	0.94	0.93

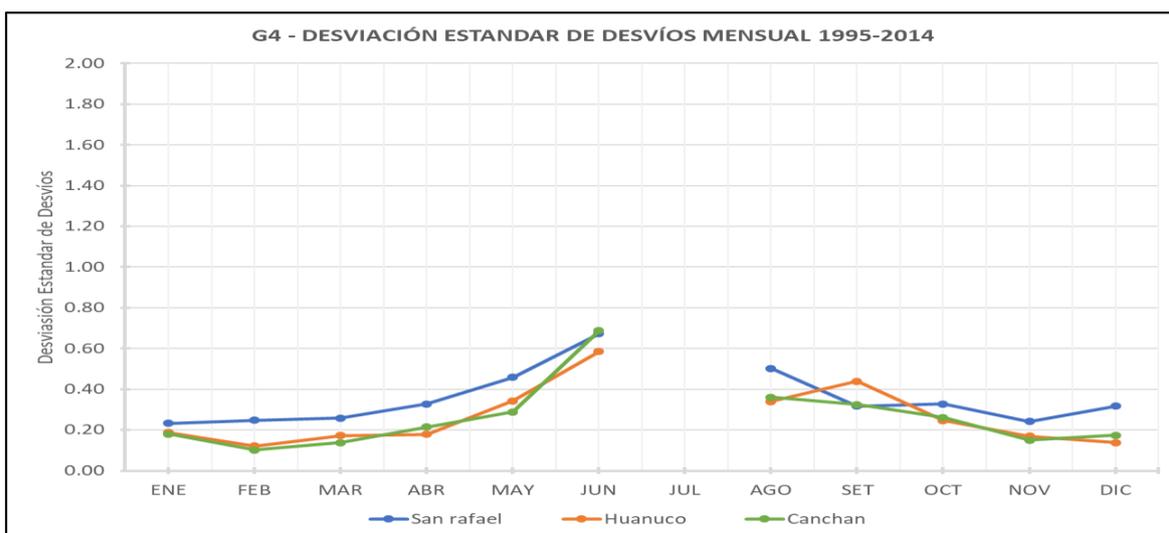


Figura 54: G4- desviación Estándar de Desvíos Mensual 1995-2014

A continuación, se presenta la Desviación Estándar de Desvíos promedio de cada uno de los grupos en los doce meses del año en donde se visualiza las desviaciones medias menores o igual a 0.33 como aceptables en los meses de diciembre a abril, los cuales varían de 0.17 a 0.38. Por lo tanto; se observaron en los resultados de VR que las estaciones contaron con D.E.D. mínimas en los meses de diciembre enero, febrero, marzo y abril, los cuales son meses de periodo de lluvia, por lo contrario, en los otros meses se mantiene D.E.D. mayores a 0.2, debido a la ausencia o bajas precipitaciones que no permiten realizar en análisis de los datos desde el mes de mayo a noviembre.

Tabla 48: Desvío Estándar de Desvíos (D.E.D.) mensuales promedios del periodo 1995-2014 de los grupos G1, G2, G3v.2 y G4 (Con datos incompletos)

Mes	G1	G2.v2	G3.v2	G4
Enero	0.33	0.17	0.2	0.2
Febrero	0.25	0.15	0.24	0.17
Marzo	0.28	0.09	0.23	0.2
Abril	0.32	0.2	0.37	0.25
Mayo	0.82	0.67	*	0.37
Junio	3.74	*	*	0.65
Julio	*	*	*	*
Agosto	3.15	*	*	0.41
Setiembre	0.77	*	1.6	0.36
Octubre	0.35	0.28	0.41	0.28
Noviembre	0.48	0.29	0.39	0.19
Diciembre	0.33	0.14	0.24	0.22

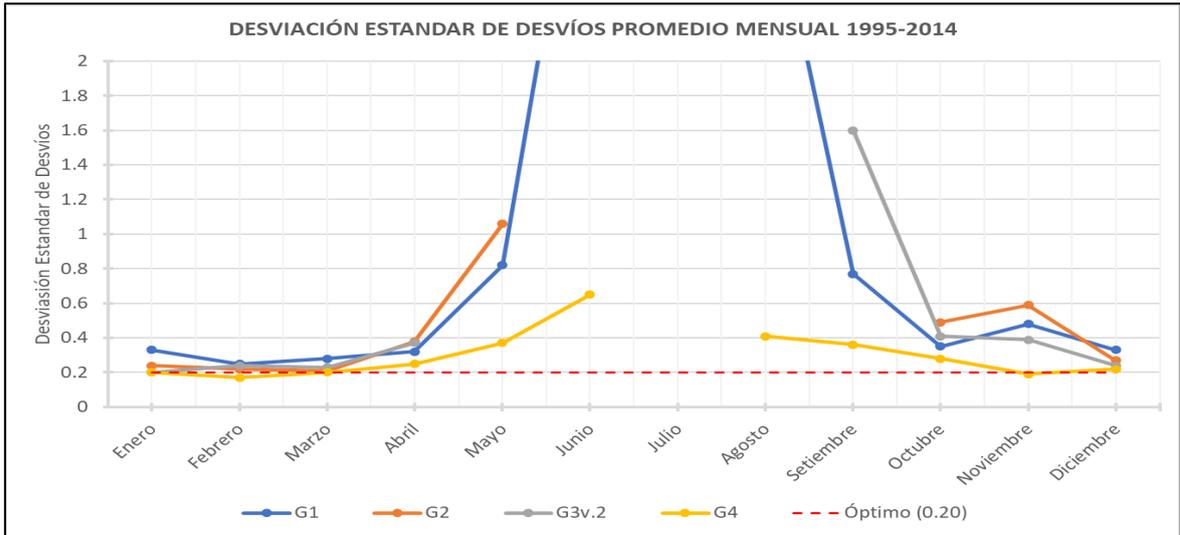


Figura 55: Desvío Estándar de Desvíos (D.E.D.) mensual promedio del periodo 1995-2014 de los grupos G1, G2, G3v.2 y G4. Con datos incompletos

Tabla 49: Correlaciones mensuales promedio del periodo 1995-2014 de los grupos G1, G2v.2, G3v.2 y G4 con datos incompletos

Mes	G1	G2.v2	G3.v2	G4
Enero	0.82	0.92	0.92	0.84
Febrero	0.85	0.93	0.86	0.90
Marzo	0.78	0.95	0.77	0.81
Abril	0.80	0.89	0.79	0.82
Mayo	0.57	0.91	*	0.86
Junio	0.46	*	*	0.80
Julio	*	*	*	*
Agosto	0.50	*	*	0.89
Setiembre	0.78	*	0.72	0.87
Octubre	0.80	0.87	0.85	0.81
Noviembre	0.76	0.87	0.82	0.81
Diciembre	0.86	0.95	0.87	0.83

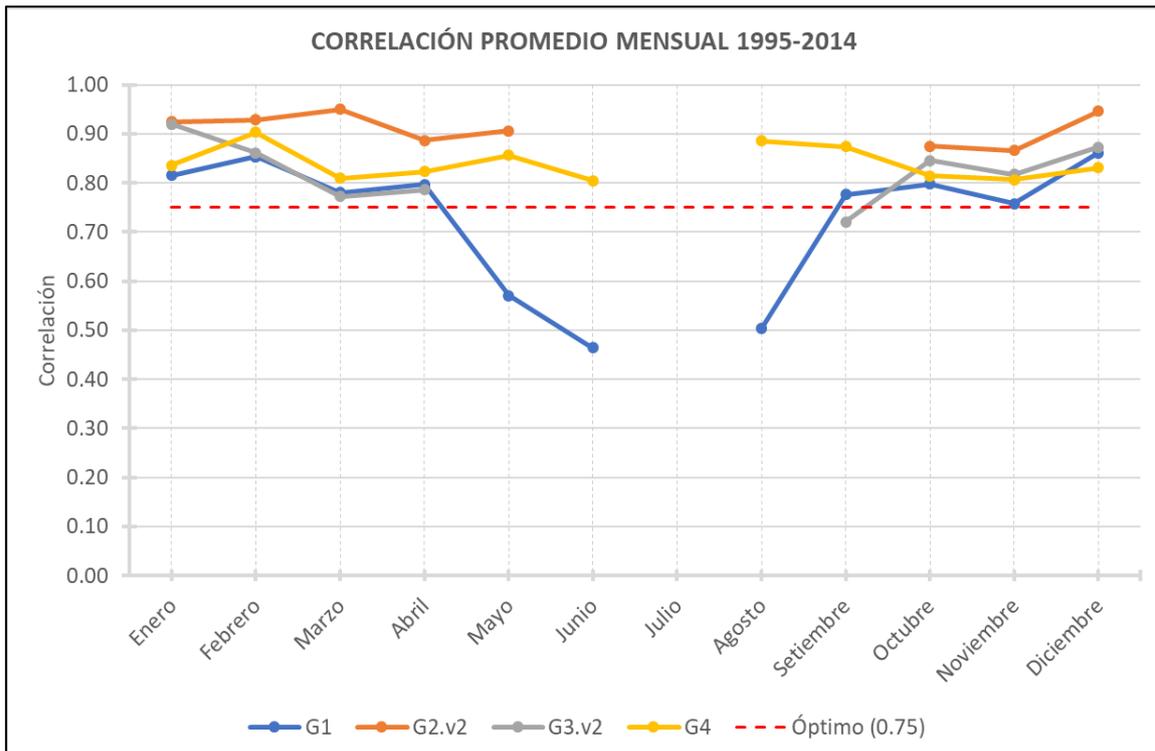


Figura 56: Correlación promedio mensual del periodo 1995-2014 de los grupos G1, G2, G3v.2 y G4. Con datos incompletos

En los meses de octubre a abril, se obtuvieron resultados con correlaciones positivas en todas las estaciones con valores sobre 0.75; es decir, una buena relación de las estaciones con respecto la estación vector o media y DED próximos a 0.2 en los meses de diciembre a abril.

f. Corrección

La corrección de los datos consistió en la reconstrucción de datos que mantienen inconsistencia en la serie temporal con el 95% de probabilidad; logrando que los datos mantengan una media homogénea estadísticamente. Normalmente estas correcciones se realizan a intervalos de tiempo que fueron afectados por saltos. Sin embargo, estos saltos no determinan la inconsistencia de la información; ya que podrían ser generados por cambios naturales, que en dicho caso se debería mantener estadísticamente homogénea la media y por otro lado puede ser generados por factores no naturales, como la construcción de presas, edificios y siembra de árboles, en ese caso se justifica la alteración de la media de los distintos periodos.

Para las correcciones de las estaciones inconsistentes se aplicó las siguientes ecuaciones (Chua, 2017):

En caso se corrija la primera serie (n1);

$$X'_{(t)} = \frac{x_t - \bar{x}_1}{S_1(x)} \cdot S_2(x) + \bar{x}_2$$

En caso se corrija la segunda serie (n2);

$$X'_{(t)} = \frac{x_t - \bar{x}_2}{S_2(x)} \cdot S_1(x) + \bar{x}_1$$

donde:

$X'_{(t)}$ = valor corregido de saltos

x_t = valor a ser corregido

A continuación se describe el proceso de corrección de datos; con respecto a los saltos observados en los gráficos anteriores, se acota que fueron de alteración natural y no por factores externos no naturales como la construcción de presas, edificios y siembra de árboles. Debido a que se encuentra dentro de una reserva nacional y no hay registro de algún cambio.

– Corrección de estación Milpo

Debido a que los periodos n1 (1995-2001) y n3 (2009-2014) fueron inconsistentes se prosiguió a su corrección con el apoyo del periodo n2 (2002-2008). Se observa la serie corregida proyectada en las figuras 57 y 58 de color naranja y mencionada en las tablas 51 y 52.

Tabla 50: Periodos de la estación Milpo

Periodo	Milpo	
1995-2001	media-1	85.96
	desv-1	72.34
2002-2008	media-2	118.76
	desv-2	112.89
2009-2014	media-3	160.83
	desv-3	156.33

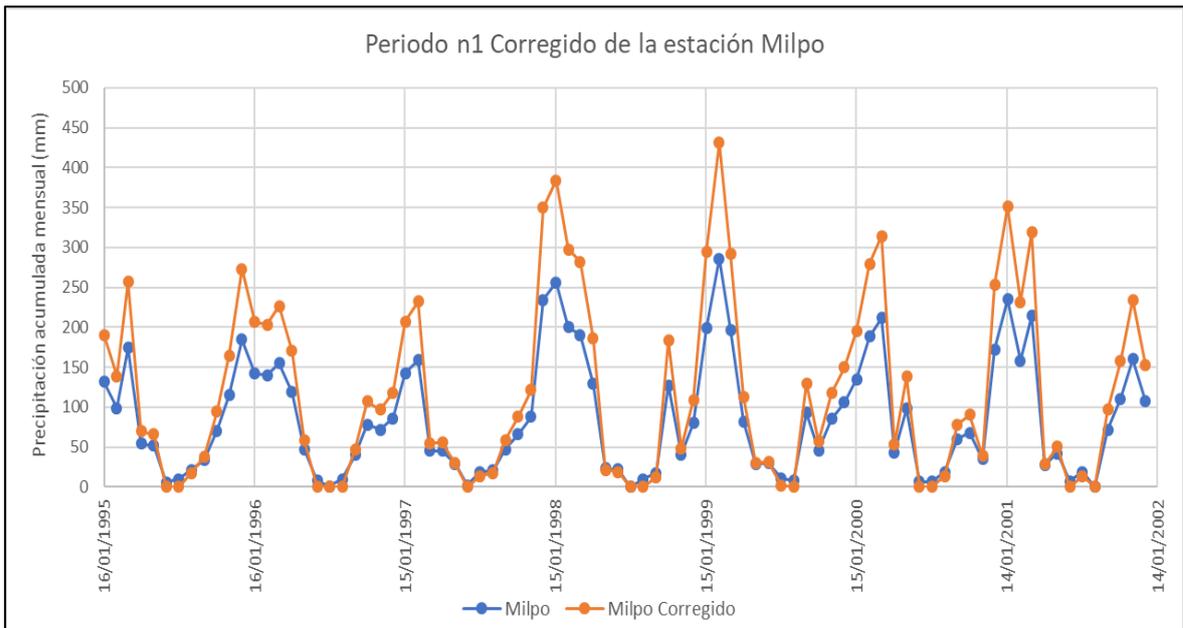


Figura 57: Histograma de la estación Milpo del periodo n1 (1995-2001) corregido y sin corregir

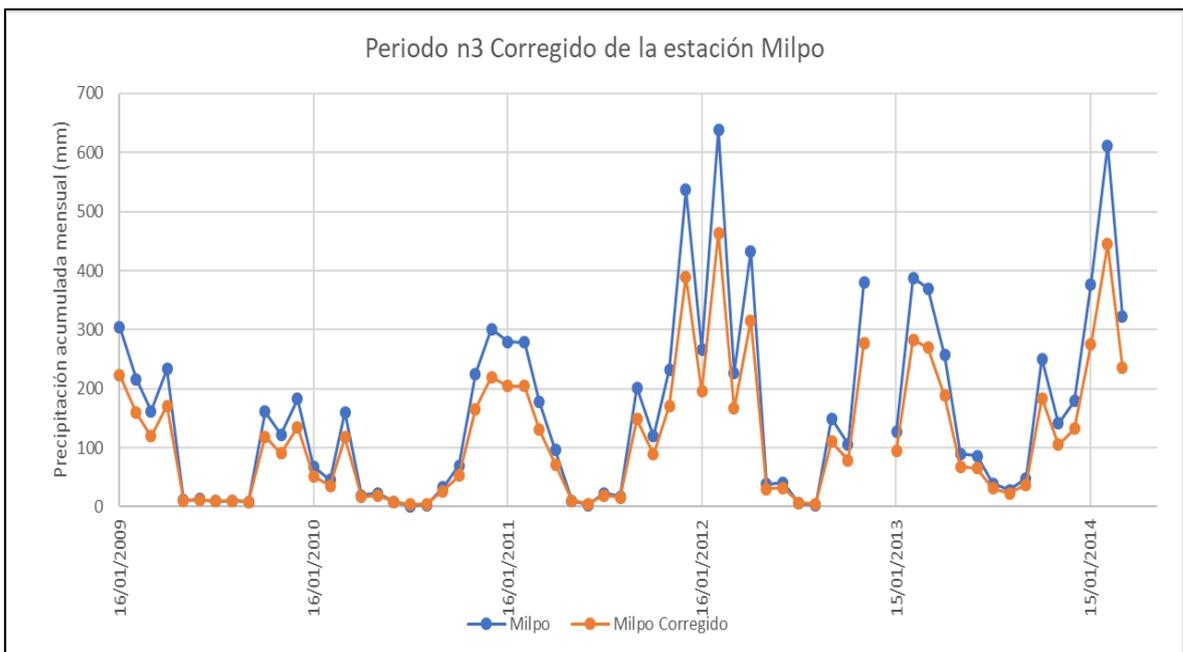


Figura 58: Histograma de la estación Milpo del periodo n3 (2009-2014) corregido y sin corregir

Tabla 51: Datos de la estación Milpo del periodo n1 (1995-2001) corregido

Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)
16/01/1995	190.29	16/01/1997	206.99	16/01/1999	294.84	16/01/2001	351.17
16/02/1995	139.11	16/02/1997	232.74	16/02/1999	431.22	16/02/2001	231.80
16/03/1995	256.77	16/03/1997	55.32	16/03/1999	291.56	16/03/2001	318.71
16/04/1995	69.83	16/04/1997	55.79	16/04/1999	112.90	16/04/2001	28.48
16/05/1995	65.93	16/05/1997	29.73	16/05/1999	30.19	16/05/2001	50.79
16/06/1995	0.00	16/06/1997	0.00	16/06/1999	31.29	16/06/2001	0.00
16/07/1995	0.23	16/07/1997	13.65	16/07/1999	1.79	16/07/2001	13.81
16/08/1995	17.71	16/08/1997	17.40	16/08/1999	0.00	16/08/2001	0.00
16/09/1995	37.37	16/09/1997	58.59	16/09/1999	129.59	16/09/2001	97.14
16/10/1995	94.48	16/10/1997	88.09	16/10/1999	56.88	16/10/2001	157.37
16/11/1995	164.55	16/11/1997	121.48	16/11/1999	117.89	16/11/2001	234.61
16/12/1995	273.15	16/12/1997	349.92	16/12/1999	149.88	16/12/2001	152.37
16/01/1996	206.68	16/01/1998	384.41	16/01/2000	195.75		
16/02/1996	203.40	16/02/1998	297.49	16/02/2000	279.39		
16/03/1996	226.34	16/03/1998	281.89	16/03/2000	314.66		
16/04/1996	170.63	16/04/1998	185.92	16/04/2000	52.82		
16/05/1996	58.91	16/05/1998	21.46	16/05/2000	138.17		
16/06/1996	0.00	16/06/1998	19.12	16/06/2000	0.00		
16/07/1996	0.00	16/07/1998	0.00	16/07/2000	0.00		
16/08/1996	0.08	16/08/1998	0.08	16/08/2000	13.81		
16/09/1996	47.05	16/09/1998	12.41	16/09/2000	78.57		
16/10/1996	107.12	16/10/1998	183.43	16/10/2000	90.27		
16/11/1996	96.67	16/11/1998	48.45	16/11/2000	38.78		
16/12/1996	118.36	16/12/1998	109.31	16/12/2000	253.96		

Tabla 52: Datos de la estación Milpo del periodo n3 (2009-2014) corregido

Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)
16/01/2009	222.94	16/01/2011	204.67	16/01/2013	94.84
16/02/2009	158.96	16/02/2011	204.02	16/02/2013	282.95
16/03/2009	119.83	16/03/2011	130.73	16/03/2013	269.3
16/04/2009	171.17	16/04/2011	71.73	16/04/2013	187.85
16/05/2009	10.36	16/05/2011	9.92	16/05/2013	67.62
16/06/2009	11.87	16/06/2011	4.94	16/06/2013	65.02
16/07/2009	9.63	16/07/2011	19.24	16/07/2013	31.08
16/08/2009	9.99	16/08/2011	15.19	16/08/2013	22.92
16/09/2009	8.62	16/09/2011	147.99	16/09/2013	37.15
16/10/2009	118.81	16/10/2011	88.99	16/10/2013	183.23
16/11/2009	90.72	16/11/2011	170.73	16/11/2013	104.66
16/12/2009	134.48	16/12/2011	389.96	16/12/2013	131.96
16/01/2010	52.02	16/01/2012	195.21	16/01/2014	274.5
16/02/2010	35.12	16/02/2012	463.54	16/02/2014	444.7
16/03/2010	118.02	16/03/2012	166.54	16/03/2014	235.94
16/04/2010	16.49	16/04/2012	315.37		
16/05/2010	19.09	16/05/2012	30.29		
16/06/2010	8.41	16/06/2012	32.23		
16/07/2010	3.57	16/07/2012	6.67		
16/08/2010	4.65	16/08/2012	5.01		
16/09/2010	26.6	16/09/2012	110.37		
16/10/2010	52.74	16/10/2012	79.24		
16/11/2010	165.32	16/11/2012	277.53		
16/12/2010	219.91	16/12/2012	*		

– Corrección de estación Cotaparaco

Debido a que el periodo n1 (1995-2000) fue inconsistente se prosiguió a su corrección con el apoyo del periodo n2 (2001-2006). Se observa la serie corregida proyectada en la Figura 59 de color naranja y mencionada en la Tabla 54.

Tabla 53: Periodos de la estación Cotaparaco

Periodo	Cotaparaco	
1995-2000	media-1	38.41
	desv-1	54.34
2001-2006	media-2	31.20
	desv-2	40.49
2009-2014	media-3	32.01
	desv-3	44.64

Tabla 54: Datos de estación Cotaparaco del periodo n1 (1995-2001) corregido

Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)
16/01/1995	63.17	16/01/1997	19.72	16/01/1999	63.54
16/02/1995	28.59	16/02/1997	82.02	16/02/1999	184.33
16/03/1995	30.23	16/03/1997	19.72	16/03/1999	59.81
16/04/1995	22.7	16/04/1997	11.9	16/04/1999	32.99
16/05/1995	2.58	16/05/1997	11.97	16/05/1999	2.58
16/06/1995	2.58	16/06/1997	2.58	16/06/1999	2.58
16/07/1995	2.58	16/07/1997	2.58	16/07/1999	2.58
16/08/1995	2.58	16/08/1997	2.58	16/08/1999	2.58
16/09/1995	3.78	16/09/1997	4.45	16/09/1999	10.33
16/10/1995	17.78	16/10/1997	10.03	16/10/1999	11.82
16/11/1995	26.88	16/11/1997	38.8	16/11/1999	20.24
16/12/1995	34.92	16/12/1997	121.66	16/12/1999	30.53
16/01/1996	62.72	16/01/1998	111.6	16/01/2000	48.71
16/02/1996	83.81	16/02/1998	141.26	16/02/2000	117.49
16/03/1996	77.55	16/03/1998	165.25	16/03/2000	71.59
16/04/1996	27.7	16/04/1998	36.94	16/04/2000	39.77
16/05/1996	12.79	16/05/1998	6.83	16/05/2000	10.18
16/06/1996	2.58	16/06/1998	3.25	16/06/2000	2.58
16/07/1996	2.58	16/07/1998	2.58	16/07/2000	2.58
16/08/1996	2.58	16/08/1998	2.58	16/08/2000	7.43
16/09/1996	2.58	16/09/1998	2.58	16/09/2000	11.38
16/10/1996	11.67	16/10/1998	27.84	16/10/2000	18.23
16/11/1996	5.19	16/11/1998	7.95	16/11/2000	14.06
16/12/1996	11.97	16/12/1998	22.4	16/12/2000	48.86

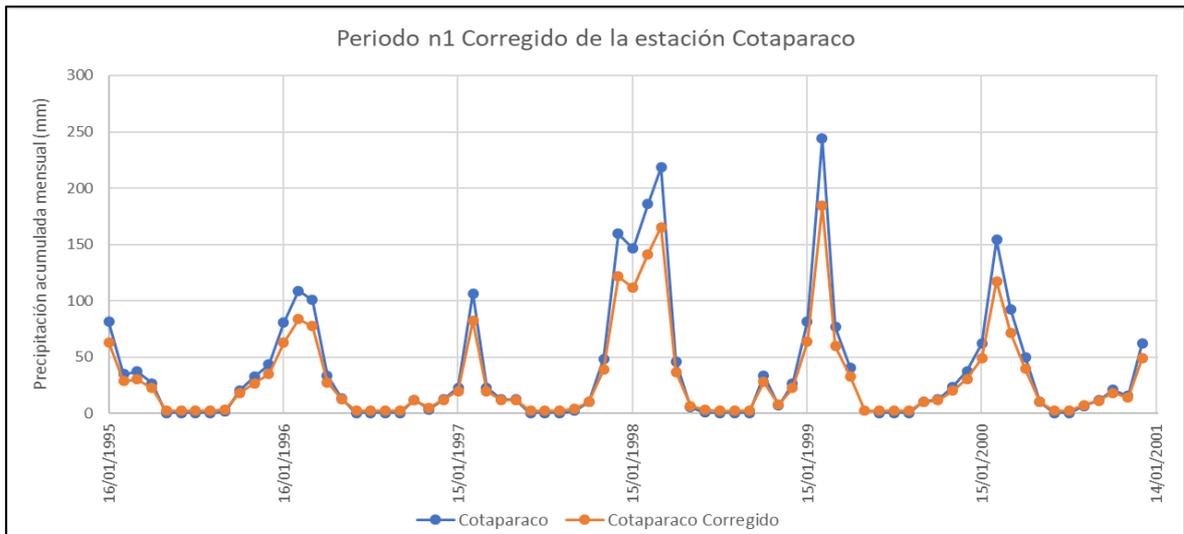


Figura 59: Histograma de estación Cotaparaco del periodo n1 (1995-2001) corregido y sin corregir

- Corrección de estación Mayorarca

Debido a que el periodo n1 (1995-2002) fue inconsistente se prosiguió a su corrección con el apoyo del periodo n2 (2003-2014). Se observa la serie corregida proyectada en la Figura 60 de color naranja y mencionada en la Tabla 56.

Tabla 55: Periodos de la estación Mayorarca

Periodo	Mayorarca	
1995-2002	media-1	57.13
	desv-1	62.67
2003-2014	media-2	41.17
	desv-2	45.54

Tabla 56: Datos de estación Mayorarca del periodo n1 (1995-2002) corregido

Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)
16/01/1995	99.51	16/09/1997	5.98	16/05/2000	16.22
16/02/1995	40.13	16/10/1997	16.08	16/06/2000	0
16/03/1995	91.44	16/11/1997	60.41	16/07/2000	0
16/04/1995	27.56	16/12/1997	128.21	16/08/2000	3
16/05/1995	11.65	16/01/1998	166.51	16/09/2000	10.19
16/06/1995	0	16/02/1998	142.24	16/10/2000	27.13
16/07/1995	0	16/03/1998	112.08	16/11/2000	20.37
16/08/1995	0	16/04/1998	50.67	16/12/2000	81.48
16/09/1995	0	16/05/1998	0	16/01/2001	135.63
16/10/1995	20.37	16/06/1998	0	16/02/2001	85.85
16/11/1995	36.36	16/07/1998	0	16/03/2001	147.83
16/12/1995	51.69	16/08/1998	0	16/04/2001	40.5
16/01/1996	107.5	16/09/1998	2.13	16/05/2001	3.8
16/02/1996	116.66	16/10/1998	47.91	16/06/2001	0
16/03/1996	104.52	16/11/1998	5.76	16/07/2001	0
16/04/1996	39.92	16/12/1998	27.78	16/08/2001	0
16/05/1996	15.43	16/01/1999	89.62	16/09/2001	21.24
16/06/1996	0	16/02/1999	184.53	16/10/2001	27.2
16/07/1996	0	16/03/1999	84.25	16/11/2001	68.48
16/08/1996	0	16/04/1999	37.88	16/12/2001	46.75
16/09/1996	6.41	16/05/1999	24.73	16/01/2002	27.42
16/10/1996	25.96	16/06/1999	10.99	16/02/2002	68.91
16/11/1996	21.6	16/07/1999	2.2	16/03/2002	114.48
16/12/1996	39.92	16/08/1999	0	16/04/2002	77.78
16/01/1997	46.24	16/09/1999	8.67	16/05/2002	0
16/02/1997	119.64	16/10/1999	29.96	16/06/2002	0
16/03/1997	28.65	16/11/1999	52.78	16/07/2002	0
16/04/1997	16.15	16/12/1999	58.37	16/08/2002	0
16/05/1997	7	16/01/2000	75.6	16/09/2002	5.61
16/06/1997	0	16/02/2000	117.6	16/10/2002	42.53
16/07/1997	0	16/03/2000	97.84	16/11/2002	64.48
16/08/1997	0	16/04/2000	50.82	16/12/2002	57.87

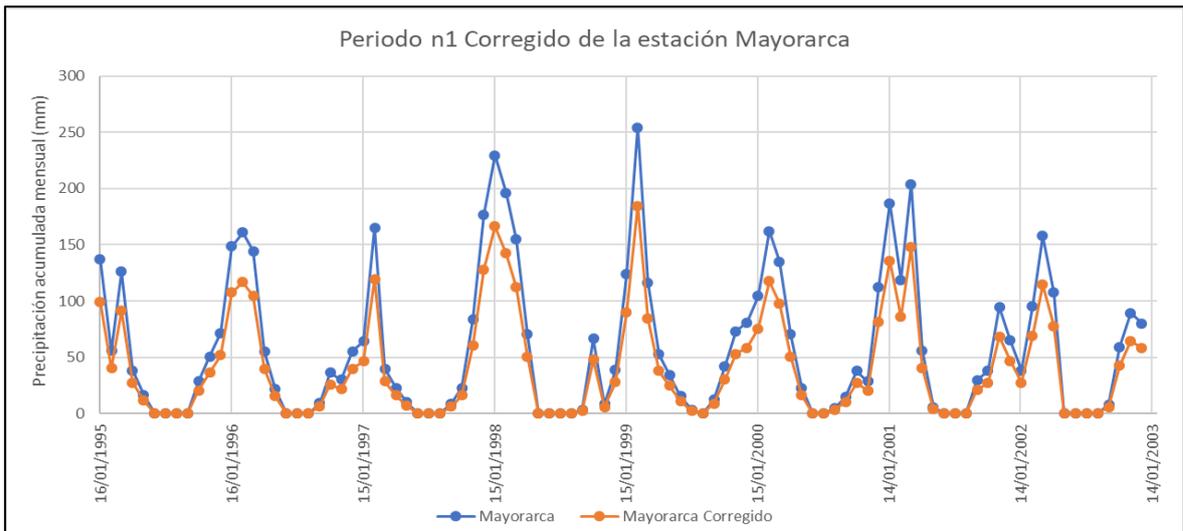


Figura 60: Histograma de estación Mayorarca del periodo n1 (1995-2002) corregido y sin corregir

– Corrección de estación Chiquián

Debido a que el periodo n1 (1995-2002) fue inconsistente se prosiguió a su corrección con el apoyo del periodo n2 (2003-2014). Se observa la serie corregida proyectada en la Figura 61 de color naranja y mencionada en la Tabla 58.

Tabla 57: Periodos de la estación Chiquián

Periodo	Chiquián	
1995-2002	media-1	66.46
	desv-1	70.37
2003-2014	media-2	53.05
	desv-2	57.36

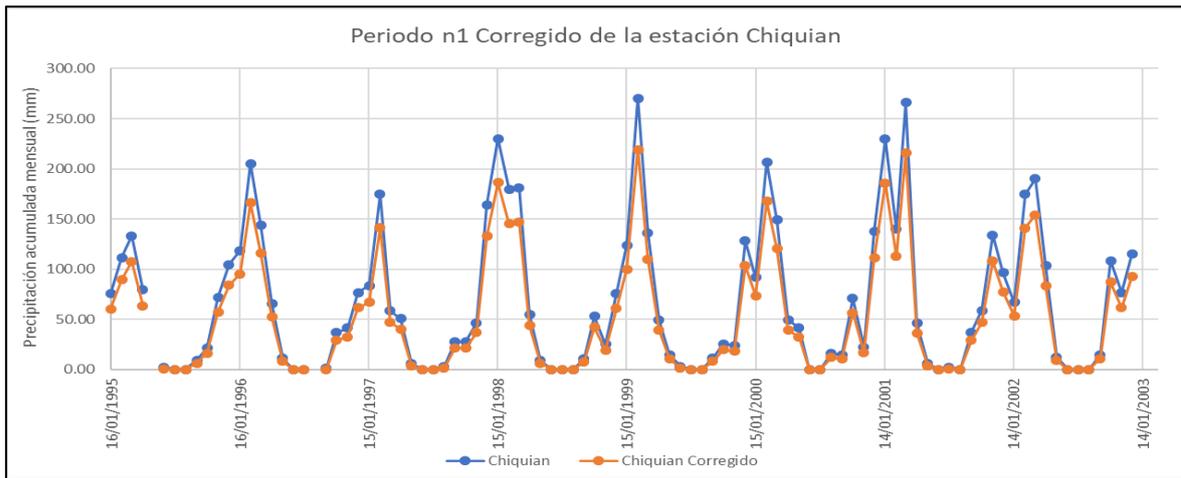


Figura 61: Histograma de la estación Chiquián del periodo n1 (1995-2002) corregido y sin corregir

Tabla 58: Datos de la estación Chiquián del periodo n1 (1995-2002) corregido

Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)
16/01/1995	60.66	16/09/1997	21.69	16/05/2000	32.7
16/02/1995	89.77	16/10/1997	21.53	16/06/2000	0
16/03/1995	107.7	16/11/1997	36.94	16/07/2000	0
16/04/1995	63.68	16/12/1997	132.81	16/08/2000	12.16
16/05/1995	*	16/01/1998	186.45	16/09/2000	10.69
16/06/1995	0.91	16/02/1998	145.36	16/10/2000	56.67
16/07/1995	0	16/03/1998	146.75	16/11/2000	17.21
16/08/1995	0	16/04/1998	43.79	16/12/2000	111.29
16/09/1995	6.45	16/05/1998	6.29	16/01/2001	186.13
16/10/1995	16.23	16/06/1998	0	16/02/2001	112.92
16/11/1995	57.56	16/07/1998	0	16/03/2001	215.8
16/12/1995	84.14	16/08/1998	0	16/04/2001	36.61
16/01/1996	95.55	16/09/1998	7.43	16/05/2001	3.76
16/02/1996	166.4	16/10/1998	42.24	16/06/2001	0
16/03/1996	116.26	16/11/1998	19.49	16/07/2001	0.91
16/04/1996	52.51	16/12/1998	60.83	16/08/2001	0
16/05/1996	8.24	16/01/1999	100.04	16/09/2001	29.19
16/06/1996	0	16/02/1999	219.14	16/10/2001	46.97
16/07/1996	0	16/03/1999	109.74	16/11/2001	108.19
16/08/1996	*	16/04/1999	39.22	16/12/2001	77.54
16/09/1996	0.09	16/05/1999	10.93	16/01/2002	53.65
16/10/1996	29.03	16/06/1999	1.48	16/02/2002	141.21
16/11/1996	32.7	16/07/1999	0	16/03/2002	154.09
16/12/1996	61.56	16/08/1999	0	16/04/2002	83.41
16/01/1997	67.1	16/09/1999	8.24	16/05/2002	9.06
16/02/1997	141.45	16/10/1999	19.82	16/06/2002	0

«continuación»

16/03/1997	46.8	16/11/1999	18.43	16/07/2002	0
16/04/1997	40.45	16/12/1999	103.54	16/08/2002	0
16/05/1997	3.76	16/01/2000	73.87	16/09/2002	11.1
16/06/1997	0	16/02/2000	167.62	16/10/2002	87.32
16/07/1997	0	16/03/2000	120.58	16/11/2002	61.56
16/08/1997	1.15	16/04/2000	39.39	16/12/2002	92.86

– Corrección de estación Ocros

Debido a que el periodo n1 (1995-2001) fue inconsistente se prosiguió a su corrección con el apoyo del periodo n2 (2002-2014). Se observa la serie corregida proyectada en la Figura 62 de color naranja y mencionada en la Tabla 60.

Tabla 59: Periodos de la estación Ocros

Periodo	Ocros	
1995-2001	media-1	29.99
	desv-1	47.68
2002-2014	media-2	23.68
	desv-2	36.45

Tabla 60: Datos de la estación Ocros del periodo n1 (1995-2001) corregido

Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)
16/01/1995	28.28	16/05/1997	8.63	16/09/1999	7.33
16/02/1995	28.28	16/06/1997	0.76	16/10/1999	15.13
16/03/1995	20.02	16/07/1997	0.76	16/11/1999	3.74
16/04/1995	7.26	16/08/1997	0.76	16/12/1999	17.5
16/05/1995	0.76	16/09/1997	10.47	16/01/2000	49.83
16/06/1995	0.76	16/10/1997	12.76	16/02/2000	68.87
16/07/1995	0.76	16/11/1997	31.72	16/03/2000	37.83
16/08/1995	0.76	16/12/1997	119.31	16/04/2000	23.54
16/09/1995	0.76	16/01/1998	132.23	16/05/2000	9.02
16/10/1995	0.76	16/02/1998	116.87	16/06/2000	0.76
16/11/1995	11.23	16/03/1998	150.5	16/07/2000	0.76
16/12/1995	16.51	16/04/1998	0.76	16/08/2000	0.76
16/01/1996	60.92	16/05/1998	0.76	16/09/2000	1.98
16/02/1996	63.36	16/06/1998	0.76	16/10/2000	14.21
16/03/1996	87.06	16/07/1998	0.76	16/11/2000	6.34
16/04/1996	22.55	16/08/1998	0.76	16/12/2000	38.98
16/05/1996	6.49	16/09/1998	7.72	16/01/2001	75.67
16/06/1996	0.76	16/10/1998	3.13	16/02/2001	101.66
16/07/1996	0.76	16/11/1998	3.97	16/03/2001	86.45

«continuación»

16/08/1996	0.76	16/12/1998	11.92	16/04/2001	27.13
16/09/1996	0.76	16/01/1999	29.58	16/05/2001	0.76
16/10/1996	4.28	16/02/1999	192.62	16/06/2001	0.76
16/11/1996	1.68	16/03/1999	50.6	16/07/2001	0.76
16/12/1996	6.65	16/04/1999	45.02	16/08/2001	0.76
16/01/1997	24.76	16/05/1999	16.43	16/09/2001	4.12
16/02/1997	68.25	16/06/1999	1.37	16/10/2001	5.81
16/03/1997	9.47	16/07/1999	0.76	16/11/2001	17.5
16/04/1997	11.69	16/08/1999	0.76	16/12/2001	7.11

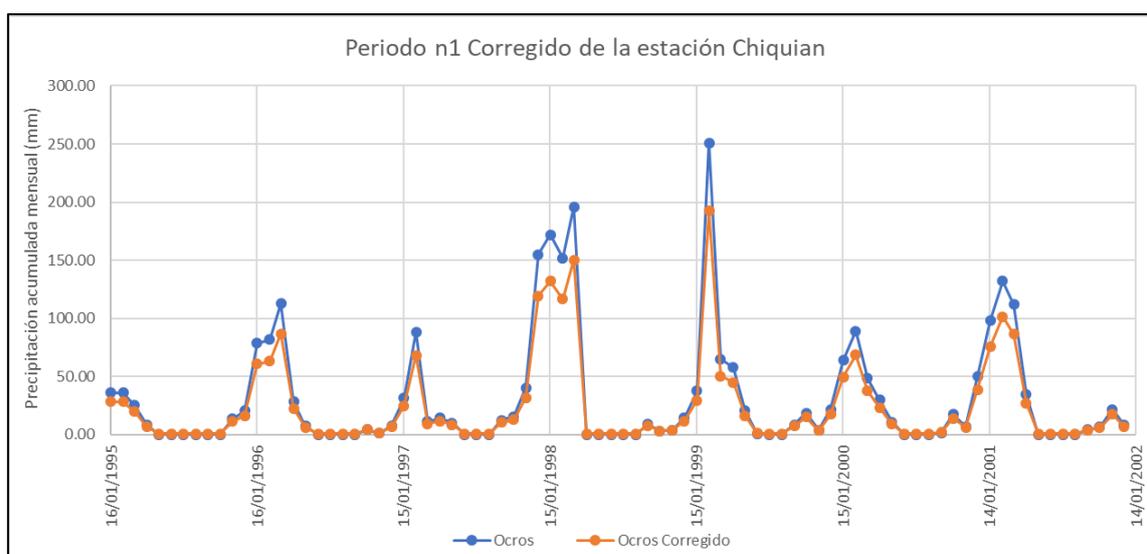


Figura 62: Histograma de la estación Ocros del periodo n1 (1995-2001) corregido y sin corregir

– Corrección de estación Gorgor

Debido a que el periodo n1 (1995-2002) fue inconsistente se prosiguió a su corrección con el apoyo del periodo n2 (2003-2014). Se observa la serie corregida proyectada en la Figura 63 de color naranja y mencionada en la Tabla 62.

Tabla 61: Periodos de la estación Gorgor

Periodo	Gorgor	
1995-2002	media-1	59.27
	desv-1	74.70
2003-2014	media-2	38.47
	desv-2	47.61

Tabla 62: Datos de la estación Gorgor del periodo n1 (1995-2002) corregido

Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)
16/01/1995	62.91	16/05/1998	0.70	16/09/2001	0.70
16/02/1995	85.28	16/06/1998	0.70	16/10/2001	24.73
16/03/1995	145.00	16/07/1998	0.70	16/11/2001	63.48
16/04/1995	14.21	16/08/1998	0.70	16/12/2001	24.60
16/05/1995	0.70	16/09/1998	0.70	16/01/2002	44.87
16/06/1995	0.70	16/10/1998	20.77	16/02/2002	117.21
16/07/1995	0.70	16/11/1998	12.43	16/03/2002	115.93
16/08/1995	0.70	16/12/1998	29.19	16/04/2002	62.20
16/09/1995	5.29	16/01/1999	102.87	16/05/2002	8.60
16/10/1995	9.75	16/02/1999	183.05	16/06/2002	0.70
16/11/1995	32.12	16/03/1999	129.89	16/07/2002	0.70
16/12/1995	59.46	16/04/1999	53.15	16/08/2002	0.70
16/01/1996	110.01	16/05/1999	13.32	16/09/2002	10.45
16/02/1996	110.84	16/06/1999	0.70	16/10/2002	42.00
16/03/1996	137.22	16/07/1999	0.70	16/11/2002	47.29
16/04/1996	56.66	16/08/1999	0.70	16/12/2002	38.88
16/05/1996	17.59	16/09/1999	0.70	16/01/2003	60.87
16/06/1996	0.70	16/10/1999	38.18	16/02/2003	44.61
16/07/1996	0.70	16/11/1999	34.41	16/03/2003	93.44
16/08/1996	0.70	16/12/1999	78.07	16/04/2003	25.30
16/09/1996	0.70	16/01/2000	79.35	16/05/2003	0.70
16/10/1996	10.39	16/02/2000	119.89	16/06/2003	0.70
16/11/1996	4.33	16/03/2000	55.00	16/07/2003	0.70
16/12/1996	48.37	16/04/2000	30.34	16/08/2003	0.70
16/01/1997	59.02	16/05/2000	13.83	16/09/2003	0.70
16/02/1997	69.60	16/06/2000	0.70	16/10/2003	19.37
16/03/1997	29.95	16/07/2000	0.70	16/11/2003	16.95
16/04/1997	21.67	16/08/2000	0.70	16/12/2003	93.75
16/05/1997	0.70	16/09/2000	0.70	16/01/2004	25.43
16/06/1997	0.70	16/10/2000	23.52	16/02/2004	55.00
16/07/1997	0.70	16/11/2000	26.57	16/03/2004	52.13
16/08/1997	0.70	16/12/2000	96.30	16/04/2004	27.72
16/09/1997	5.80	16/01/2001	111.92	16/05/2004	0.70
16/10/1997	7.71	16/02/2001	78.65	16/06/2004	0.70
16/11/1997	82.41	16/03/2001	186.36	16/07/2004	0.70
16/12/1997	116.44	16/04/2001	0.70	16/08/2004	0.70
16/01/1998	161.19	16/05/2001	12.74	16/09/2004	17.78
16/02/1998	196.75	16/06/2001	0.70	16/10/2004	11.47
16/03/1998	149.97	16/07/2001	0.70	16/11/2004	10.77
16/04/1998	41.11	16/08/2001	0.70	16/12/2004	51.81

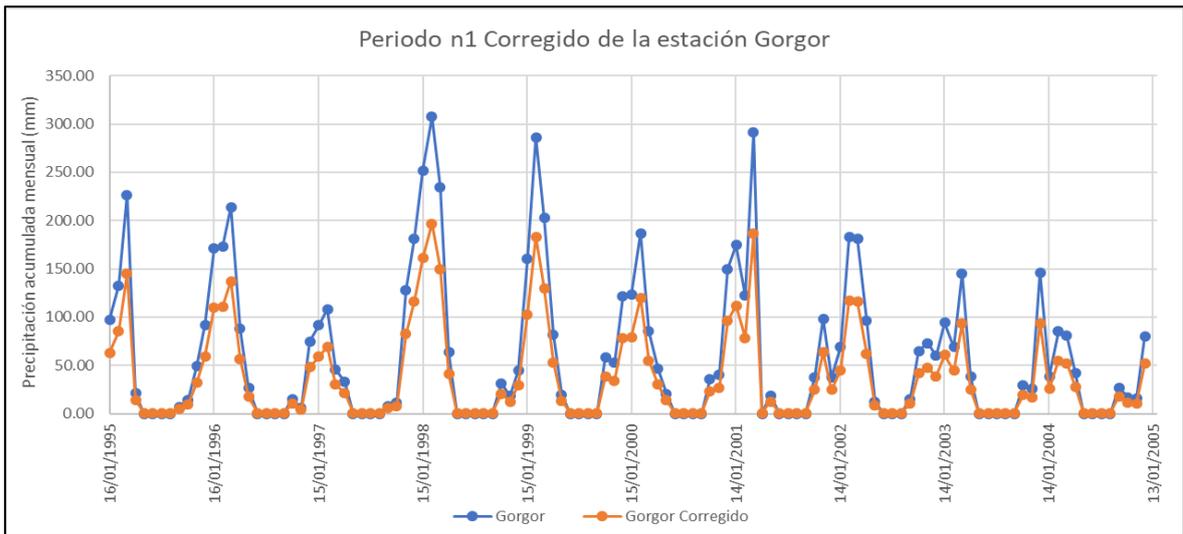


Figura 63: Histograma de la estación Gorgor del periodo n1 (1995-2002) corregido y sin corregir

– Corrección de estación Pampa Libre

Debido a que el periodo n1 (1995-1999) fue inconsistente se prosiguió a su corrección con el apoyo del periodo n2 (2000-2006). Se observa la serie corregida proyectada en la Figura 64 de color naranja y mencionada en la Tabla 64.

Tabla 63: Periodos de la estación Pampa Libre

Periodo	Pampa Libre	
1995-1999	media-1	12.43
	desv-1	21.29
2000-2006	media-2	9.40
	desv-2	13.48
2007-2015	media-3	7.51
	desv-3	12.76

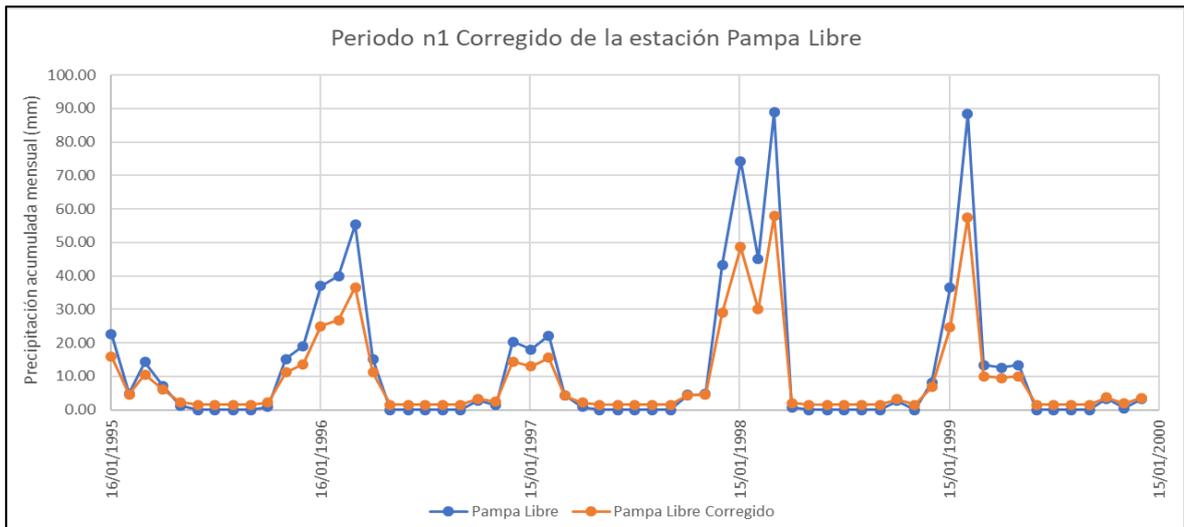


Figura 64: Histograma de la estación Pampa Libre del periodo n1 (1995-1999) corregido y sin corregir

Tabla 64: Datos de la estación Pampa Libre del periodo n1 (1995-1999) corregido

Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)
16/01/1995	15.91	16/09/1996	1.53	16/05/1998	1.53
16/02/1995	4.57	16/10/1996	3.31	16/06/1998	1.53
16/03/1995	10.53	16/11/1996	2.36	16/07/1998	1.53
16/04/1995	5.97	16/12/1996	14.39	16/08/1998	1.53
16/05/1995	2.29	16/01/1997	12.93	16/09/1998	1.53
16/06/1995	1.53	16/02/1997	15.59	16/10/1998	3.18
16/07/1995	1.53	16/03/1997	4.26	16/11/1998	1.53
16/08/1995	1.53	16/04/1997	2.10	16/12/1998	6.73
16/09/1995	1.53	16/05/1997	1.53	16/01/1999	24.65
16/10/1995	2.10	16/06/1997	1.53	16/02/1999	57.45
16/11/1995	11.16	16/07/1997	1.53	16/03/1999	9.96
16/12/1995	13.57	16/08/1997	1.53	16/04/1999	9.51
16/01/1996	24.96	16/09/1997	1.53	16/05/1999	10.02
16/02/1996	26.80	16/10/1997	4.38	16/06/1999	1.53
16/03/1996	36.55	16/11/1997	4.51	16/07/1999	1.53
16/04/1996	11.16	16/12/1997	28.95	16/08/1999	1.53
16/05/1996	1.53	16/01/1998	48.58	16/09/1999	1.53
16/06/1996	1.53	16/02/1998	30.03	16/10/1999	3.62
16/07/1996	1.53	16/03/1998	57.83	16/11/1999	1.85
16/08/1996	1.53	16/04/1998	1.98	16/12/1999	3.56

– Corrección de la estación Huánuco

Debido a que el periodo n1 (1995-2002) fue inconsistente se prosiguió a su corrección con el apoyo del periodo n2 (2003-2014). Se observa la serie corregida proyectada en la Figura 65 de color naranja y mencionada en la Tabla 66.

Tabla 65: Periodos de la estación Huánuco

Periodo	Huánuco	
1995-2002	media-1	32.01
	desv-1	28.82
2003-2014	media-2	39.56
	desv-2	35.02

Tabla 66: Datos de la estación Huánuco del periodo n1 (1995-2002) corregido

Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)
16/01/1995	*	16/01/1998	114.29	16/01/2001	*
16/02/1995	61.91	16/02/1998	77.22	16/02/2001	44.68
16/03/1995	61.79	16/03/1998	81.96	16/03/2001	104.20
16/04/1995	32.26	16/04/1998	4.44	16/04/2001	56.85
16/05/1995	5.04	16/05/1998	4.07	16/05/2001	13.38
16/06/1995	2.37	16/06/1998	3.22	16/06/2001	4.72
16/07/1995	2.13	16/07/1998	0.67	16/07/2001	10.95
16/08/1995	1.16	16/08/1998	4.07	16/08/2001	13.08
16/09/1995	9.44	16/09/1998	5.29	16/09/2001	9.66
16/10/1995	28.86	16/10/1998	36.27	16/10/2001	45.51
16/11/1995	59.97	16/11/1998	79.05	16/11/2001	89.01
16/12/1995	72.36	16/12/1998	41.98	16/12/2001	68.49
16/01/1996	72.97	16/01/1999	99.95	16/01/2002	36.52
16/02/1996	40.89	16/02/1999	108.21	16/02/2002	69.22
16/03/1996	51.34	16/03/1999	133.49	16/03/2002	101.65
16/04/1996	84.88	16/04/1999	27.77	16/04/2002	69.33
16/05/1996	28.62	16/05/1999	23.08	16/05/2002	22.82
16/06/1996	0.68	16/06/1999	19.02	16/06/2002	4.22
16/07/1996	0.79	16/07/1999	11.12	16/07/2002	16.24
16/08/1996	7.11	16/08/1999	1.41	16/08/2002	5.66
16/09/1996	3.46	16/09/1999	70.66	16/09/2002	10.90
16/10/1996	29.35	16/10/1999	25.99	16/10/2002	134.09
16/11/1996	70.91	16/11/1999	41.75	16/11/2002	50.30
16/12/1996	19.75	16/12/1999	71.39	16/12/2002	25.34
16/01/1997	67.02	16/01/2000	83.59	16/01/2003	55.01
16/02/1997	51.22	16/02/2000	109.56	16/02/2003	33.37
16/03/1997	32.87	16/03/2000	*	16/03/2003	86.34
16/04/1997	19.02	16/04/2000	37.52	16/04/2003	30.60

«continuación»

16/05/1997	12.33	16/05/2000	12.99	16/05/2003	18.06
16/06/1997	3.34	16/06/2000	20.12	16/06/2003	1.05
16/07/1997	0.67	16/07/2000	5.07	16/07/2003	0.80
16/08/1997	12.33	16/08/2000	21.46	16/08/2003	12.15
16/09/1997	9.90	16/09/2000	15.15	16/09/2003	15.99
16/10/1997	36.88	16/10/2000	12.23	16/10/2003	21.46
16/11/1997	51.10	16/11/2000	74.79	16/11/2003	94.61
16/12/1997	58.15	16/12/2000	94.53	16/12/2003	101.70

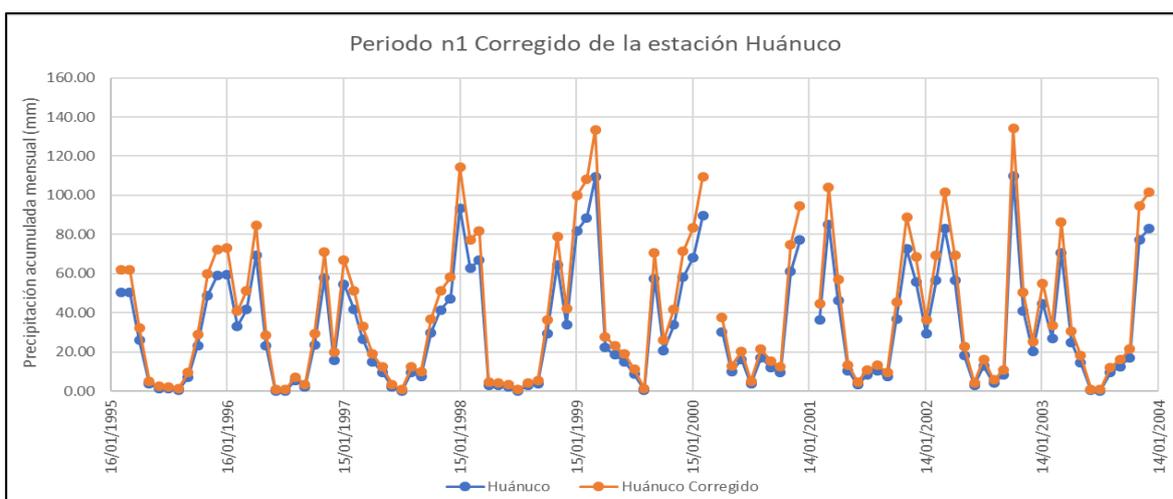


Figura 65: Histograma de la estación Huánuco del periodo n1 (1995-2002) corregido y sin corregir

– Corrección de estación Canchán

Debido a que el periodo n1 (1995-2002) fue inconsistente se prosiguió a su corrección con el apoyo del periodo n2 (2003-2014). Se observa la serie corregida proyectada en la Figura 66 de color naranja y mencionada en la Tabla 68.

Tabla 67: Periodos de la estación Canchán

Periodo	Canchán	
1995-2002	media-1	36.05
	desv-1	32.61
2003-2014	media-2	44.91
	desv-2	38.53

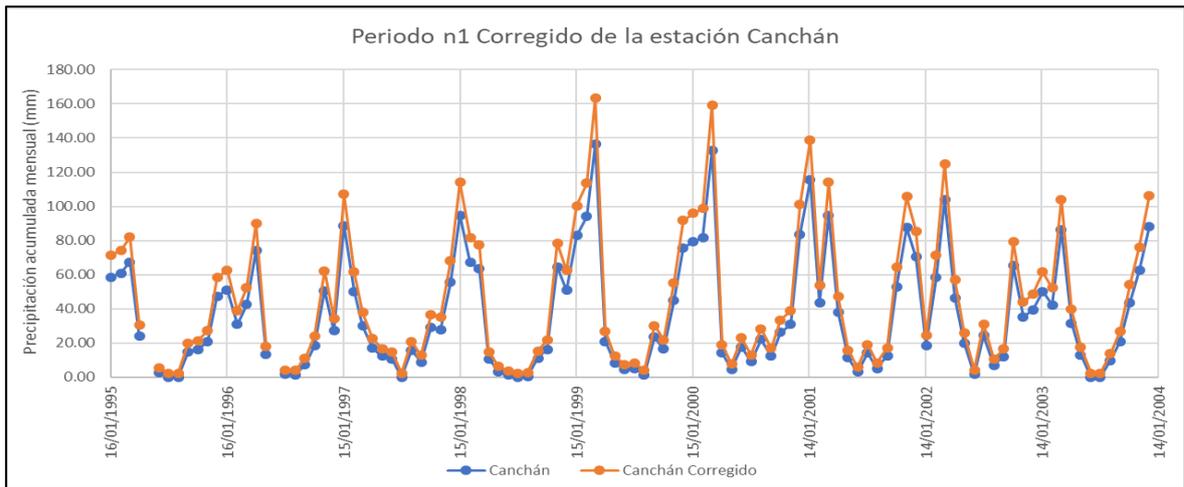


Figura 66: Histograma de la estación Canchán del periodo n1 (1995-2002) corregido y sin corregir

Tabla 68: Datos de la estación Canchán del periodo n1 (1995-2002) corregido

Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)	Fecha	pp-acum (mm)
16/01/1995	71.55	16/01/1998	114.20	16/01/2001	138.65
16/02/1995	74.15	16/02/1998	81.71	16/02/2001	53.71
16/03/1995	81.95	16/03/1998	77.46	16/03/2001	114.32
16/04/1995	30.67	16/04/1998	14.96	16/04/2001	47.45
16/05/1995	*	16/05/1998	6.22	16/05/2001	15.79
16/06/1995	5.63	16/06/1998	3.74	16/06/2001	5.86
16/07/1995	2.32	16/07/1998	2.32	16/07/2001	19.10
16/08/1995	2.32	16/08/1998	2.91	16/08/2001	8.34
16/09/1995	19.92	16/09/1998	15.43	16/09/2001	17.32
16/10/1995	21.34	16/10/1998	21.58	16/10/2001	64.70
16/11/1995	27.13	16/11/1998	78.52	16/11/2001	105.81
16/12/1995	58.32	16/12/1998	62.45	16/12/2001	85.49
16/01/1996	62.69	16/01/1999	100.38	16/01/2002	24.41
16/02/1996	38.94	16/02/1999	113.61	16/02/2002	71.31
16/03/1996	52.53	16/03/1999	163.34	16/03/2002	124.95
16/04/1996	89.86	16/04/1999	27.01	16/04/2002	57.25
16/05/1996	18.15	16/05/1999	12.36	16/05/2002	25.95
16/06/1996	*	16/06/1999	7.52	16/06/2002	4.33
16/07/1996	4.21	16/07/1999	8.46	16/07/2002	31.26
16/08/1996	4.09	16/08/1999	4.09	16/08/2002	10.71
16/09/1996	10.94	16/09/1999	30.20	16/09/2002	16.61
16/10/1996	24.06	16/10/1999	21.81	16/10/2002	79.46
16/11/1996	62.22	16/11/1999	55.36	16/11/2002	44.02
16/12/1996	34.45	16/12/1999	91.75	16/12/2002	48.63
16/01/1997	107.11	16/01/2000	96.00	16/01/2003	61.51
16/02/1997	61.51	16/02/2000	98.84	16/02/2003	52.41

«continuación»

16/03/1997	37.88	16/03/2000	159.33	16/03/2003	104.16
16/04/1997	22.52	16/04/2000	19.10	16/04/2003	39.77
16/05/1997	16.85	16/05/2000	7.75	16/05/2003	17.68
16/06/1997	14.72	16/06/2000	23.11	16/06/2003	2.32
16/07/1997	2.32	16/07/2000	12.95	16/07/2003	2.32
16/08/1997	20.99	16/08/2000	28.43	16/08/2003	13.78
16/09/1997	12.83	16/09/2000	16.97	16/09/2003	26.66
16/10/1997	36.82	16/10/2000	33.51	16/10/2003	54.06
16/11/1997	35.04	16/11/2000	38.94	16/11/2003	76.28
16/12/1997	68.01	16/12/2000	101.08	16/12/2003	106.52

g. Análisis estadísticos de estaciones corregidas

En este proceso se vuelve a analizar las estaciones bajo el método de prueba de T-Student y Fisher, con la finalidad de verificar la consistencia de las estaciones corregidas. Las estaciones que posterior a la corrección no presentaban consistencia fueron descartadas para la investigación.

A continuación, se detalla los procesos realizados.

– Milpo

Periodo n1: 1995 – 2001;

Periodo n2: 2002 – 2008;

Periodo n3: 2009 – 2014;

Tabla 69: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Milpo (periodo n1 y n2)

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	119.75	118.76	
desviación	111.78	112.89	
cantidad	84	84	
varianza	12494.21	12743.44	
Sp	112.33		CONSISTENTE
Sd	17.33		t-calc>t -tabla; 0.0569>1.9744
t-calc	0.0569		F-calc>F -tabla; 1.0199>1.4379
t-tabla	1.9744		
F-calc	1.0199		
F-tabla	1.4379		

Tabla 70: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Milpo (periodo n2 y n3)

	Parámetros		Resultado
	n2	n3	
promedio	118.76	118.76	
desviación	112.89	112.89	
cantidad	84	62	
varianza	12743.44	12743.44	
Sp	112.89		CONSISTENTE t-calc<t -tabla; 0.0000<1.9766
Sd	18.9		F-calc>F -tabla; 1.0000>1.4947
t-calc	0		
t-tabla	1.9766		
F-calc	1		
F-tabla	1.4947		

– Cotaparaco

Periodo n1: 1995 – 2000;

Periodo n2: 2001 – 2006;

Periodo n3: 2007 – 2014;

Tabla 71: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Cotaparaco (periodo n1 y n2)

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	30.81	31.2	
desviación	40.35	40.49	
cantidad	72	69	
varianza	1627.87	1639.58	
Sp	40.42		CONSISTENTE t-calc<t -tabla; 0.0584<1.9772
Sd	6.81		F-calc<F -tabla; 1.0072<1.4865
t-calc	0.0584		
t-tabla	1.9772		
F-calc	1.0072		
F-tabla	1.4865		

Tabla 72: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Cotaparaco (periodo n2 y n3)

	Parámetros		Resultado
	n2	n3	
promedio	31.2	32.01	
desviación	40.49	44.64	
cantidad	69	47	
varianza	1639.58	1993.03	
Sp	42.22		CONSISTENTE t-calc<t -tabla; 0.1014<1.9810
Sd	7.98		F-calc<F -tabla; 1.2156<1.5478
t-calc	0.1014		
t-tabla	1.981		
F-calc	1.2156		
F-tabla	1.5478		

– Mayorarca

Periodo n1: 1995 - 2002

Periodo n2: 2003 – 2014

Tabla 73: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Mayorarca

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	41.26	41.17	
desviación	45.46	45.54	
cantidad	96	132	
varianza	2066.91	2074.11	
Sp	45.51		CONSISTENTE t-calc<t -tabla; 0.0141<1.9705
Sd	6.1		F-calc<F -tabla; 1.0035<1.3763
t-calc	0.0141		
t-tabla	1.9705		
F-calc	1.0035		
F-tabla	1.3763		

– Chiquián

Periodo n1: 1995 - 2002

Periodo n2: 2003 – 2014

Tabla 74: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Chiquián

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	53.26	53.05	
desviación	57.16	57.36	
cantidad	94	144	
varianza	3267.21	3290.74	
Sp	57.28		CONSISTENTE
Sd	7.6		t-calc<t -tabla; 0.0285<1.9701
t-calc	0.0285		F-calc<F -tabla; 1.0072<1.3732
t-tabla	1.9701		
F-calc	1.0072		
F-tabla	1.3732		

– Ocros

Periodo n1: 1995 - 2001

Periodo n2: 2002 – 2014

Tabla 75: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Ocros

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	24.57	23.54	
desviación	38.33	35.59	
cantidad	84	156	
varianza	1469.39	1266.94	
Sp	36.57		CONSISTENTE
Sd	4.95		t-calc<t -tabla; 0.2071<1.9700
t-calc	0.2071		F-calc<F -tabla; 1.1598<1.3621
t-tabla	1.97		
F-calc	1.1598		
F-tabla	1.3621		

– Gorgor

Periodo n1: 1995 - 2004

Periodo n2: 2005 – 2014

Tabla 76: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Gorgor

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	38.47	38.47	
desviación	47.61	47.61	
cantidad	120	119	
varianza	2266.97	2266.97	
Sp	47.61		INCONSISTENTE t-calc<t -tabla; 0.0000<1.9700
Sd	6.16		F-cal>F -tabla; 1.0000>0.7382
t-calc	0		
t-tabla	1.97		
F-calc	1		
F-tabla	0.7384		

– Pampa Libe

Periodo n1: 1995 - 1999

Periodo n2: 2000 – 2014

Tabla 77: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Pampa Libre

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	9.4	9.4	
desviación	13.48	13.48	
cantidad	60	79	
varianza	181.71	181.71	
Sp	13.48		INCONSISTENTE t-calc<t -tabla; 0.0000<1.9774
Sd	2.31		F-cal>F -tabla; 1.0000>0.6719
t-calc	0		
t-tabla	1.9774		
F-calc	1		
F-tabla	0.6719		

– Huánuco

Periodo n1: 1995 - 2003

Periodo n2: 2004 – 2014

Tabla 78: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Huánuco

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	39.56	39.56	
desviación	35.02	35.02	
cantidad	105	132	
varianza	1226.32	1226.32	
Sp	35.02		CONSISTENTE t-calc<t -tabla; 0.0000<1.9701
Sd	4.58		F-calc<F -tabla; 1.0000<1.3548
t-calc	0		
t-tabla	1.9701		
F-calc	1		
F-tabla	1.3548		

– Cachan

Periodo n1: 1995 - 2003

Periodo n2: 2004 – 2014

Tabla 79: Resultados del análisis estadístico de la estación corregida: Canchán

	Parámetros		Resultado
	n1	n2	
promedio	44.91	44.91	
desviación	38.53	38.53	
cantidad	106	124	
varianza	1484.67	1484.67	
Sp	38.53		CONSISTENTE t-calc<t -tabla; 0.0000<1.9704
Sd	5.1		F-calc<F -tabla; 1.0000<1.3609
t-calc	0		
t-tabla	1.9704		
F-calc	1		
F-tabla	1.3609		

Tabla 80: Resumen de análisis de consistencia de las estaciones corregidas

Grupo	Estación	Periodos evaluados	Calidad
G1	Milpo	n1-n2	Consistente
		n2-n3	Consistente
	Cotaparaco	n1-n2	Consistente
		n2-n3	Consistente
G2	Mayorarca	n1-n2	Consistente
	Chiquián	n1-n2	Consistente
	Ocos	n1-n2	Consistente
G3	Gorgor	n1-n2	Inconsistente
	Pampa Libe	n1-n2	Inconsistente
G4	Huánuco	n1-n2	Consistente
	Canchan	n1-n2	Consistente

h. Completado de datos

Para el proceso de Completado de datos se consideró los análisis de estadístico de vector regional para realizar el descarte de estaciones que no mantenían relación con las otras estaciones ($\text{correl/vector} < 0.75$), presentaban desvíos muy altos ($\text{DED} > 0.25$) y son inconsistentes.

Posteriormente las estaciones que no fueron descartadas prosiguieron al completado de datos por distintos métodos; los cuales fueron comparados con respecto a la data original de precipitación para ver cual mantenía menor error.

A continuación, se define los métodos de completado de datos:

- Completado de datos por el método de vector regional (VR)

Desarrolladores de HYDRACCESS (201X), indican que cuando el Vector Regional mantiene los datos de buena calidad ($\text{Correl/vector} > 0.75$ y $\text{DED} < 0.25$) pueden ser utilizados, si se desea, para reconstituir datos faltantes por medio método de VR. Una opción del módulo HYDRACCESS permite agregar a los datos reconstituidos una diferencia aleatoria tomada al azar en una ley de Gauss, para evitar disminuir la variancia de las series reconstituidas.

- Método de regresión lineal (RL)

Lavado y Luna (2015), indica que “este método es uno de los más utilizados; se recomienda para la estimación de datos mensuales y anuales. Se requiere establecer una regresión y

correlación lineal con la estación patrón consistente, mediante una ecuación lineal de dos variables”:

$$y=a+bx \quad (1)$$

Donde; “y” es la precipitación estimada, “x” es la precipitación de la estación patrón; y, “a” y “b” son las constantes de la regresión lineal.

Pizarro et al. (2009) citado por Lavado y Luna (2015), indica que a través del coeficiente de correlación (R) se determina la mejor estación vecina más cercana como patrón. En términos hidrológicos, se considera aceptable un valor de $-0.8 \leq R \leq 0.8$.

– Método por razones de distancias (RD)

Lavado y Luna (2015), indica que para este método “se utiliza para la estimación de datos menores de un año, en zonas planas; las estaciones deben tener una disposición espacial lineal como se muestra en la siguiente figura”.

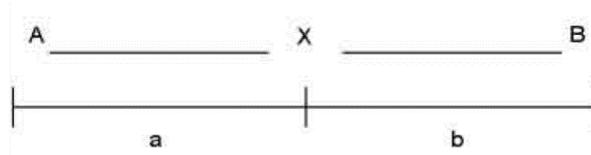


Figura 67: Método de razón de distancia

Donde A y B esté completa su información y la estación X está incompleta, en este caso se aplica la ecuación:

$$PX = PA + aX \frac{(PB - PA)}{(a + b)}$$

Donde; “PX”, “PA”, “PB” es la precipitación de las estaciones “X”, “A”, “B”, y, “a” y “b” es la distancia con relación a “X”.

– Método por promedios vecinales (PV)

Lavado y Luna (2015), indica que para este método “Se utiliza para la completación de datos menores de un año, en zonas planas no montañosas. Se debe considerar la distribución

espacial en donde la estación con carencia de datos queda ubicada al centro de tres estaciones con estadística completa”.

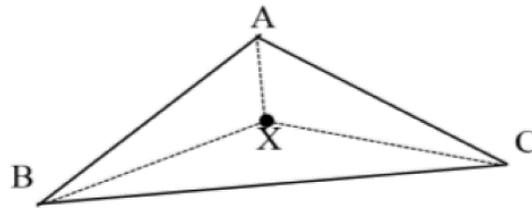


Figura 68: Método de promedios vecinales

En este caso se aplica la ecuación

$$PX = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{n}$$

Donde; P_i es la precipitación de las estaciones A, B, C, y n es el número de estaciones.

- Método por razones promedio (RP)

Pizarro et al. (2009) citado por Lavado y Luna (2015), indica que este método “es complementario al método anterior para zonas montañosas, donde las precipitaciones de A, B y C diferirán generalmente en más de un 10%, entonces es necesario aplicar la ecuación”:

$$PX = \frac{\overline{PX}}{N} X \left[\frac{PA}{\overline{PA}} + \frac{PB}{\overline{PB}} + \dots + \frac{PN}{\overline{PN}} \right] \overline{PA}$$

Donde; “ \overline{PA} ”, “ \overline{PB} ”, “ \overline{PN} ” y “ \overline{PX} ” son el promedio de las precipitaciones anuales registradas en un período común para las “N” estaciones y “ PA ”, “ PB ”, ..., “ PN ” es la precipitación en las “N” estaciones durante el período que falta en “X”.

- Método por correlación con estaciones vecinas (EV)

Se utilizan las precipitaciones estimadas a partir de correlaciones entre la estación con datos faltantes y cada una de las estaciones vecinas, a los que se asocian los coeficientes de correlación respectivos (UNESCO-ROSTLAC, 1982 citado por Lavado y Luna, 2015). El coeficiente de correlación no debe superar la barrera del valor $\pm 0,8$ (CAZALAC, 2005 citado por Lavado y Luna, 2015). Su expresión matemática es la siguiente:

$$PX = \frac{PXA * rXA + PXB * rXB + \dots + PXN * rXN}{rXA + rXB + \dots + rXN}$$

Donde; PX es el valor estimado de precipitación, PXi son los valores estimados de precipitación en X, a partir de las regresiones con cada una de las “i” estaciones y rXi son los coeficientes de correlación entre los registros de la estación X y cada una de las i estaciones.

- Método por regresiones múltiples (RM)

Lavado y Luna (2015) indica que es una extensión del método de regresión simple y su forma de estimar la precipitación se basa en la expresión matemática

$$Y=a+bX_1+cX_2+\dots+nX$$

Donde;

“y” es la precipitación estimada,

“xi” es la precipitación de la estación completas, y

“a, b, c y n” son las constantes de la regresión.

i. Métodos para determinar la medida de error

A continuación, se define los métodos para determinar la medida de error del completado de datos por los métodos antes mencionados:

Felicísimo (1994) citado por Cerna (2012) indica que en una estadística lineal (no circular) el método para determinar el error es a través de la determinación del error medio, la desviación estándar y el error cuadrático medio. Los cuáles serán optados para la selección de método más adecuado para el completado de datos temporales y a su vez con la determinación del coeficiente de correlación.

Se define como error en un año “i”, al valor $e_i = pp_i - pp_r$, donde “ pp_i ” es la precipitación simulada asignada al año en la estación y “ pp_r ” la precipitación real tomada en las estaciones meteorológicas y corregidas.

- Error medio (EM), es la media aritmética de los errores individuales

$$EM = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n e_i$$

donde, n es el número de años en la serie temporal (número de años que se comparan). Como los errores positivos y negativos pueden llegar a anularse entre sí, el error medio es útil sólo

para comprobar que el error en la serie temporal es aleatorio (lo que se cumple si $EM = 0$) (Cerna, 2012).

- Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (e_i - EM)^2}$$

- Error cuadrático medio

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n e_i^2}$$

es una expresión equivalente a la desviación típica en ausencia de sesgo (si $EM = 0$).

- Correlación de Correlación (Ramón, sf.)

El Coeficiente de Correlación es un valor cuantitativo de la relación entre dos o más variables y varía desde -1.00 hasta 1.00. La correlación de proporcionalidad directa o positiva se establece con los valores +1.00 y de proporcionalidad inversa o negativa, con -1.00. No existe relación entre las variables cuando el coeficiente es de 0.00.

$$r = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2} * \sqrt{N \sum Y^2 - (\sum Y)^2}}$$

Siendo “X” valores de la variable 1, “Y” valores de la variable 2 y “r” el coeficiente de corrección entre la variable 1 y 2.

A continuación, se muestra los procesos realizados para el completado de datos;

Se realizó el descarte de estaciones que no mantenían relación con las otras estaciones (correl/vector <0.75) y presentaban desvíos muy altos (DED>0.25). Por lo tanto, se descartó el uso de las estaciones Ocos (del grupo G2) y Pampa Libre (del grupo G3). De las demás estaciones se prosiguió con el completado de datos por los distintos métodos y se aceptó la metodología que presentaba una mayor relación con la serie original.

- En las estaciones de G1

Tabla 81: Datos de precipitación de las estaciones G1, consistentes e incompletos (periodo 1995-2014)

Fecha	Recuay	Milpo	Cotaparaco
16/04/1995	128.90	54.60	27.00
16/04/1996	62.10	119.20	33.70
16/04/1997	49.90	45.60	12.50
16/04/1998	138.40	129.00	46.10
16/04/1999	104.30	82.20	40.80
16/04/2000	90.60	43.70	49.90
16/04/2001	48.20	28.10	40.60
16/04/2002	58.80	87.90	84.60
16/04/2003	66.20	160.30	35.80
16/04/2004	84.60	114.10	33.40
16/04/2005	69.90	96.00	20.40
16/04/2006	141.60	220.20	62.80
16/04/2007	173.30	291.90	51.40
16/04/2008	72.00	99.30	36.10
16/04/2009	121.20	233.40	55.90
16/04/2010	85.40	19.20	19.30
16/04/2011	125.40	95.70	F
16/04/2012	162.40	433.10	F
16/04/2013	74.00	256.50	F
16/04/2014	99.90	F	F

– Estación Cotaparaco

Para la estación Cotaparaco se destaca el método de Regresión Lineal para el completar sus datos faltantes.

Tabla 82: Evaluación de métodos de completados de datos en la estación Cotaparaco

	<i>RL</i>	<i>RD</i>	<i>RP</i>	<i>EV</i>	<i>RM</i>
EM	0.00	61.92	-13.55	65.19	-22.83
Desv. Est.	15.67	44.71	16.83	50.95	15.98
RMSE	15.67	76.37	21.61	82.74	27.87
COEF. CORREL.	0.44	0.42	0.42	0.43	0.44

Tabla 83: Datos simulados de la estación Cotaparaco por los diferentes métodos

Fecha	Cotaparaco	RL	RD	RP	EV	RM
16/04/1995	27.00	34.59	96.04	25.17	84.23	10.40
16/04/1996	33.70	41.17	87.35	23.16	96.43	17.89
16/04/1997	12.50	33.67	48.00	12.65	47.31	7.58
16/04/1998	46.10	42.16	134.24	35.39	132.75	20.76
16/04/1999	40.80	37.40	94.53	24.88	91.01	13.68
16/04/2000	49.90	33.48	69.86	18.32	62.40	8.14
16/04/2001	40.60	31.89	39.31	10.33	36.12	5.16
16/04/2002	84.60	37.98	71.67	18.97	76.30	13.54
16/04/2003	35.80	45.35	107.82	28.64	122.78	23.59
16/04/2004	33.40	40.65	97.65	25.82	102.34	17.65
16/04/2005	20.40	38.80	81.44	21.54	85.59	14.88
16/04/2006	62.80	51.45	176.36	46.68	188.86	33.29
16/04/2007	51.40	58.75	225.75	59.80	244.61	43.73
16/04/2008	36.10	39.14	84.07	22.23	88.41	15.37
16/04/2009	55.90	52.79	170.82	45.30	188.66	34.69
16/04/2010	19.30	30.99	56.12	14.66	45.60	4.69
16/04/2011	F	38.77	112.26	29.55	107.54	15.95
16/04/2012	F	73.12	282.12	74.99	325.15	62.81
16/04/2013	F	55.14	154.71	41.20	183.73	36.90
16/04/2014	F	43.39				

*F: Dato faltante

– Estación Milpo

Para la estación Milpo se destaca el método de Regresión Lineal para el completar sus datos faltantes.

Tabla 84: Evaluación de métodos de completados de datos en la estación Milpo

	RL	RD	RP	EV	RM
EM	0.00	-54.34	-58.42	-52.05	-97.89
Desv. Est.	81.24	73.91	86.57	71.56	94.84
RMSE	81.24	91.74	104.44	88.48	136.30
COEF. CORREL.	0.62	0.83	0.71	0.84	0.66

Tabla 85: Datos simulados de la estación Milpo por los diferentes métodos

Fecha	Milpo	RL	RD	RP	EV	RM
16/04/1995	54.60	190.62	85.57	77.68	88.16	48.48
16/04/1996	119.20	76.43	50.02	56.78	50.75	26.19
16/04/1997	45.60	55.57	34.00	31.99	34.95	19.06
16/04/1998	129.00	206.86	99.15	99.41	101.50	54.39
16/04/1999	82.20	148.57	77.30	80.58	78.91	41.82
16/04/2000	43.70	125.15	73.29	83.52	74.33	38.31
16/04/2001	28.10	52.66	44.97	57.58	45.16	22.31
16/04/2002	87.90	70.79	69.77	103.04	69.11	32.01
16/04/2003	160.30	83.44	53.27	60.41	54.05	27.90
16/04/2004	114.10	114.89	62.83	65.65	64.13	33.97
16/04/2005	96.00	89.76	48.85	47.51	50.11	27.09
16/04/2006	220.20	212.33	108.09	116.33	110.10	57.78
16/04/2007	291.90	266.52	121.47	118.56	124.56	67.23
16/04/2008	99.30	93.35	56.74	63.05	57.65	29.96
16/04/2009	233.40	177.46	93.43	101.58	95.09	49.75
16/04/2010	19.20	116.26	57.29	52.79	58.97	32.32
16/04/2011	95.70	184.64	119.81	78.64	118.26	45.75
16/04/2012	433.10	247.89	213.31	136.19	227.47	65.01
16/04/2013	256.5	96.77	108.32	68.63	117.87	30.76
16/04/2014	F	141.05				

*F: Datos faltantes

- En las estaciones de G2.v2

Tabla 86: Datos de precipitación de las estaciones G2.v2, consistentes e incompletos (periodo 1995-2014)

Fecha	Mayorarca	Chiquián	Cajatambo
16/04/1995	27.60	63.70	56.60
16/04/1996	39.90	52.50	39.20
16/04/1997	16.20	40.40	25.70
16/04/1998	50.70	43.80	46.90
16/04/1999	37.90	39.20	55.50
16/04/2000	50.80	39.40	64.70
16/04/2001	40.50	36.60	40.60
16/04/2002	77.80	83.40	95.80
16/04/2003	45.20	69.00	39.30
16/04/2004	43.10	36.70	45.00
16/04/2005	15.00	50.50	17.00
16/04/2006	65.70	99.00	118.40
16/04/2007	72.20	119.20	88.50
16/04/2008	21.80	71.00	51.60
16/04/2009	57.40	105.80	80.80

«continuación»

16/04/2010	40.80	47.20	36.50
16/04/2011	51.10	97.50	102.00
16/04/2012	81.00	105.20	112.20
16/04/2013	20.70	27.50	31.90
16/04/2014	F	7.00	59.00

*F: Datos faltantes

– Estación Mayorarca

Tabla 87: Evaluación de métodos de completados de datos en la estación Mayorarca

	<i>RL</i>	<i>RD</i>	<i>RP</i>	<i>EV</i>	<i>RM</i>	<i>VR</i>
EM	0.00	18.41	-15.01	17.30	25.98	-1.18
Desv. Est.	10.53	17.69	11.64	16.35	19.08	9.49
RMSE	10.53	25.53	18.99	23.81	32.23	9.57
COEF. CORREL.	0.84	0.76	0.81	0.81	0.82	0.88

Tabla 88: Datos simulados de la estación Mayorarca por los diferentes métodos

Fecha	Mayorarca	RL	RD	RP	EV	RM	VR
16/04/1995	27.60	42.92	61.70	28.85	59.81	67.96	40.20
16/04/1996	39.90	33.39	48.75	21.93	45.22	51.03	39.92
16/04/1997	16.20	25.99	36.25	15.77	32.35	36.36	16.15
16/04/1998	50.70	37.61	44.67	21.82	45.50	52.40	31.20
16/04/1999	37.90	42.32	43.80	22.89	48.13	56.22	37.88
16/04/2000	50.80	47.36	46.53	25.22	53.25	62.61	50.82
16/04/2001	40.50	34.15	37.73	18.58	38.79	44.86	21.50
16/04/2002	77.80	64.40	86.90	43.16	90.19	103.64	70.60
16/04/2003	45.20	33.44	60.63	25.79	52.74	58.50	45.20
16/04/2004	43.10	36.56	39.04	19.70	41.25	47.91	27.10
16/04/2005	15.00	21.22	41.05	15.95	32.16	34.94	15.00
16/04/2006	65.70	76.78	104.47	52.40	109.62	126.10	65.70
16/04/2007	72.20	60.40	110.54	49.66	102.39	114.70	72.20
16/04/2008	21.80	40.18	65.53	29.30	60.38	67.82	44.50
16/04/2009	57.40	56.18	98.75	44.64	92.11	103.41	57.40
16/04/2010	40.80	31.91	44.18	20.03	41.34	46.80	40.80
16/04/2011	51.10	67.79	98.77	47.98	99.96	114.20	55.10
16/04/2012	81.00	73.38	107.17	52.30	109.03	124.64	81.00
16/04/2013	20.70	29.39	28.74	14.31	29.91	34.82	20.70
16/04/2014	F	44.24	21.66	16.28	35.48	44.18	27.20

F: dato faltante

- En las estaciones de G3.v2

Tabla 89: Datos de precipitación de las estaciones G3.v2, consistentes e incompletos (periodo 1995-2014)

Fecha	Oyón	Andájes
16/04/1995	59.40	39.30
16/04/1996	58.20	30.60
16/04/1997	26.80	F
16/04/1998	20.90	12.60
16/04/1999	52.60	31.10
16/04/2000	63.40	53.20
16/04/2001	33.90	36.00
16/04/2002	45.50	64.90
16/04/2003	37.00	40.90
16/04/2004	F	27.70
16/04/2005	9.50	2.40
16/04/2006	F	94.80
16/04/2007	55.20	73.80
16/04/2008	49.90	35.20
16/04/2009	78.10	71.50
16/04/2010	29.90	37.50
16/04/2011	63.40	48.60
16/04/2012	113.90	85.00
16/04/2013	22.10	12.50
16/04/2014	29.00	36.60

F: dato faltante

– Estación Oyón

Tabla 90: Evaluación de métodos de completados de datos en la estación Oyón

	<i>RL</i>	<i>RP</i>	<i>EV</i>
EM	1.30	-23.71	-6.12
Desv. Est.	13.85	15.59	13.82
RMSE	13.91	28.37	15.12
COEF. CORREL.	0.82	0.81	0.82

Tabla 91: Datos simulados de la estación Oyón por los diferentes métodos

Fecha	Oyón	RL	RP	EV
16/04/1995	59.40	46.95	42.76	39.30
16/04/1996	58.20	39.67	16.65	30.60
16/04/1997	26.80	37.44	13.40	26.80
16/04/1998	20.90	24.61	6.86	12.60
16/04/1999	52.60	40.09	16.92	31.10
16/04/2000	63.40	58.58	28.95	53.20
16/04/2001	33.90	44.19	19.59	36.00
16/04/2002	45.50	68.37	35.31	64.90
16/04/2003	37.00	48.29	22.25	40.90
16/04/2004	F	37.24	15.07	27.70
16/04/2005	9.50	16.07	1.31	2.40
16/04/2006	F	93.39	51.58	94.80
16/04/2007	55.20	75.82	40.15	73.80
16/04/2008	49.90	43.52	19.15	35.20
16/04/2009	78.10	73.89	38.90	71.50
16/04/2010	29.90	45.44	20.40	37.50
16/04/2011	63.40	54.73	26.44	48.60
16/04/2012	113.90	85.19	46.25	85.00
16/04/2013	22.10	24.52	6.80	12.50
16/04/2014	29.00	44.69	19.91	36.60

F: dato faltante

– Estación Andájes

Tabla 92: Evaluación de métodos de completados de datos en la estación Andájes

	RL	RP	EV
EM	-0.01	-1.16	5.80
Desv. Est.	13.11	17.41	15.02
RMSE	13.11	17.10	14.72
COEF. CORREL.	0.85	0.73	0.85

Tabla 93: Datos simulados de la estación Andájes por los diferentes métodos

Fecha	Andájes	RL	RP	EV
16/04/1995	39.30	50.23	54.59	59.40
16/04/1996	30.60	49.41	53.48	58.20
16/04/1997	F	27.94	24.63	26.80
16/04/1998	12.60	23.91	19.21	20.90
16/04/1999	31.10	45.58	48.34	52.60
16/04/2000	53.20	52.96	58.26	63.40
16/04/2001	36.00	32.79	31.15	33.90
16/04/2002	64.90	40.73	41.81	45.50
16/04/2003	40.90	34.91	34.00	37.00

«continuación»

16/04/2004	27.70	35.08	13.85	27.70
16/04/2005	2.40	16.11	4.37	9.50
16/04/2006	94.80	73.47	47.40	94.80
16/04/2007	73.80	47.36	50.73	55.20
16/04/2008	35.20	43.73	45.86	49.90
16/04/2009	71.50	63.01	71.77	78.10
16/04/2010	37.50	30.06	27.48	29.90
16/04/2011	48.60	52.96	58.26	63.40
16/04/2012	85.00	87.49	104.67	113.90
16/04/2013	12.50	24.73	20.31	22.10
16/04/2014	36.60	29.44	26.65	29.00

F: dato faltante

- En las estaciones de G4

Tabla 94: Datos de precipitación de las estaciones G4, consistentes e incompletos (periodo 1995-2014)

Fecha	San rafael	Huánuco	Canchán
16/04/1995	51.51	32.26	30.67
16/04/1996	82.20	84.88	89.86
16/04/1997	36.60	19.02	22.52
16/04/1998	29.50	4.44	14.96
16/04/1999	42.80	27.77	27.01
16/04/2000	47.50	37.52	19.10
16/04/2001	72.10	56.85	47.45
16/04/2002	38.60	69.33	57.25
16/04/2003	101.40	30.60	39.77
16/04/2004	53.50	31.25	18.20
16/04/2005	F	12.21	14.10
16/04/2006	54.20	38.61	33.80
16/04/2007	47.40	35.83	22.60
16/04/2008	35.40	36.31	48.20
16/04/2009	44.00	57.20	71.00
16/04/2010	78.32	19.00	29.90
16/04/2011	53.44	43.92	31.40
16/04/2012	111.60	75.92	58.90
16/04/2013	71.41	33.60	49.60
16/04/2014	44.51	43.11	42.70

*F: dato faltante

Tabla 95: Datos simulados de la estación San Rafael por los diferentes métodos

Fecha	San Rafael	RL	RD	RP	EV	RM	VR
16/04/1995	51.51	53.73	31.51	31.05	31.48	9.35	51.51
16/04/1996	82.20	77.78	87.23	86.28	87.33	25.26	131.30
16/04/1997	36.60	47.67	20.67	20.52	20.74	6.69	36.60
16/04/1998	29.50	41.01	9.41	9.64	9.61	4.05	29.50
16/04/1999	42.80	51.67	27.41	27.03	27.40	8.26	42.80
16/04/2000	47.50	56.13	28.82	27.82	28.47	7.44	47.50
16/04/2001	72.10	64.97	52.41	51.41	52.23	14.60	72.10
16/04/2002	38.60	70.67	63.63	62.39	63.39	17.53	64.10
16/04/2003	101.40	52.97	34.93	34.79	35.11	11.04	77.20
16/04/2004	53.50	53.27	25.09	24.32	24.84	6.77	53.50
16/04/2005	F	44.56	13.10	13.00	13.14	4.48	58.77
16/04/2006	54.20	56.63	36.34	35.71	36.25	10.46	54.20
16/04/2007	47.40	55.36	29.58	28.75	29.33	8.01	47.40
16/04/2008	35.40	55.58	41.92	41.79	42.15	13.16	28.60
16/04/2009	44.00	65.13	63.72	63.36	63.98	19.34	57.60
16/04/2010	78.32	47.67	24.15	24.21	24.36	8.16	35.00
16/04/2011	53.44	59.06	38.01	37.09	37.77	10.39	53.44
16/04/2012	111.60	73.68	67.88	66.43	67.55	18.37	111.60
16/04/2013	71.41	54.34	41.16	41.17	41.46	13.23	71.41
16/04/2014	44.51	58.69	42.92	42.35	42.91	12.59	44.00

F: dato faltante

Tabla 96: Evaluación de métodos de completados de datos en la estación San Rafael

	RL	RD	RP	EV	RM	VR
EM	0.00	-17.33	-17.89	-17.35	-45.86	0.70
Desv. Est.	20.11	22.09	21.99	22.09	20.45	17.39
RMSE	20.11	28.08	28.35	28.09	50.21	17.40
COEF. CORREL.	0.41	0.42	0.42	0.42	0.41	0.74

3.3.3. Análisis de datos temporales de caudal (Q)



Figura 69: Proceso de análisis de correlación de datos de Caudal

En este proceso se determinó la relación (Coeficiente de Correlación) entre los datos de caudales en el cierre de cuencas del mes de abril en el periodo de 1998-2013. Con la finalidad de observar la afinidad de los datos. Y en el cual, se esperó una alta relación (≥ 0.75) entre las cuencas de la misma vertiente y de manera contraria una baja relación (< 0.75) entre cuencas de diferentes vertientes.

A continuación, se menciona el desarrollo del proceso; se encontraron relaciones entre los datos de caudales propios de su naturaleza al permanecer a igual o diferentes vertientes. Relación entre la cuenca Pativilca -9 y Pativilca -2 de 0.920 y una relación menor de 0.681 entre la cuenca Marañon-2 y las otras dos.

Tabla 97: Monitoreo de caudal en cierre de cuencas del mes de abril en el periodo de 1999-2013

MES	Cuenca Pativilca-9	Cuenca Pativilca-2	Cuenca Marañon-2
1999-04	20.86	10.73	26.46
2000-04	21.57	11.00	22.50
2001-04	25.93	14.16	21.49
2002-04	23.83	15.60	31.44
2003-04	16.60	9.41	27.84
2004-04	13.21	6.91	22.69
2005-04	13.50	8.78	18.28
2006-04	25.17	16.40	19.49
2007-04	22.02	14.71	38.07
2008-04	18.53	10.08	29.69

«continuación»

2009-04	26.77	15.85	26.81
2010-04	15.00	7.46	28.52
2011-04	23.05	13.07	22.07
2012-04	26.49	15.57	26.45
2013-04	18.49	10.08	39.18

A continuación, se observa el histograma de los caudales del mes de abril de las estaciones Cuenca Pativilca-9, Cuenca Pativilca-2, Cuenca Marañón-2 en el periodo de 1998 al 2013 y se observa que los caudales son relativamente proporcionales a sus áreas de nevado y a sus altitudes.

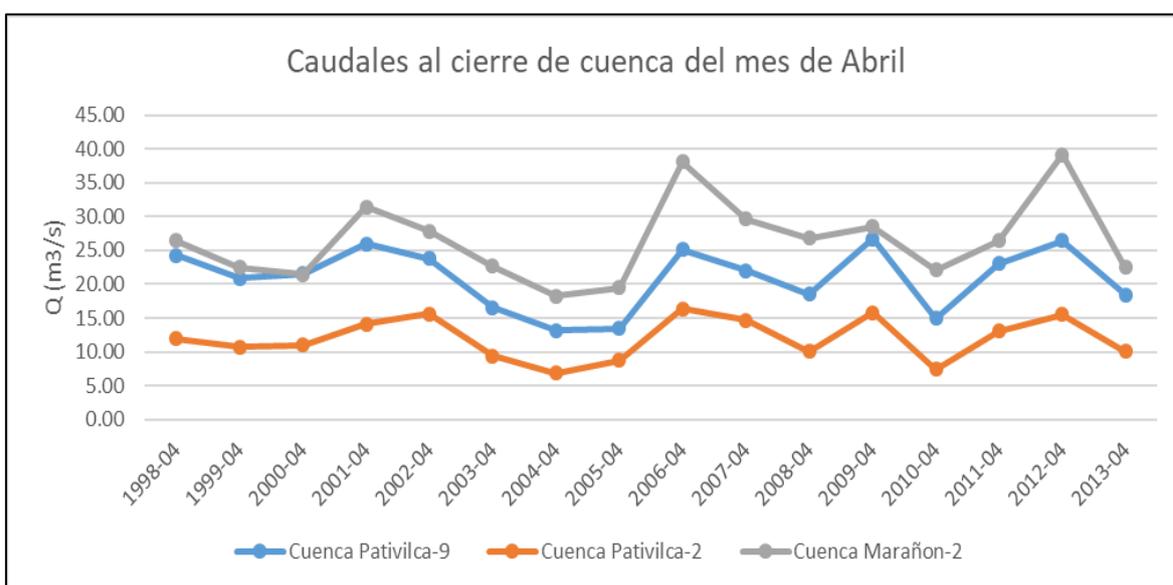


Figura 70: Histograma de Caudales del mes de abril en el periodo de 1998 -2013

A continuación, se observa las correlaciones que hay entre las Inter cuencas para validar su comportamiento. Como se visualiza hay un mayor coeficiente de correlación (0.920) entre Pativilca -9 y Pativilca-2 al pertenecer a la misma vertiente. Por otro lado, una ligera relación entre la cuenca Pativilca y Marañón, debido a que comparten el mismo periodo de mayores avenidas (diciembre-marzo).

Tabla 98: Coeficiente de Correlación de los caudales

	Cuenca Pativilca-9	Cuenca Pativilca-2	Cuenca Marañón-2
Cuenca Pativilca-9	1		
Cuenca Pativilca-2	0.920	1	
Cuenca Marañón-2	0.564	0.681	1

3.3.4. Inventario de glaciares

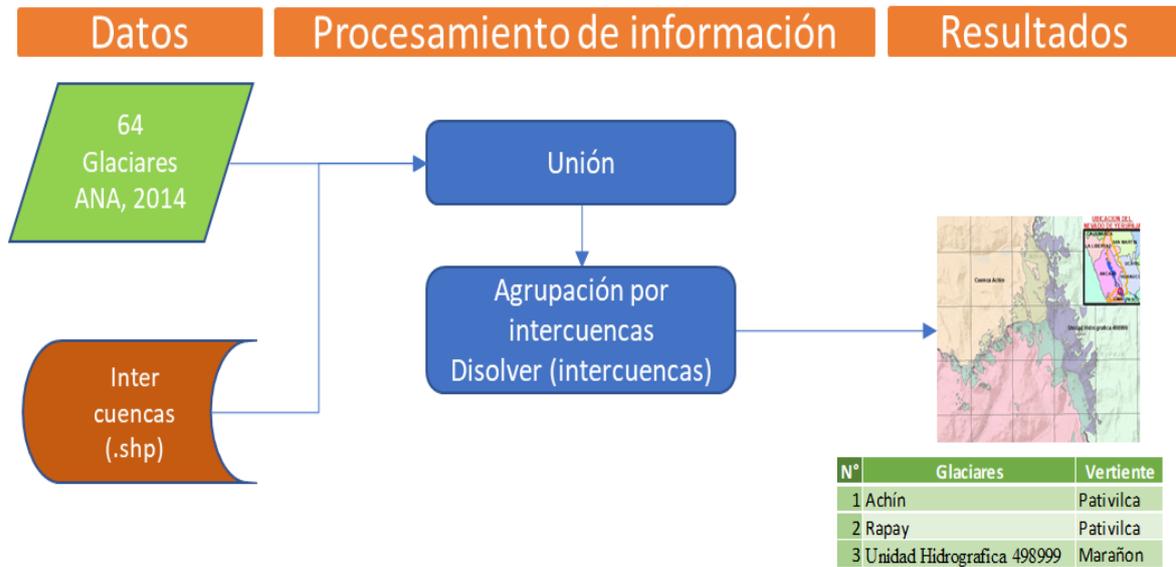


Figura 71: Proceso de inventario y agrupación de glaciares del nevado Yerupajá

Para este proceso se hace un inventario y nominación de los glaciares existentes en el nevado de Yerupajá. Posteriormente se realizó la agrupación de los glaciares en función del río al que aportan caudal.

Para este estudio se realizó la identificación de 64 glaciares y con validación del inventario de Glaciares por el ANA, 2015.

Tabla 99: Inventario de Glaciares del nevado Yerupajá (Parte 1)

Cordillera	Cuenca	Intercuenca	Glaciar	Área_km2	alt_min m.s.n.m.	alt_max m.s.n.m.
			Auxilio	0.121	5072	5491
			Rasac	1.912	4745	6017
			Rondoy	0.147	4570	5350
			Tsacra	1.179	4940	5600
			Yerupajá	8.890	4303	6617
		Achín	sin dato1	0.107	5068	5350
			sin dato2	0.027	5350	5460
			sin dato3	0.024	5125	5380
			sin dato4	0.029	5400	5800
			sin dato5	0.059	5219	5555
			sin dato6	0.044	5555	5883
			Auxilio	1.361	4928	5500
			Caramarca	1.772	4800	6017
			Clavelcocha	0.032	5100	5180
			Huancopatay	0.235	4968	5380
			Jullutahuarc	0.057	4966	5327
			Jurao	4.551	4600	5960
			Puscanturpa	0.255	4920	5425
Huayhuash	Pativilca		Rurugallay	1.053	4663	6127
			Sarapo	4.960	4621	6425
			Segya	2.184	4950	5620
			Suerococha	0.741	4869	5350
			Uccococha	0.257	4975	5355
		Rapay	sin dato1	0.060	5110	5350
			sin dato2	0.126	5150	5550
			sin dato3	0.070	5008	5325
			sin dato4	0.273	5100	5325
			sin dato5	0.094	5240	5555
			sin dato6	0.097	5118	5382
			sin dato7	0.125	5150	5550
			sin dato8	0.013	5250	5350
			sin dato9	0.011	5350	5410
			sin dato10	0.009	5340	5400
			sin dato11	0.092	5074	5300
			sin dato12	0.025	5250	5550
			sin dato13	0.041	5300	5600
			sin dato14	0.085	5122	5525
			sin dato15	0.013	5400	5550

Tabla 100: Inventario de Glaciares del nevado Yerupajá (Parte 2)

Cordillera	Cuenca	Intercuenca	Glaciar	Área_km2	alt_min m.s.n.m.	alt_max m.s.n.m.
			Carhuac	0.356	4303	4630
			Carnicero	1.520	4718	5960
			Cuncan	0.854	4910	5600
			Huayhuash	0.741	4950	5550
			Jirishanca	2.815	4760	6010
			Ninashanka	0.140	5150	5607
			Puscanturpa	0.517	4982	5430
			Sarapo Este	3.379	5200	6328
			Siula Este	5.650	4711	6617
			Yerupajá	1.979	4680	6617
			sin dato1	0.065	4969	5303
			sin dato2	0.038	5160	5300
			sin dato3	0.466	4800	5425
Huayhuash	Marañon	Unidad Hidrografica 498999	sin dato4	0.355	4823	5703
			sin dato5	0.502	4868	5620
			sin dato6	0.023	5061	5182
			sin dato7	0.033	4464	4630
			sin dato8	0.030	5530	5770
			sin dato9	0.009	5100	5180
			sin dato10	0.026	5426	5794
			sin dato11	0.018	4716	4984
			sin dato12	0.009	5100	5241
			sin dato13	0.028	5400	5600
			sin dato14	0.045	5507	5963
			sin dato15	0.017	5400	5684
			sin dato16	0.027	5550	5850

Cabe mencionar que las estaciones que se encuentran con la denominación de “sin dato” son glaciares con áreas menores a 0.6 kilómetros cuadrados y seccionados en al menos 2 partes y no tuvieron denominación por el ANA-Perú.

A continuación se visualiza los glaciares agrupados en 3 (Achín, Rapay y Unidad Hidrográfica 498999).

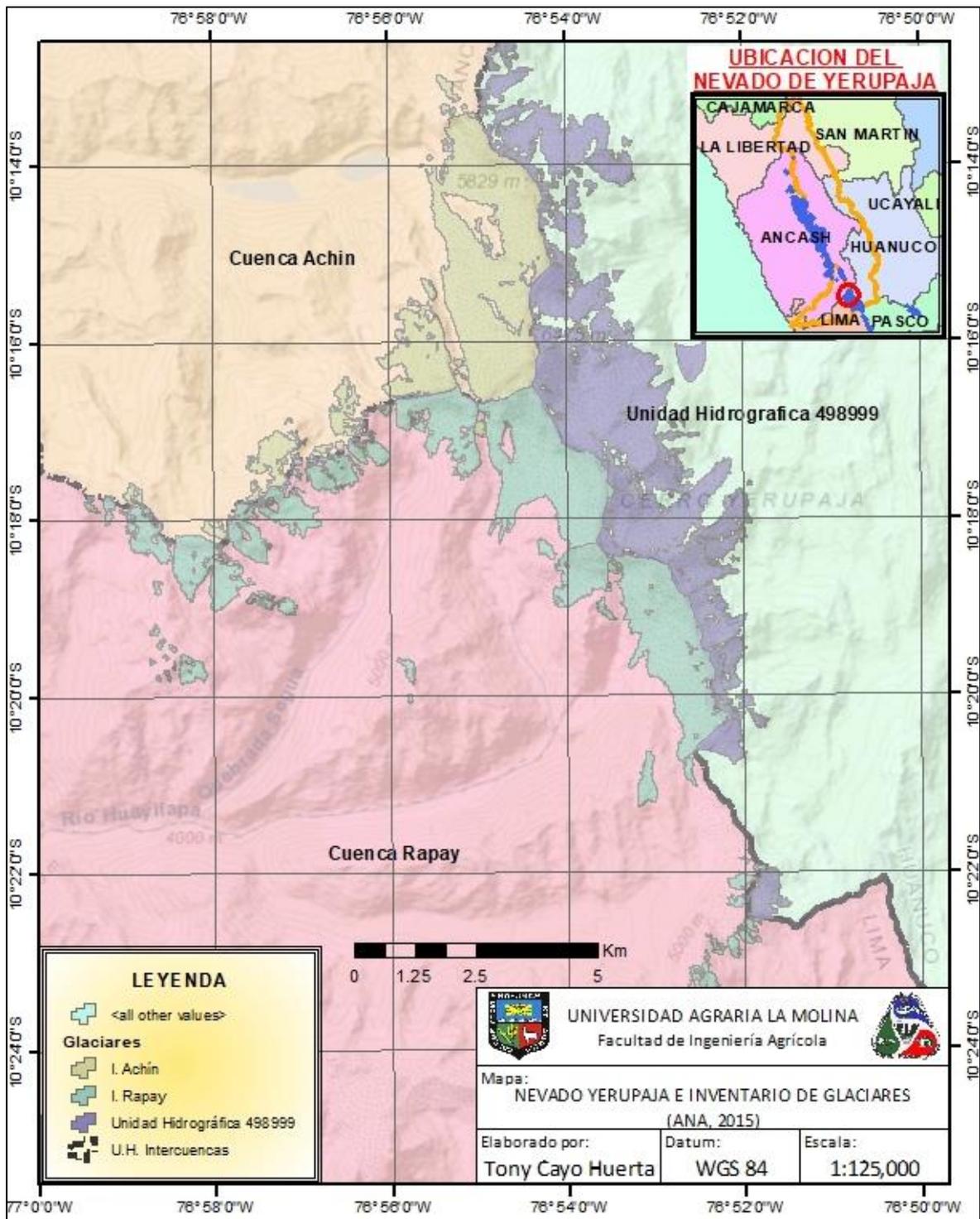


Figura 72: Nevado Yerupajá e Inventario de glaciares

FUENTE: Modificado del ANA (2015).

3.3.5. Teledetección y percepción remota

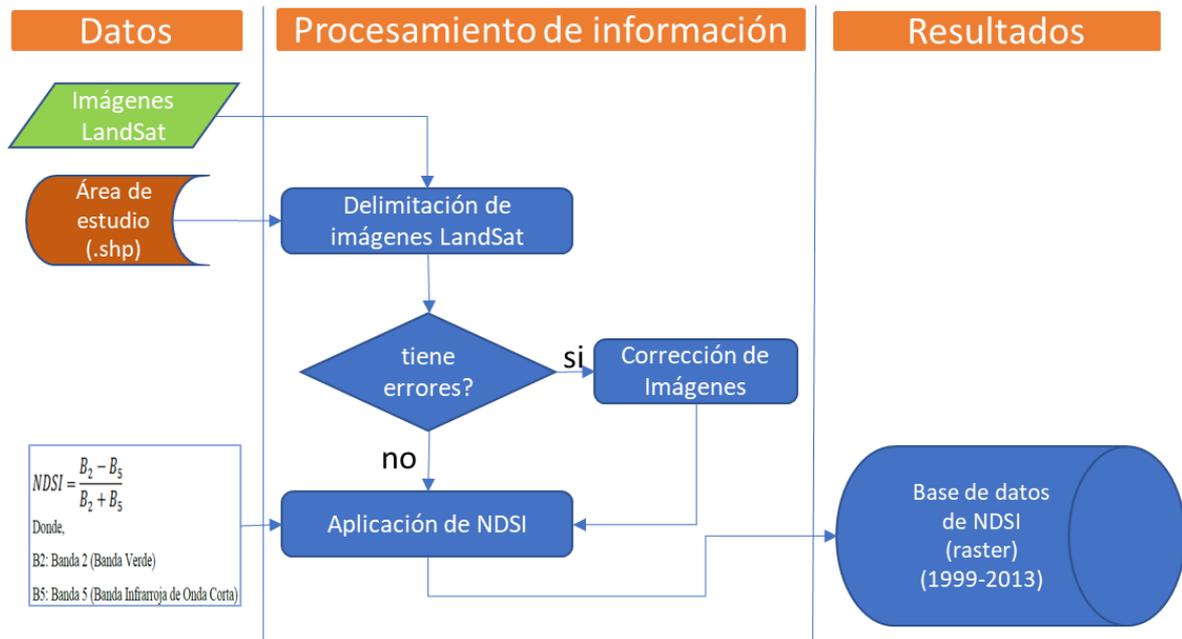


Figura 73: Aplicación del NDSI

Para este proceso se definirá y determinará:

a. Delimitación de imágenes LandSat

En primer lugar, en el software ArcGis 10.3 se cortaron las bandas (b5 y b2 del LandSat 5-7; y b3 y b6 del LandSat 8) de formato TIF con extensión de área de estudio.

b. Corrección de Imágenes

Debido a que las imágenes de LandSat 7 presenta errores en su toma de datos que presenta píxeles con vacíos de información desde el año 2004, se prosigue a completar los vacíos con ayuda de interpolación de datos, con ayuda del software ArcGis10.3 y el comando “Fix LandSat 7 Scanline Errors” de la caja de herramientas “LandSat-Toolbox”

c. Diferenciación de nieve

Para este proceso se tomó en cuenta que las imágenes debieran encontrarse libres de nubosidad o no afecten la identificación del nevado. Posteriormente se realizó a calcular el Índice Normalizado de Diferenciación de Nieve (NDSI) a través del comando “Calclater Raster” del software ArcGis 10.3.

A continuación, se muestra las bandas que se recopilaron como es el caso de visible-verde, Rcercano y Rmedio y las correcciones que se realizaron a las bandas del LandSat 7 para los años mayores a 2003 a través del comando “Fix LandSat 7 Scanline Errors” de ArcGis 10.3.

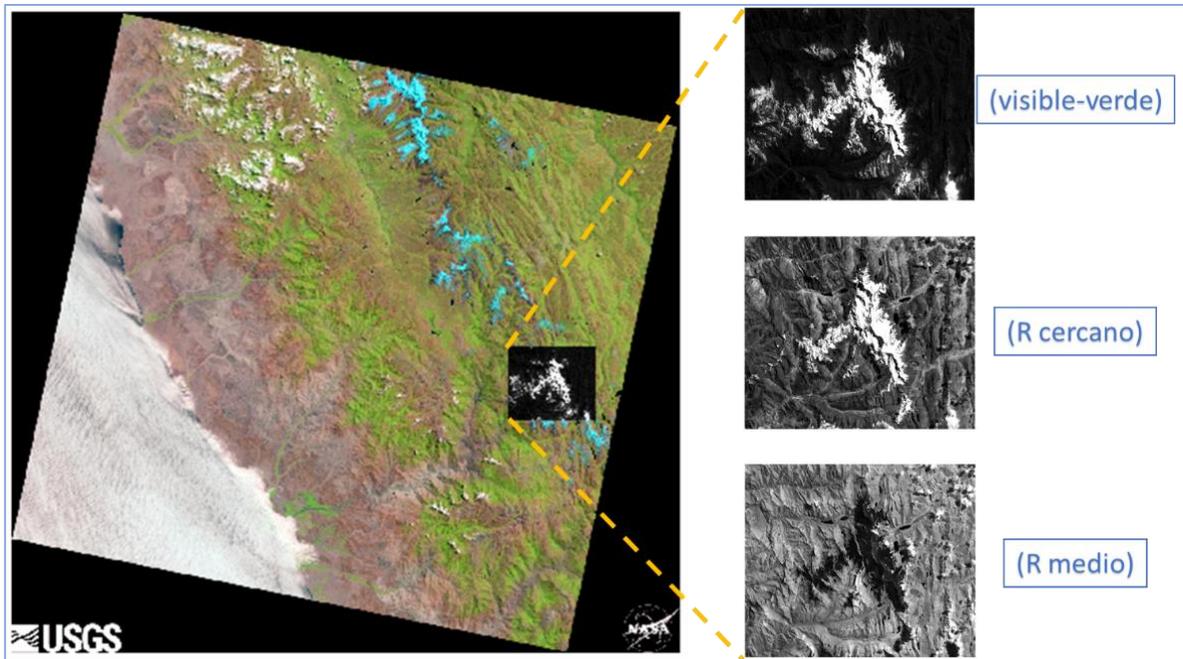


Figura 74: Delimitación de bandas según área de estudio

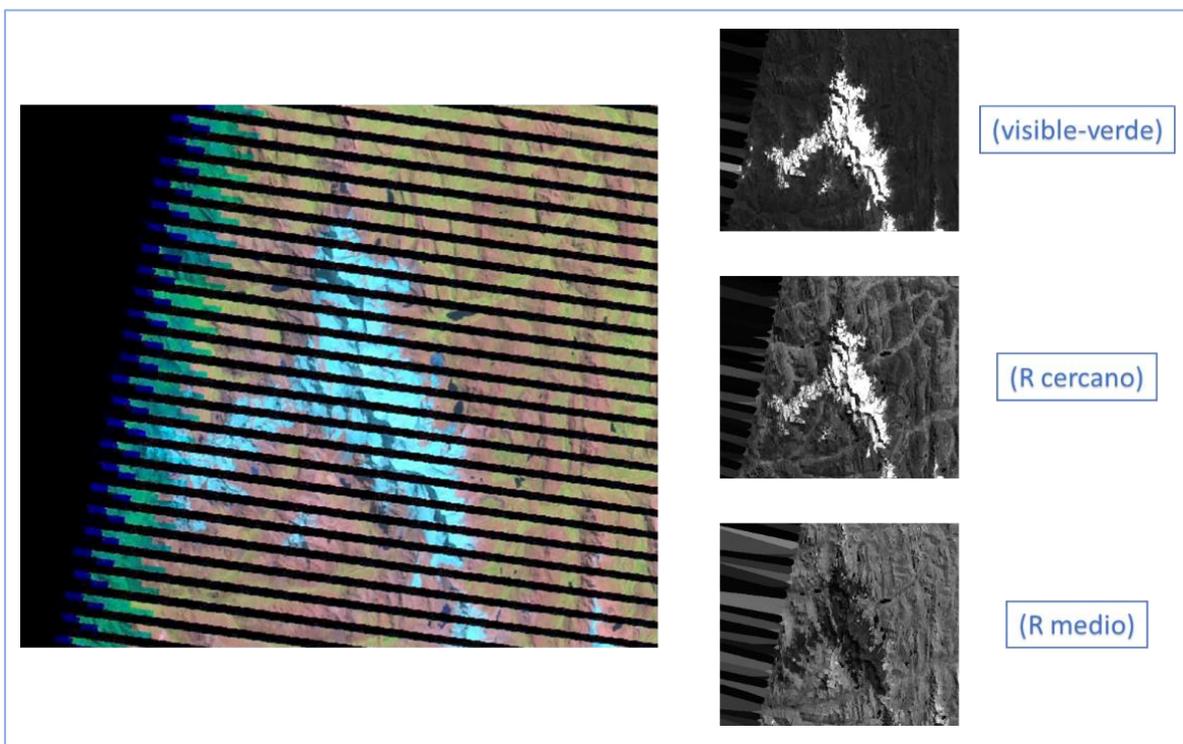


Figura 75: Proceso de corrección de bandas

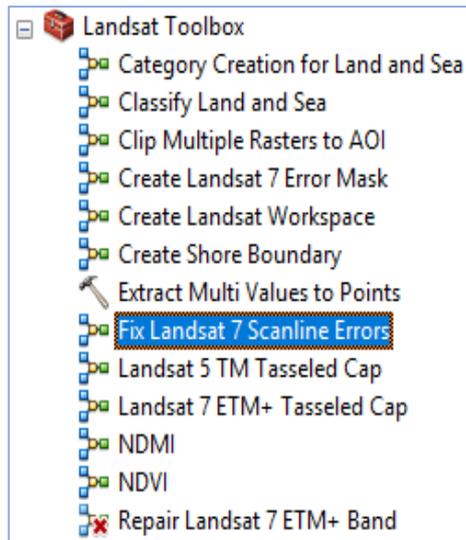


Figura 76: Comando de corrección de bandas – Fix LandSat 7 Scanline Errors

A continuación, se muestra el resultado de aplicar la fórmula de NDSI con el comando “Raster Calculator” de ArcGis 10.3 y su diagrama de valores obtenidos, los cuales dan énfasis en la identificación de cobertura con nieve. Dicho proceso se realizó a todas las imágenes recopiladas.

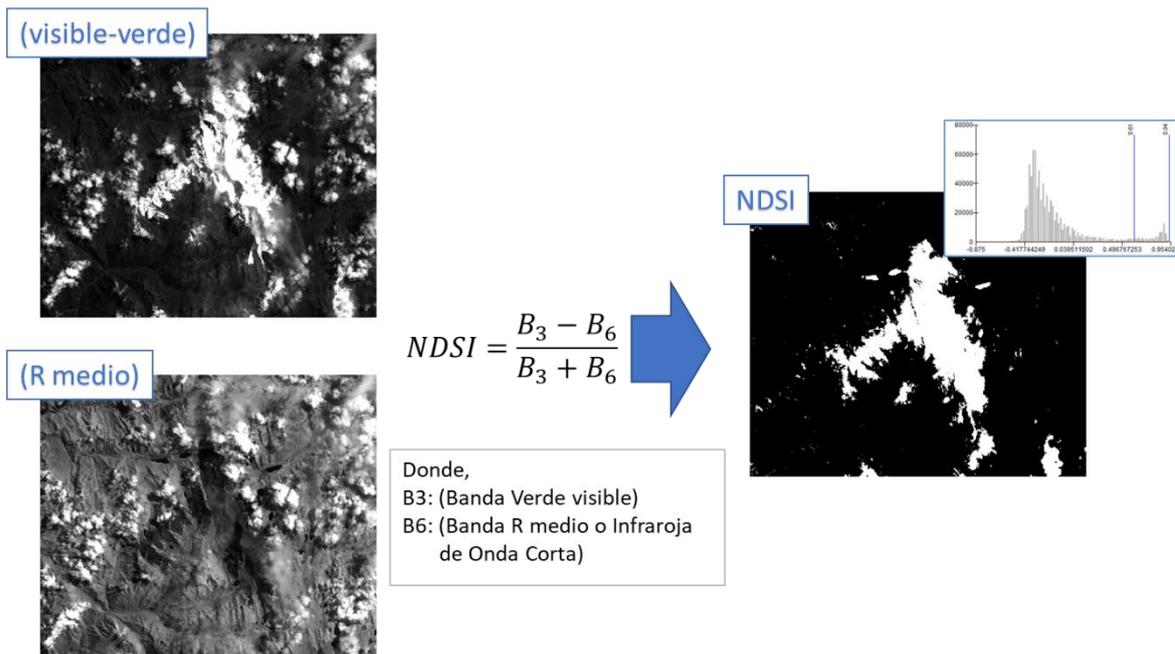
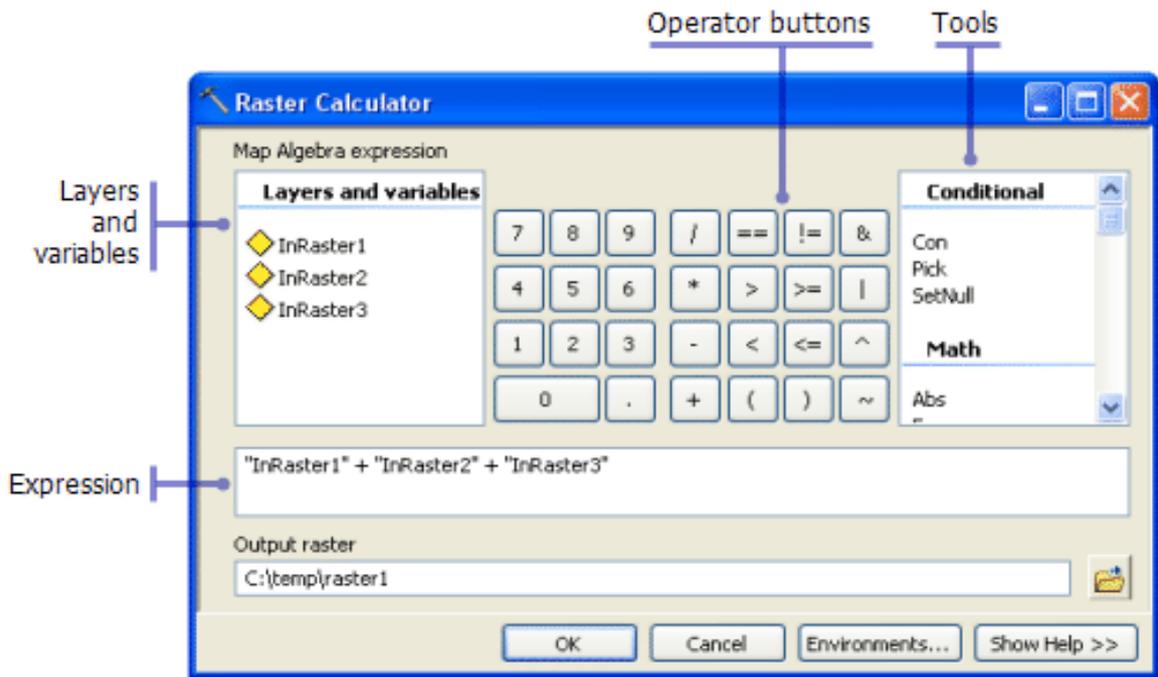


Figura 77: Identificación de nieve, por método del Índice Espectral NDSI



Raster Calculator tool dialog box example

Figura 78: Comando Raster Calculator de ArcGIS 10.3 para la insertar la formula NDSI

La expresión usada para el NDSI fue la siguiente: $\text{Float}(\text{"b2"} - \text{"b5"}) / \text{Float}(\text{"b2"} + \text{"b5"})$; siendo b2: verde visible y b5: Rmedio.

3.3.6. Determinación de áreas

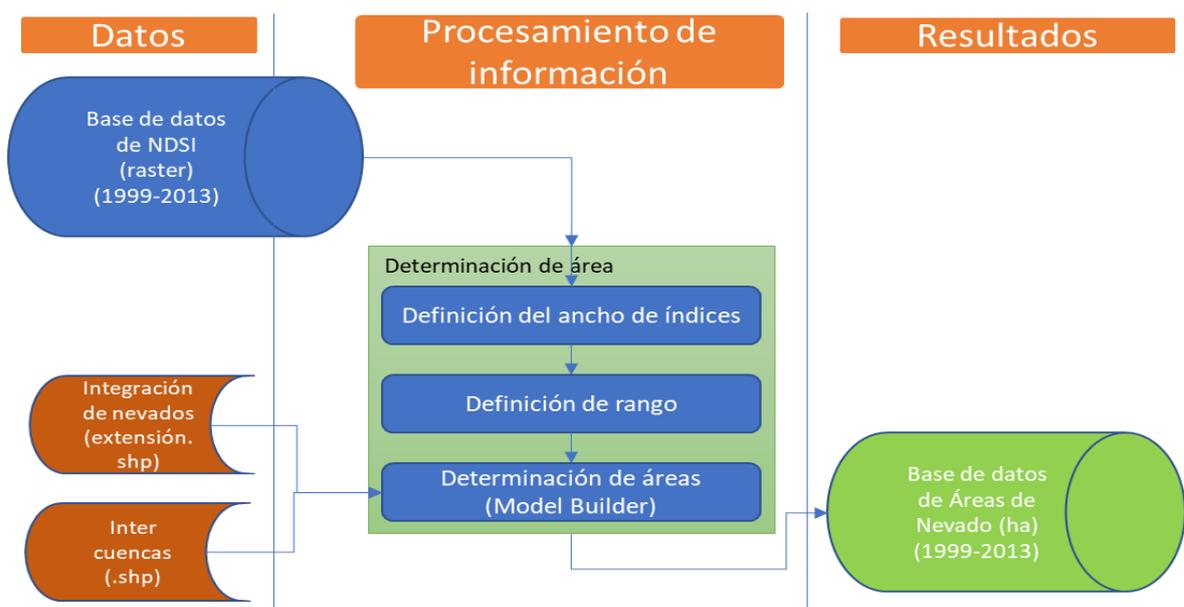


Figura 79. Proceso para la determinación de áreas

Para la determinación de la cobertura del nevado se trabajó en el ArcGis 10.3 a través del método de box counting, o método de la caja de contar, empleado para cuantificar los píxeles de la superficie glaciar. Para sistematizar este proceso se generó un model-builder en el ArcGis 10.3 como se muestra en la siguiente imagen.

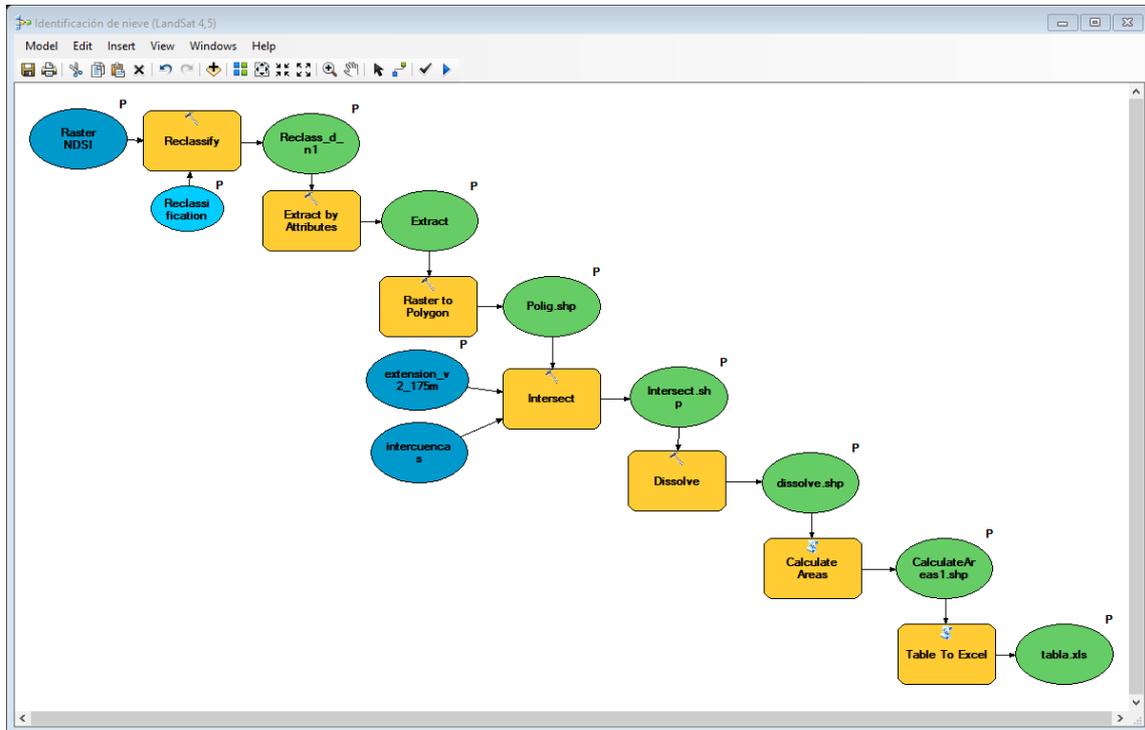


Figura 80: Diagrama de Procesos en Model Builder para la determinación de las áreas

A continuación, se menciona los procesos a mayor detalle:

a. Definición del ancho de índices de NDSI

En primer lugar, se hizo la definición del ancho de índices de NDSI que se manejaría para la identificación de superficies de nevado. Para ello se usó la data Shape otorgada por la ANA: áreas del nevado Yerupajá 2007 y 2015; con el cual se hizo una calibración a través de iteraciones con diferentes anchos de índices a los ráster NDSI 2007 y 2015 hasta ajustar al área otorgada por el ANA. Dicho proceso se realizó tanto para los NDSI del LandSat 5, 7 y 8.

Tabla 101: Áreas del Nevado Yerupajá.

Año	Área (Km2)
2007-07	49.440
2015-07	46.484

Fuente ANA, 2019

En las siguientes figuras se observa la comparación del shape de área del nevado del año 2007 otorgados por la ANA-Perú visualizados en ArcGis 10.3; por otro lado, se tiene el nevado determinado por el NDSI a partir de las bandas LandSat7.

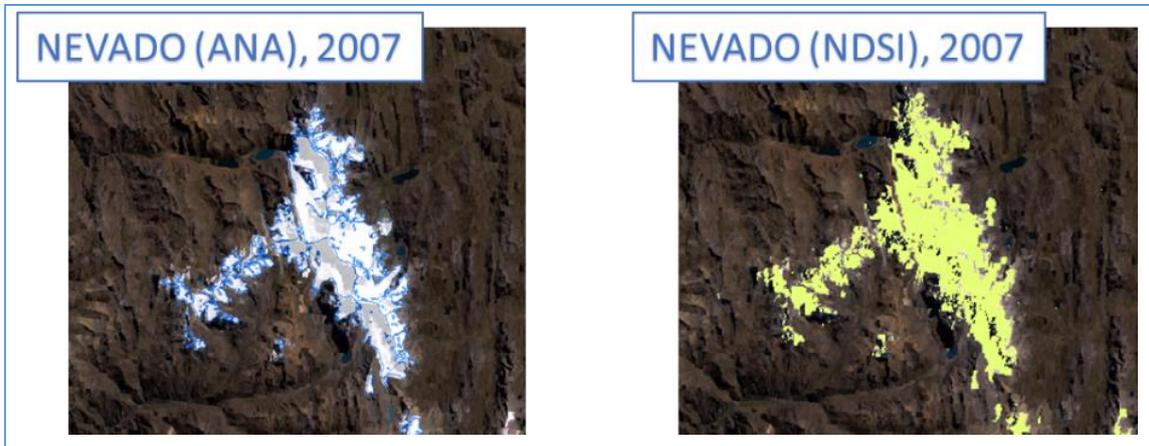


Figura 81: Superficie del Nevado Yerupajá en el año 2007 según el ANA y LandSat 7

A continuación, se muestra las ventanas “Symbology” y “Classification” del programa ArcGis para las cuales permitieron realizar las iteraciones de los anchos de índices, definiendo el índice inferior y superior según el caso.

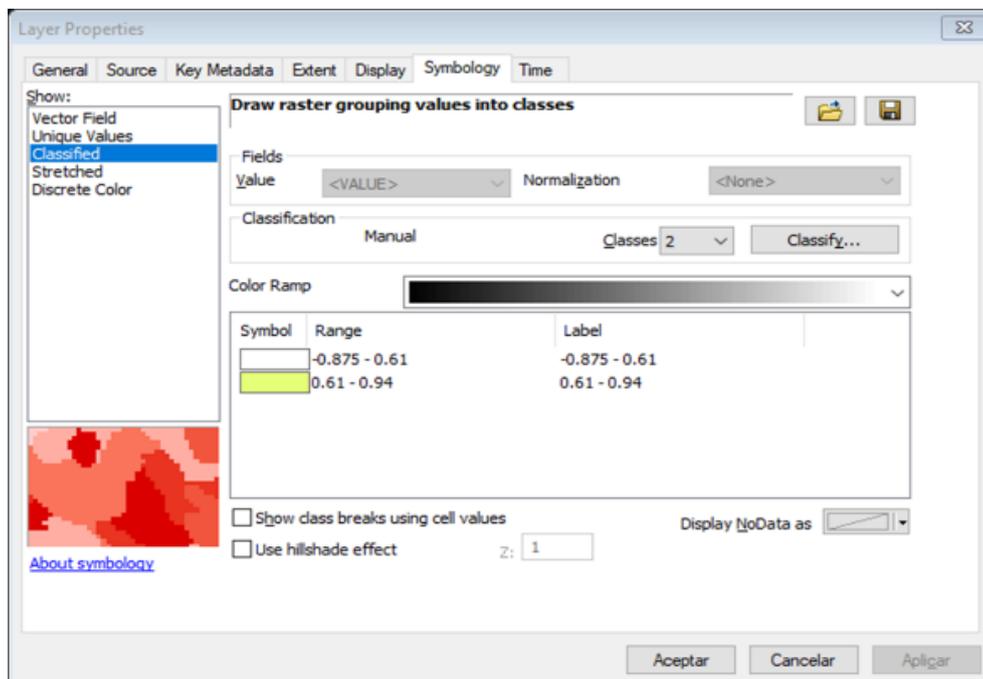


Figura 82: Ventana de Symbology de ArcGis, clasificación de nieve por NDSI

Nota: En esta imagen se visualiza como índice inferior 0.61 e índice superior 0.94

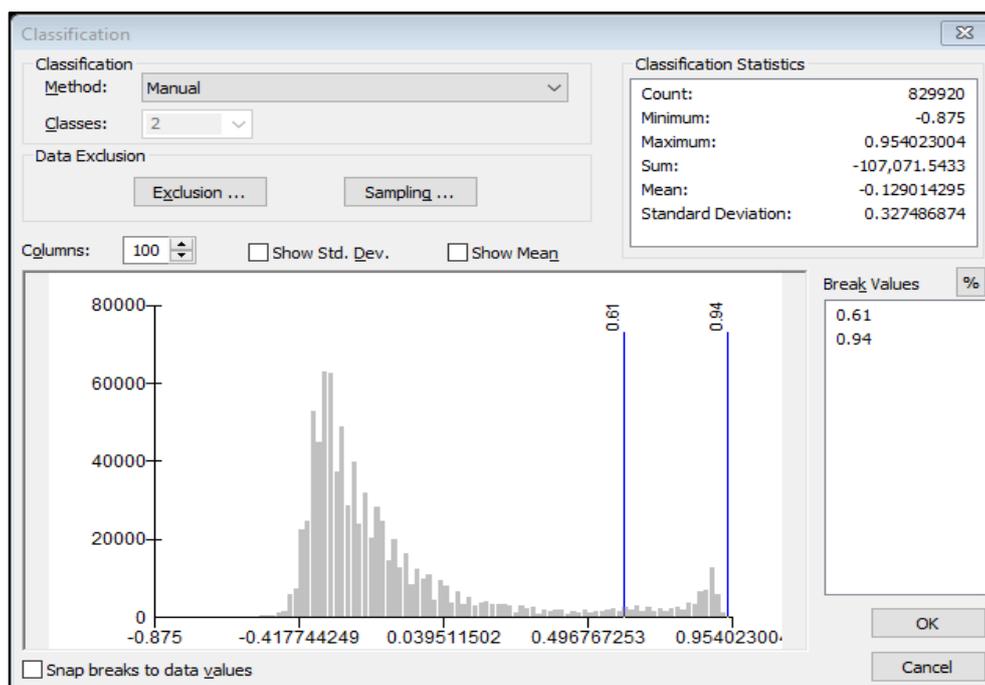


Figura 83: Ventana de Classification de ArcGis, clasificación de nieve por NDSI

Nota: En esta imagen se visualiza como índice inferior 0.61 e índice superior 0.94

A continuación, se muestran las iteraciones realizadas a las imágenes del LandSat 5,7 y 8 para calibrar el ancho de índice en cada sistema y teniendo como referencia de validación los shape de la ANA-Perú. Dichas iteraciones permitieron generar las ecuaciones lineales ($y=ax+b$) donde el ancho de índice es “x” y error calculado (área determinada por NDSI menos área de validación) “y”.

- LandSat 4,5

Tabla 102: Evaluación con la imagen de la fecha: 25/07/2007

LandSat 4,5					
Límite de índice		Área			
Inferior	Superior	2007	Error	Ancho	
0.530	0.941	40.266	-9.17	0.411	
0.500	0.941	43.575	-5.87	0.441	
0.450	0.941	47.205	-2.23	0.491	
0.425	0.941	48.675	-0.76	0.516	
0.415	0.941	49.267	-0.17	0.526	
0.410	0.941	49.504	0.06	0.531	

*Ancho de índice por iteración: 0.531

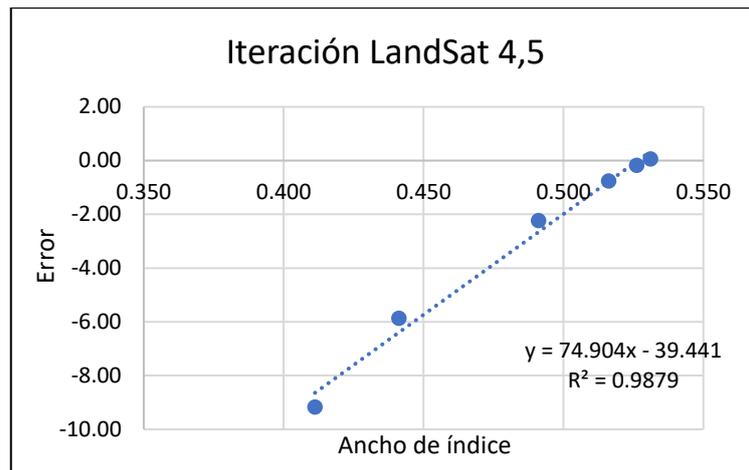


Figura 84: Ecuación de Ancho de Índice - Error, por Iteración de anchos de índices -LandSat 4,5

Para:

$$y = 74.904x - 39.441$$

$$R^2 = 0.9879$$

Ancho de índice por ecuación, es:

$$y=0 \quad \text{km}^2 \text{ (+/-)}$$

$$\mathbf{x=0.527}$$

Se consideró un ancho de índice igual a 0.527; es decir si el máximo valor de los índices es 0.900, el mínimo índice sería 0.373; por lo tanto, el rango de índice para identificación de nieve sería [0.373; 1].

- LandSat 7

Tabla 103: Evaluación con la imagen de la fecha: 1/07/2007

LandSat 4,5				
Límite de índice		Área 2007	Error	Ancho
Inferior	Superior			
0.530	0.941	40.266	-9.17	0.411
0.500	0.941	43.575	-5.87	0.441
0.450	0.941	47.205	-2.23	0.491
0.425	0.941	48.675	-0.76	0.516
0.415	0.941	49.267	-0.17	0.526
0.410	0.941	49.504	0.06	0.531

Tabla 104: Evaluación con la imagen de la fecha: 7/07/2007

Límite de índice		LandSat 7			
Inferior	Superior	Área 2007	2015	Error	Ancho
0.576	0.954	52.548		3.11	0.38
0.577	0.954	52.498		3.06	0.38
0.580	0.954	52.158		2.72	0.37
0.600	0.954	51.057		1.62	0.35
0.610	0.954	49.816		0.38	0.34
0.615	0.954	49.374		-0.07	0.34
0.650	0.954	45.825		-3.62	0.30
0.635	0.954	47.417	48.507		0.32
0.630	0.954		49.032	-2.55	0.32
0.655	0.954		46.642	-0.16	0.30
0.660	0.954		46.142	0.34	0.29
0.670	0.954		45.330	1.15	0.28

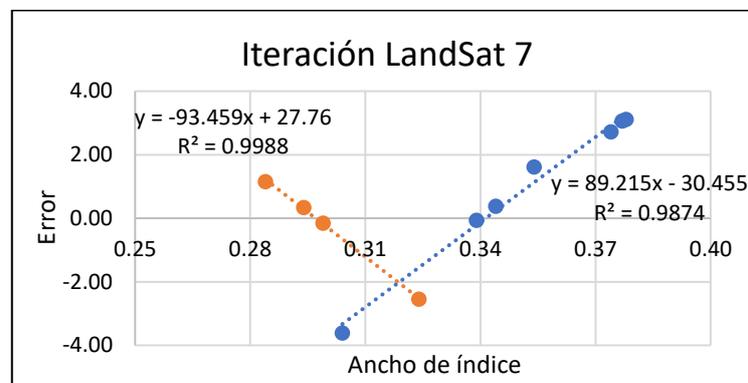


Figura 85: Ecuación de Ancho de Índice – Error, por Iteración de anchos de índices -LandSat 7

Para:

LandSat7 2007

LandSat7 2015

$$y = 89.215x - 30.455$$

$$y = -93.459x + 27.76$$

$$R^2 = 0.9874$$

$$R^2 = 0.9988$$

Ancho de índice por ecuación, es:

$y_1 = y_2$, ya que expresa el menor error para ambas ecuaciones.

$$x = 0.319$$

$$y = -2.024 \text{ km}^2 (+/-)$$

Se consideró un ancho de índice igual a 0.319; es decir si el máximo valor de los índices es 0.900, el mínimo índice sería 0.581; por lo tanto, el rango de índice para identificación de nieve sería [0.581; 1].

- LandSat 8

Tabla 105: Evaluado con la imagen de la fecha: 29/06/2015

LandSat 4,5				
Límite de índice		Área		
Inferior	Superior	2015	Error	Ancho
0.600	0.780	25.810	-20.67	0.180
0.500	0.780	33.978	-12.51	0.280
0.284	0.780	46.399	-0.08	0.496
0.274	0.780	47.191	0.71	0.506
0.260	0.780	48.348	1.86	0.520
0.252	0.780	49.146	2.66	0.528
0.250	0.780	49.355	2.87	0.530

*Ancho de índice por iteración: 0.496

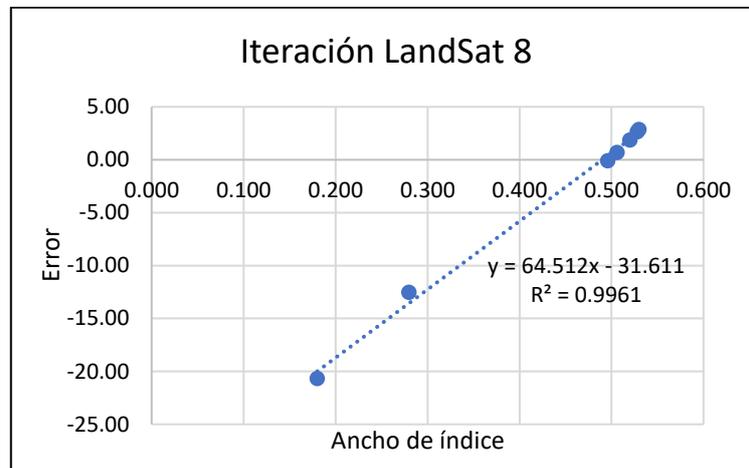


Figura 86: Ecuación de Ancho de Índice – Error, por Iteración de anchos de índices -LandSat 8

Para:

LandSat8 2015

$$y = 64.512x - 31.611$$

$$R^2 = 0.9961$$

Ancho de índice por ecuación, es:

$$y=0 \quad \text{km}^2 \text{ (+/-)}$$

$$x= \quad 0.490$$

Se considera un ancho de índice igual a 0.490; es decir si el máximo valor de los índices es 0.900, el mínimo índice sería 0.410; por lo tanto, el rango de índice para identificación de nieve sería [0.410; 0.900].

b. Definición de rango de índices

Luego de tener identificado el ancho de índices, se determinó el rango de índices (índice máximo y mínimo) para cada una de las NDSI determinadas en las distintas fechas. Para definir este rango se visualizó en el ArcGis 10.3 en la ventana de layer propiedades>Symbology>Stretched; de la siguiente manera; se identifica el máximo valor que se encuentra entre 0.85 a 0.99 de índices y a dicho valor se le restó el ancho de índice determinado al NDSI de respectiva imagen LandSat en el paso anterior; siendo esta diferencia el índice mínimo.

Para la definición de los rangos se visualizó los índices de cada NDSI en la ventana “Classification” de ArcGis 10.3

- Rango de índices para LandSat 4,5
Ancho de índice promedio: 0.527

Tabla 106: Rango de índices para los NDSI del LandSat 4,5

Fecha	Índice máximo	Índice mínimo
1999_04_23	0.917	0.390
1999_05_09	0.789	0.262
2004_04_20	0.985	0.459
2005_04_07	0.948	0.422
2006_04_17	0.888	0.362
2007_04_20	0.888	0.362
2009_04_02	0.970	0.443
2010_04_21	0.911	0.384
2010_04_28	0.882	0.355

- Rango de índices para LandSat 7
Ancho de índice promedio: 0.319

Tabla 107: Rango de índices para los NDSI del LandSat 7

Fecha	Índice máximo	Índice mínimo
2001_04_20	0.935	0.616
2002_04_14	0.930	0.612
2003_04_17	0.921	0.602
2004_04_19	0.987	0.668
2005_04_22	0.932	0.613
2007_04_21	0.949	0.630
2008_04_07	0.980	0.662
2010_04_13	0.962	0.643
2010_04_20	0.939	0.620
2011_06_10	0.976	0.657
2013_04_21	0.964	0.646
2014_03_30	0.961	0.642
2015_03_26	0.962	0.644
2015_05_04	0.979	0.660

- Rango de índices para LandSat 8

Ancho de índice promedio: 0.490

Tabla 108: Rango de índices para los NDSI del LandSat 8

Fecha	Índice máximo	Índice mínimo
2013_04_20	0.815	0.325
2017_04_15	0.813	0.323
2018_04_18	0.789	0.299
2019_04_05	0.798	0.308

c. Determinación de áreas de los glaciares

Una vez definido los rangos en cada NSDI, se ingresó al model builder la siguiente información: 1. El ráster NDSI, 2. Criterio de reclasificación (rango de índice), 3. Shape de área de estudio y 4. Shape de inter-cuencas. Teniendo como resultado el shape de nieve y la tabla de áreas de los glaciares clasificados por Inter-cuencas en formato Excel. Este proceso se realizó independientemente para cada ráster NDSI.

Los pasos que realiza específicamente el model builder es lo siguiente:

- Reclassify. Realiza la clasificación de los índices en 1.“no nieve” y 2.“si nieve” tomando como referencia el rango de índice. Teniendo como resultado el archivo “Reclass_d_n1”.

- Extract by Attributes. Lo que realiza este comando es identificar el rango antes establecido como 2.“si nieve” del archivo “Reclass_d_n1” y extraerlo en un nuevo archivo. Teniendo como resultado el archivo “Extract”.
- Raster to Polygon. Convierte el archivo “Extract” de formato raster a formato shape polígono. Teniendo como resultado el archivo “Polig.shp”.
- Intersect. Lo que hace este comando al archivo “Polig.shp” es la delimitación de área de estudio y la eliminación de lagos con el archivo “extensión” y la clasificación de la superficie de nieve en función a la intercuena que pertenece con el archivo “intercuenas”. Teniendo como resultado el archivo “Intersect.shp”.
- Dissolve. Lo que hace con este comando al archivo “Intersect.shp” es la unión de los polígonos con la misma clasificación de inter-cuenca”. Teniendo como resultado el archivo “dissolve.shp”.
- Calculate Áreas. Este comando crea a partir del archivo “dissolve.shp” una columna con información de Área (kilómetros cuadrados) en la tabla de atributo en el archivo “CalculateÁreas1.shp”.
- Table to Excel. Finalmente, lo que hace este comando es la exportación de tabla de atributo del archivo “CalculateÁreas1.shp” a un Excel.

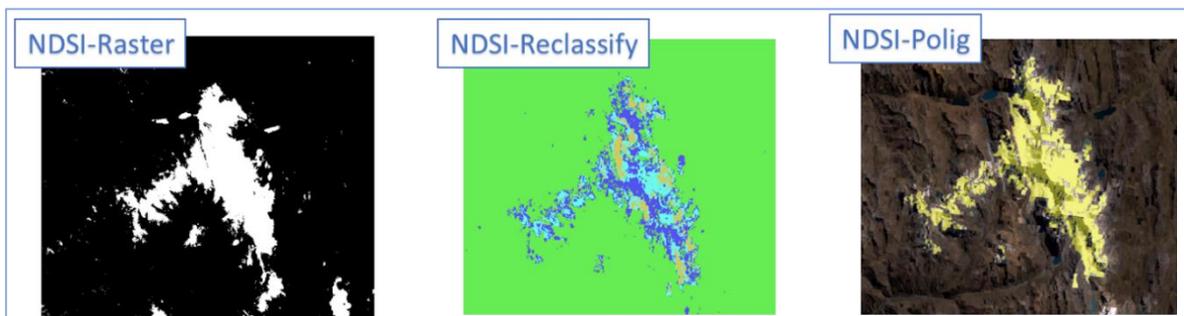


Figura 87: Resultados parciales del Model Builder

A continuación, se muestra el archivo “Extension.shp” el cual fue usado para descartar cuerpos de agua y otros cuerpos no propios del nevado que puedan influir en el model builder. Su generación fue a partir de un buffer de 300metros que se realizó a la integración áreas de nevado en diferentes años con cero por ciento de ruido.

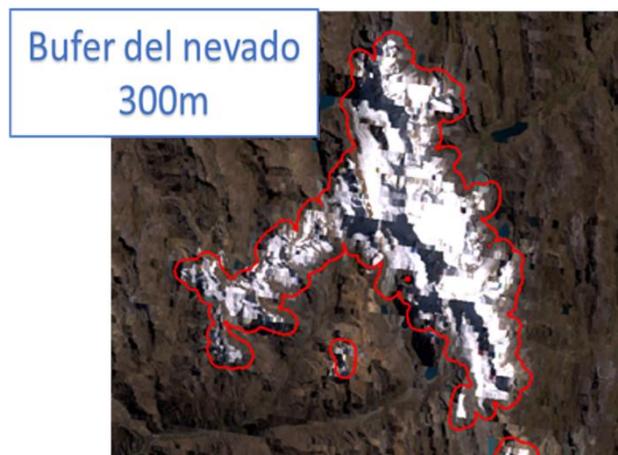


Figura 88: Buffer de inventario de Glaciares 300 metros y descarte de lagos

*Archivo “Extensión.shp” usado en el model builder

En la siguiente tabla se muestran las áreas de los glaciares en la cuenca Achín, cuenca Rapay y Unidad Hidrográfica 498999. Dicha tabla fue determinada tras la evaluación de la tabla anterior bajo las siguientes observaciones:

Adicionalmente se determinó las condiciones de estas imágenes; ya que los glaciares fueron parcialmente cubiertos por ruido entre 0 a 42%; y fueron completados y validados en función a la integración de imágenes de otros años.

Tabla 109: Leyenda de la calidad de las áreas determinadas en Model Builder

Porcentaje bajo ruido	Calidad
0%-10%	Buena
10%-30%	Regular
30%-50%	Mala

Cabe mencionar que las imágenes bajo ruido son aquellas que fueron afectadas por la nubosidad o el error propio del sensor del LandSat 7 a partir del año 2004.

Tabla 110: Áreas del nevado Yerupajá por el método de NDSI de las imágenes LandSat 5, 7 y 8 del periodo de 1999 al 2014

fecha	Imagen	Área (ha)			Porcentaje bajo ruido		
		Cuenca Achin	Cuenca Rapay	Unidad Hidrográfica 498999	Cuenca Achin	Cuenca Rapay	Unidad Hidrográfica 498999
1999_04_23	LS 5	2563.73	3589.20	2460.81	32.18%	29.92%	42.59%
1999_05_09	LS 5	2299.32	3298.44	2600.48	20.86%	24.37%	27.76%
2001_04_20	LS 7	2450.37	3386.43	2691.41	27.30%	23.54%	6.74%
2002_04_14	LS 7	1688.71	2479.68	2090.20	3.95%	5.46%	26.71%
2003_04_17	LS 7	1809.88	2629.66	2144.40	0.06%	2.35%	21.63%
2004_04_19	LS 7	1588.56	2076.15	2049.86	0.00%	0.00%	0.00%
2004_04_20	LS 5	1597.91	2053.17	1933.14	13.87%	21.39%	5.90%
2005_04_07	LS 5	1425.35	1915.47	2018.74	22.87%	30.55%	17.06%
2005_04_22	LS 7	1628.31	2091.50	2109.14	0.22%	23.56%	28.81%
2006_04_17	LS 5	1797.60	2564.13	2069.36	10.59%	1.88%	30.50%
2007_04_20	LS 5	2063.75	2718.02	2362.68	12.86%	18.43%	26.53%
2007_04_21	LS 7	1891.02	2479.86	2208.21	0.00%	0.00%	0.00%
2008_04_07	LS 7	2342.42	3044.52	2248.60	14.78%	4.78%	17.57%
2009_04_02	LS 5	2274.80	3427.00	2322.62	8.34%	15.02%	7.83%
2010_04_13	LS 7	1536.62	1973.00	2003.21	0.86%	3.32%	35.61%
2010_04_20	LS 7	1463.43	1861.46	1885.90	7.13%	23.82%	15.06%
2010_04_21	LS 5	1442.64	1902.06	1978.85	23.74%	24.01%	22.68%
2010_04_28	LS 5	1528.10	2090.98	2094.45	16.43%	20.06%	17.62%
2011_05_10	LS 7	1678.59	2126.31	1977.47	0.00%	0.00%	0.00%
2013_04_20	LS 8	2092.93	2614.13	2266.10	0.00%	0.00%	0.00%
2014_03_30	LS 7	1902.08	2537.86	2152.87	1.62%	3.05%	14.79%

- En el caso de tener 2 áreas para el mismo año se usó las áreas con menor porcentaje de área bajo ruido.

Como es el caso del año 1999 en la cuenca Achín con 32.18% de ruido el 23 de abril y 20.86% de ruido en 9 de mayo, por lo que se elige el de menor porcentaje de ruido con un área de 2299.32 hectáreas.

- En el caso de tener 2 áreas de similar porcentaje de ruido se considera en prioridad las LandSat 8 y 5 sobre las de LandSat 7, debido a las correcciones que se les hizo a esta última a partir del año 2004.

Como es el caso del año 2005 en la Unidad Hidrográfica 498999 con 17.06% de ruido el 07 de abril y 28.81% de ruido en 22 de abril, por lo que se prioriza el LandSat 5 con un área de 2018.74 hectáreas.

Tabla 111: Áreas del nevado Yerupajá por el método de NDSI de las imágenes LandSat 5, 7 y 8 del periodo de 1999 al 2014

fecha	Área (ha)		
	Cuenca Achín	Cuenca Rapay	Unidad Hidrográfica 498999
1999	2299.32	3298.44	2600.48
2001	2450.37	3386.43	2691.41
2002	1688.71	2479.68	2090.20
2003	1809.88	2629.66	2144.40
2004	1588.56	2076.15	1933.14
2005	1628.31	2091.50	2018.74
2006	1797.60	2564.13	2069.36
2007	1891.02	2479.86	2208.21
2008	2342.42	3044.52	2248.60
2009	2274.80	3427.00	2322.62
2010	1536.62	1973.00	2094.45
2011	1678.59	2126.31	1977.47
2013	2092.93	2614.13	2266.10
2014	1902.08	2537.86	2152.87

Se observa en la tabla que no se cuenta con información de las áreas en los años 2000 y 2012; esto es debido a que no se contó con imágenes parcialmente libres de nubosidad que permitan el estudio.

3.3.7. Análisis Estadístico

Para finalizar con la metodología se proseguirá a evaluar la dependencia de la precipitación y caudales con respecto a la dinámica de los glaciares. Para lo cual se evaluará el coeficiente de correlación, entre las áreas de los glaciares y la precipitación; por otro lado, entre las áreas de los glaciares y el caudal.

a. Coeficiente Correlación

El coeficiente de correlación de Pearson (r) es un índice de dependencia lineal entre dos variables. El coeficiente de correlación más utilizado es el de Pearson, este índice mide cuanto se relaciona una variable con los valores de otras. El coeficiente varía entre -1 y 1, mientras el coeficiente es lo más cercano a uno o a menos uno, se puede concluir que es mayor la relación entre las variables; siendo positivo un relación directa y negativa en una relación indirecta, y mientras más cercano a cero menor será la relación independiente o de relación no lineal. (Coaquira, 20118)

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x \cdot S_y}$$

Donde:

S_x , es la desviación típica de la variable x

S_y , es la desviación típica de la variable y

S_{xy} , es la covarianza de x.y

$$s_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i - \bar{x} \cdot \bar{y}$$

n; es número de observaciones

\bar{x} , \bar{y} ; son medias de las observaciones x e y respectivamente

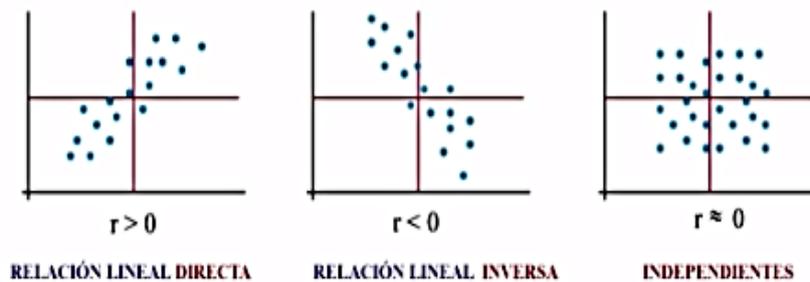


Figura 89: Dispersión de datos y su correlación

FUENTE: Villardón (2013)

b. Nivel de significancia (p- valor)

Villardón (2013) indica que con respecto al grado de significancia (p-valor) se evalúa el riesgo que se corre en aceptar la hipótesis de independencia, con la información que proporcionan los datos; en este caso indicó si la correlación antes determinada fue significativa o no lo fue.

Para su desarrollo se plantearon las siguientes hipótesis, Hipótesis nula H_0 : Las dos variables son independientes e hipótesis alternativa H_a : Las dos variables están relacionadas. En el cual, si $p\text{-valor} \leq 0,05$ se rechazó la hipótesis nula y se asume que las dos variables están relacionadas. De lo contrario si $p\text{-valor} > 0,5$ se aceptó la hipótesis nula de independencia por falta de pruebas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Consistencia de la Información meteorológica e hidrológica

4.1.1. Información Meteorológica

A continuación, se presenta la tabla con los datos de las estaciones de precipitación consistentes, corregidos y completados según el caso. Cabe detallar que hasta este proceso se utilizó periodos desde el 1995 al 2014, y más adelante se usó el periodo de 1999 al 2015 ya que es periodo que se tuvo como objetivo para evaluar.

Tabla 112: Datos completados de precipitación del mes de abril en el periodo de 1995 al 2014

Fecha	San rafael	Huánuco	Canchan	Oyón	Andájes	Mayorarca	Chiquián	Cajatambo	Recuay	Milpo	Cotaparaco
16/04/1995	51.51	32.26	30.67	59.40	39.30	27.60	63.70	56.60	128.90	54.60	27.00
16/04/1996	82.20	84.88	89.86	58.20	30.60	39.90	52.50	39.20	62.10	119.20	33.70
16/04/1997	36.60	19.02	22.52	26.80	27.94	16.20	40.40	25.70	49.90	45.60	12.50
16/04/1998	29.50	4.44	14.96	20.90	12.60	50.70	43.80	46.90	138.40	129.00	46.10
16/04/1999	42.80	27.77	27.01	52.60	31.10	37.90	39.20	55.50	104.30	82.20	40.80
16/04/2000	47.50	37.52	19.10	63.40	53.20	50.80	39.40	64.70	90.60	43.70	49.90
16/04/2001	72.10	56.85	47.45	33.90	36.00	40.50	36.60	40.60	48.20	28.10	40.60
16/04/2002	38.60	69.33	57.25	45.50	64.90	77.80	83.40	95.80	58.80	87.90	84.60
16/04/2003	101.40	30.60	39.77	37.00	40.90	45.20	69.00	39.30	66.20	160.30	35.80
16/04/2004	53.50	31.25	18.20	37.24	27.70	43.10	36.70	45.00	84.60	114.10	33.40
16/04/2005	58.77	12.21	14.10	9.50	2.40	15.00	50.50	17.00	69.90	96.00	20.40
16/04/2006	54.20	38.61	33.80	93.39	94.80	65.70	99.00	118.40	141.60	220.20	62.80
16/04/2007	47.40	35.83	22.60	55.20	73.80	72.20	119.20	88.50	173.30	291.90	51.40
16/04/2008	35.40	36.31	48.20	49.90	35.20	21.80	71.00	51.60	72.00	99.30	36.10
16/04/2009	44.00	57.20	71.00	78.10	71.50	57.40	105.80	80.80	121.20	233.40	55.90
16/04/2010	78.32	19.00	29.90	29.90	37.50	40.80	47.20	36.50	85.40	19.20	19.30
16/04/2011	53.44	43.92	31.40	63.40	48.60	51.10	97.50	102.00	125.40	95.70	38.77
16/04/2012	111.60	75.92	58.90	113.90	85.00	81.00	105.20	112.20	162.40	433.10	73.12
16/04/2013	71.41	33.60	49.60	22.10	12.50	20.70	27.50	31.90	74.00	256.50	55.14
16/04/2014	44.51	43.11	42.70	29.00	36.60	27.20	7.00	59.00	99.90	141.05	43.39

* De amarillo, datos completados

Tabla 113: Resultados de Consistencia

Grupo	Estaciones	pp-media (mm)	Consistencia			
			Prueba T	Prueba F	VR- DED	VR- correlación
G4	San Rafael	57.7	si	si	0.33	0.62
	Huánuco	37.3	si	si	0.18	0.93
	Canchán	36	si	si	0.21	0.92
G3.v2	Oyón	47.5	si	si	0.32	0.83
	Andájes	39.5	si	si	0.35	0.83
G2.v2	Mayorarca	52	si	si	0.25	0.83
	Chiquián	66.8	si	si	0.18	0.9
	Cajatambo	60.4	si	si	0.18	0.94
G1	Recuay	93.5	si	si	0.36	0.79
	Milpo	114	si	si	0.32	0.89
	Cotaparaco	40.6	si	si	0.37	0.71

4.1.2. Información Hidrológica**Tabla 114: Monitoreo de caudal en cierre de cuencas del mes de abril en el periodo de 1999-2013**

Mes	Cuenca Pativilca-9	Cuenca Pativilca-2	Cuenca Marañon-2
1999-04	20.86	10.73	26.46
2000-04	21.57	11.00	22.50
2001-04	25.93	14.16	21.49
2002-04	23.83	15.60	31.44
2003-04	16.60	9.41	27.84
2004-04	13.21	6.91	22.69
2005-04	13.50	8.78	18.28
2006-04	25.17	16.40	19.49
2007-04	22.02	14.71	38.07
2008-04	18.53	10.08	29.69
2009-04	26.77	15.85	26.81
2010-04	15.00	7.46	28.52
2011-04	23.05	13.07	22.07
2012-04	26.49	15.57	26.45
2013-04	18.49	10.08	39.18

Tabla 115: Coeficiente de Correlación de los caudales

	Cuenca Pativilca-9	Cuenca Pativilca-2	Cuenca Marañon-2
Cuenca Pativilca-9	1		
Cuenca Pativilca-2	0.920	1	
Cuenca Marañon-2	0.564	0.681	1

4.2. Variación de datos temporales

4.2.1. Precipitación

En la siguiente tabla se visualiza la variación de precipitación que hay para los años del periodo 1999 al 2014 en el mes de abril para las estaciones, tomando como referencia su respectiva precipitación media de dicho periodo.

Tabla 116: Precipitación media del nevado en cada cuenca en hectáreas en el periodo de 1999-2014, en el mes de abril

pp-promedio mensual	San Rafael	Huánuco	Canchán	Oyón	Andájes	Mayorarca	Chiquián	Cajatambo	Recuay	Milpo	Cotaparaco
(mm)	57.74	39.48	38.45	48.97	43.11	44.13	61.73	60.36	97.86	137.55	43.04

Tabla 117: Variación de precipitaciones del nevado en cada estación en el periodo de 1999-2014, en el mes de abril

Año	San Rafael	Huánuco	Canchán	Oyón	Andájes	Mayorarca	Chiquián	Cajatambo	Recuay	Milpo	Cotaparaco
1999	-0.26	-0.3	-0.3	0.07	-0.28	-0.14	-0.36	-0.08	0.07	-0.4	-0.05
2000	-0.18	-0.05	-0.5	0.29	0.23	0.15	-0.36	0.07	-0.07	-0.68	0.16
2001	0.25	0.44	0.23	-0.31	-0.16	-0.08	-0.41	-0.33	-0.51	-0.8	-0.06
2002	-0.33	0.76	0.49	-0.07	0.51	0.76	0.35	0.59	-0.4	-0.36	0.97
2003	0.76	-0.22	0.03	-0.24	-0.05	0.02	0.12	-0.35	-0.32	0.17	-0.17
2004	-0.07	-0.21	-0.53	-0.24	-0.36	-0.02	-0.41	-0.25	-0.14	-0.17	-0.22
2005	0.02	-0.69	-0.63	-0.81	-0.94	-0.66	-0.18	-0.72	-0.29	-0.3	-0.53
2006	-0.06	-0.02	-0.12	0.91	1.2	0.49	0.6	0.96	0.45	0.6	0.46
2007	-0.18	-0.09	-0.41	0.13	0.71	0.64	0.93	0.47	0.77	1.12	0.19
2008	-0.39	-0.08	0.25	0.01	-0.18	-0.51	0.15	-0.15	-0.26	-0.28	-0.16
2009	-0.24	0.45	0.85	0.59	0.66	0.3	0.71	0.34	0.24	0.7	0.3
2010	0.36	-0.52	-0.22	-0.39	-0.13	-0.08	-0.24	-0.4	-0.13	-0.86	-0.55
2011	-0.07	0.11	-0.18	0.29	0.13	0.16	0.58	0.69	0.28	-0.3	-0.1
2012	0.93	0.92	0.53	1.33	0.97	0.84	0.7	0.86	0.66	2.15	0.7
2013	0.24	-0.15	0.29	-0.55	-0.71	-0.53	-0.55	-0.47	-0.24	0.86	0.28
2014	-0.23	0.09	0.11	-0.41	-0.15	-0.38	-0.89	-0.02	0.02	0.03	0.01

A continuación, se muestra en las figuras las variaciones de las precipitaciones en una línea de tiempo del 1999 al 2014 de los meses de abril. En los cuales se recalca con puntos de color rojo variaciones mayores o igual +/-0.40 o +/-40 % del caudal medio la cual denominé variaciones altas. Se observa que en las estaciones Chiquián y Milpo son más frecuentes las variaciones altas, hasta en 9 años. Por otro lado, también se observa que es más frecuente la

variación positiva en el año 2007(G1, G2 y G3) y 2012 (G1, G2, G3 y G4) con variaciones de 0.64 a 1.12 y 0.53 a 2.15 respectivamente. Y variación negativa en los años 2004(G2 y G4), 2005 (G1, G2, G3 y G4) y 2010 (G1, G2 y G4) con variaciones de -0.41 a -0.53, -0.53 a -0.94 y -0.52 a -0.86 respectivamente.

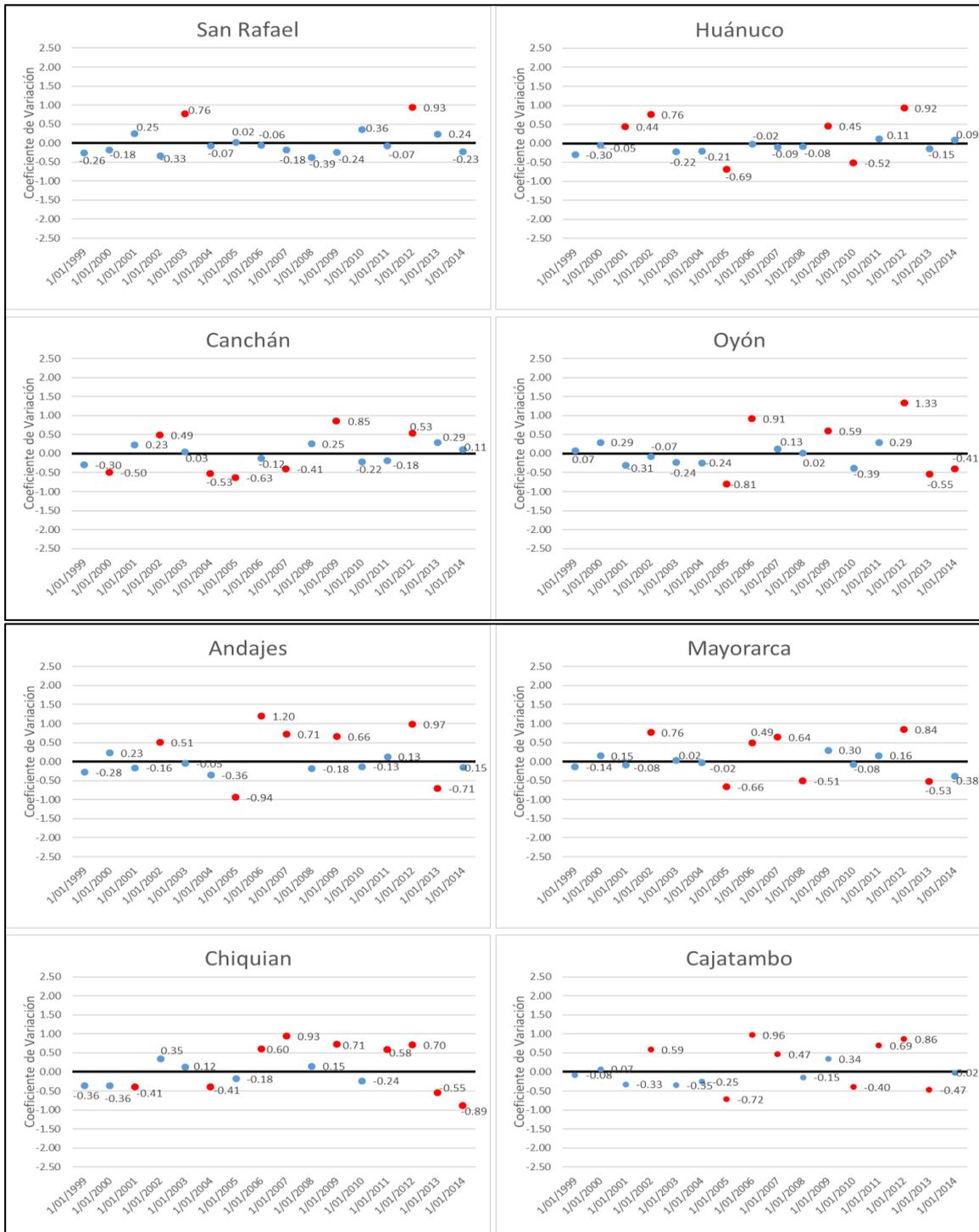


Figura 90: Variación de precipitaciones respecto a la media en el periodo de 1999-2014, mes de abril. Parte 1

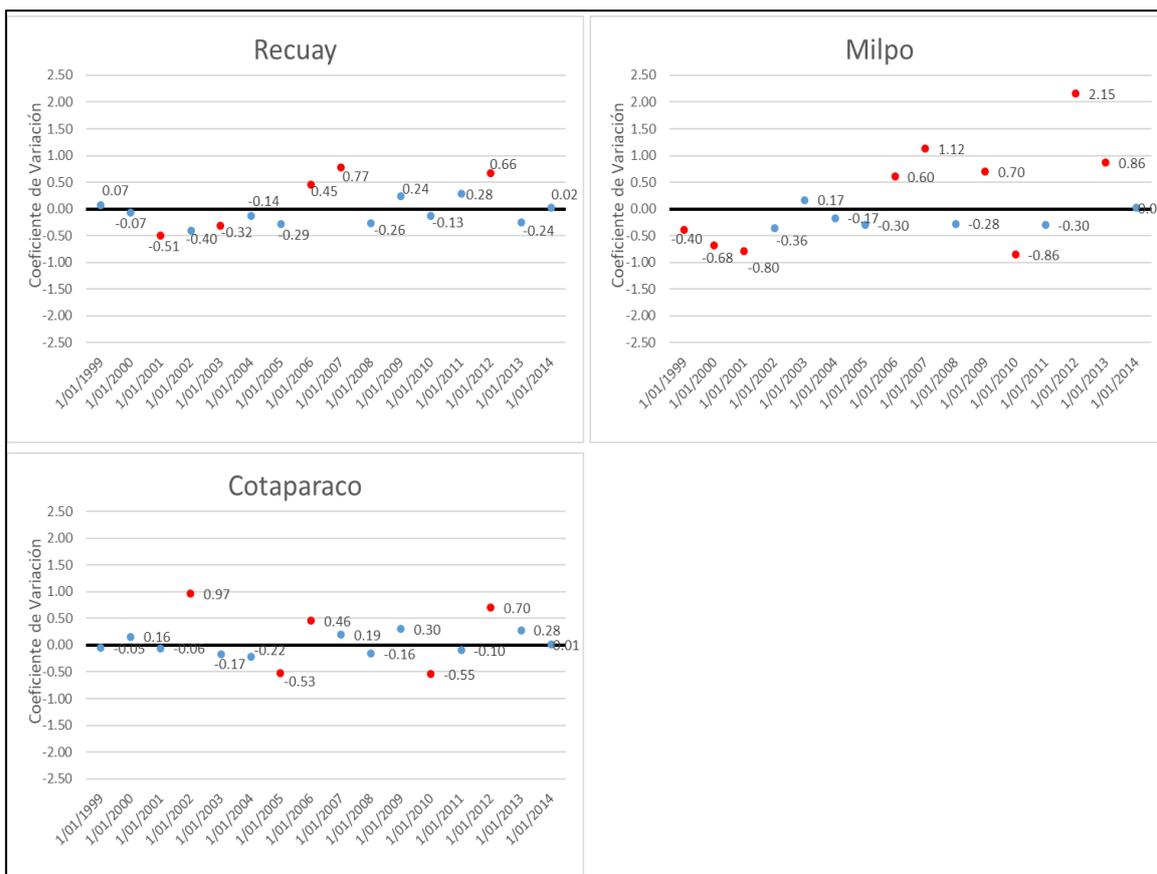


Figura 91: Variación de precipitaciones respecto a la media en el periodo de 1999-2014, mes de abril. Parte 2

4.2.2. Caudal

En la siguiente tabla se visualiza la variación de caudal que hay para los años del periodo 1999 al 2014 en el mes de abril para las estaciones Cuenca Pativilca-9, Cuenca Pativilca-2, Cuenca Marañon-2, tomando como referencia su respectivo caudal medio de dicho periodo.

Tabla 118: Precipitación media del nevado en cada cuenca en hectáreas en el periodo de 1999-2014, en el mes de abril

Mes	Cuenca Pativilca-9	Cuenca Pativilca-2	Cuenca Marañon-2
Q-promedio (l/s)	20.95	11.98	24.59

Tabla 119: Variación de precipitaciones del nevado en cada cuenca en hectáreas en el periodo de 1999-2014, en el mes de abril

Mes	Cuenca Pativilca-9	Cuenca Pativilca-2	Cuenca Marañón-2
1999-04	0.00	-0.06	-0.10
2000-04	0.03	-0.05	-0.15
2001-04	<u>0.24</u>	0.10	<u>-0.40</u>
2002-04	0.14	0.17	0.16
2003-04	<u>-0.21</u>	-0.12	-0.09
2004-04	<u>-0.37</u>	<u>-0.24</u>	<u>-0.30</u>
2005-04	<u>-0.36</u>	-0.15	<u>-0.57</u>
2006-04	<u>0.20</u>	<u>0.21</u>	<u>0.64</u>
2007-04	0.05	0.13	<u>0.24</u>
2008-04	-0.12	-0.09	0.11
2009-04	<u>0.28</u>	0.18	0.19
2010-04	<u>-0.28</u>	<u>-0.22</u>	-0.12
2011-04	0.10	0.05	0.09
2012-04	<u>0.26</u>	0.17	<u>0.70</u>
2013-04	-0.12	-0.09	-0.10

A continuación, se muestra en las figuras las variaciones de los caudales en un alineamiento de tiempo del 1999 al 2014 de los meses de abril. En los cuales se recalca con puntos de color rojo variaciones mayores o igual ± 0.20 o $\pm 20\%$ del caudal medio.

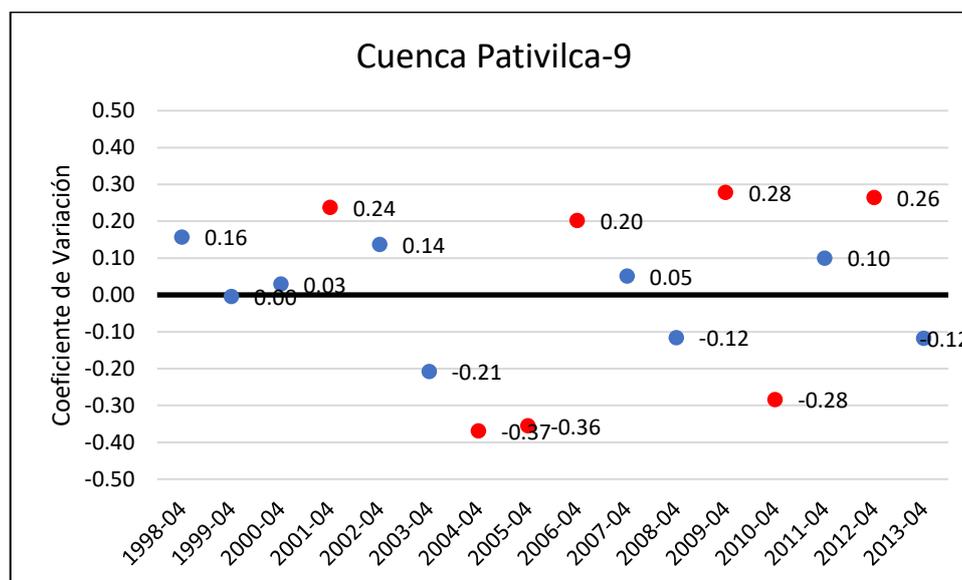


Figura 92: Variación de caudales respecto a la media en el periodo de 1999-2014 en la cuenca Pativilca-9

Se observa los caudales de Pativilca-9, con mayor variación positiva en los años 2001, 2006, 2009 y 2012; y con mayor variación negativa en los años 2004, 2005 y 2010.

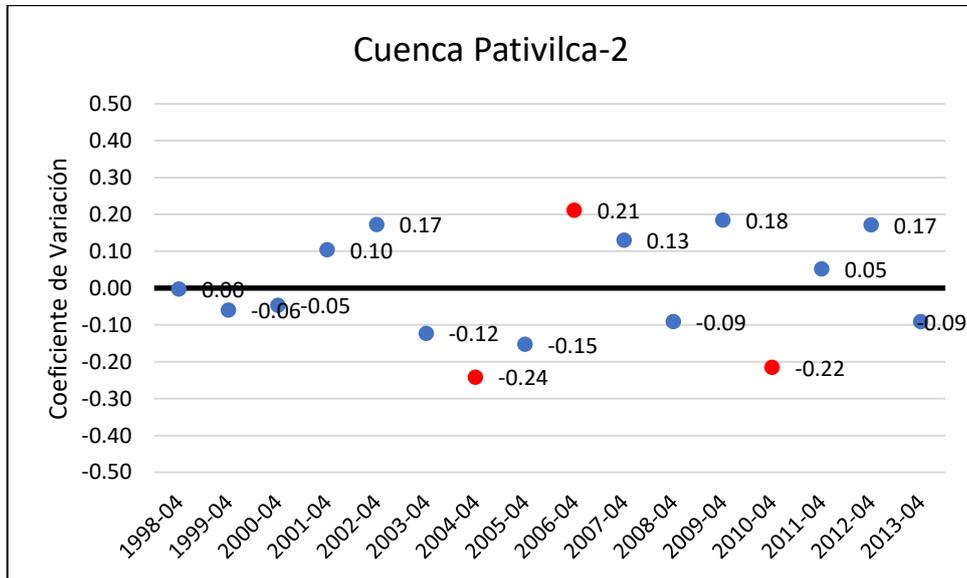


Figura 93: Variación de caudales respecto a la media en el periodo de 1999-2014 en la cuenca Pativilca-2

Se observa los caudales de Pativilca-2, con mayor variación positiva en los años 2006 y con mayor variación negativa en los años 2004 y 2010.

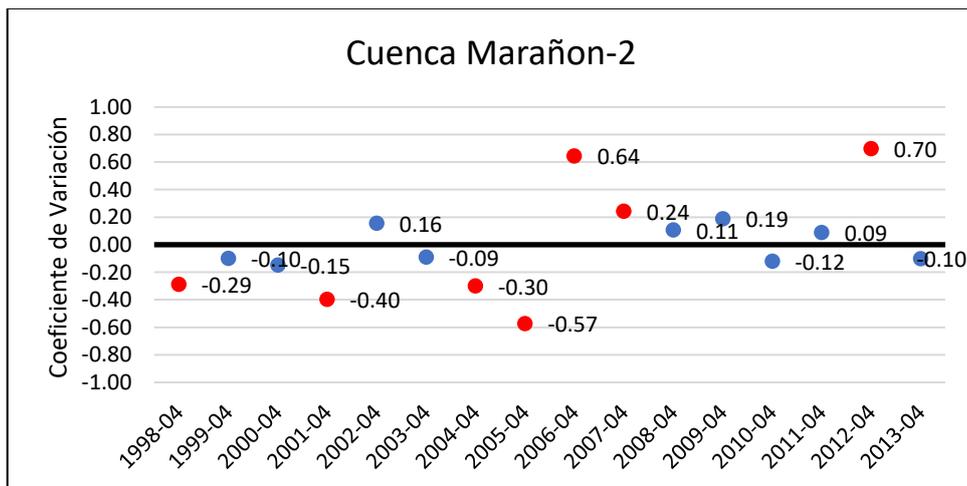


Figura 94: Variación de caudales respecto a la media en el periodo de 1999-2014 en la cuenca Marañon-2

Se observa los caudales de Marañon-2, con mayor variación positiva en los años 2006, 2007 y 2012; y con mayor variación negativa en los años 1998, 2001, 2004 y 2005.

4.2.3. Áreas de nevado

Tabla 120: Área media del nevado (hectáreas) para cuenca en el periodo de 1999-2014

Fecha	Cuenca Achin	Cuenca Rapay	Unidad Hidrografica 498999
Área-promedio	1928.86	2621.29	2217.42

Tabla 121: Variación de áreas del nevado para cada cuenca en el periodo de 1999-2014

Año	Cuenca Achin	Cuenca Rapay	Unidad Hidrografica 498999
1999	0.19	<u>0.26</u>	0.17
2001	<u>0.27</u>	<u>0.29</u>	<u>0.21</u>
2002	-0.12	-0.05	-0.06
2003	-0.06	0.00	-0.03
2004	-0.18	<u>-0.21</u>	-0.13
2005	-0.16	<u>-0.20</u>	-0.09
2006	-0.07	-0.02	-0.07
2007	-0.02	-0.05	0.00
2008	<u>0.21</u>	0.16	0.01
2009	0.18	<u>0.31</u>	0.05
2010	<u>-0.20</u>	<u>-0.25</u>	-0.06
2011	-0.13	-0.19	-0.11
2013	0.09	0.00	0.02
2014	-0.01	-0.03	-0.03

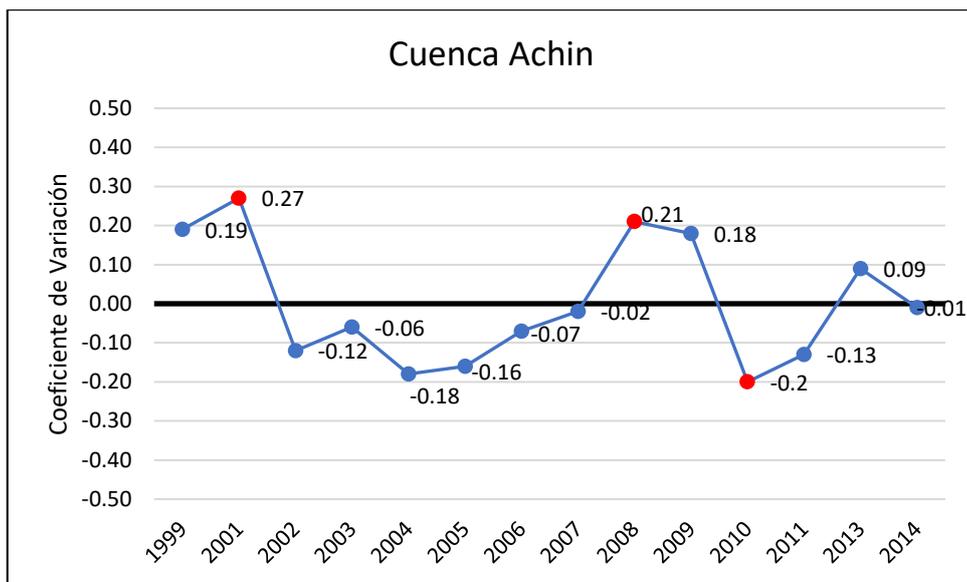


Figura 95: Variación de áreas respecto a la media en el periodo de 1999-2014 en la cuenca Achín

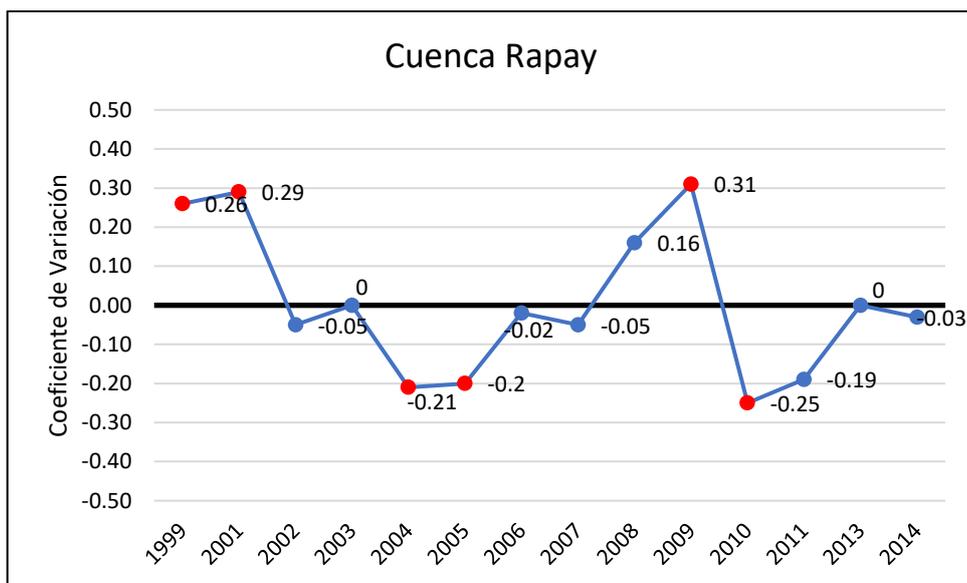


Figura 96: Variación de áreas respecto a la media en el periodo de 1999-2014 en la cuenca Rapay

Se observa la cuenca Achín y Rapay (vertiente Pativilca), con mayor variación positiva en los años 2001, 2008 y 2009; y con mayor variación negativa en los años 2004, 2005 y 2010.

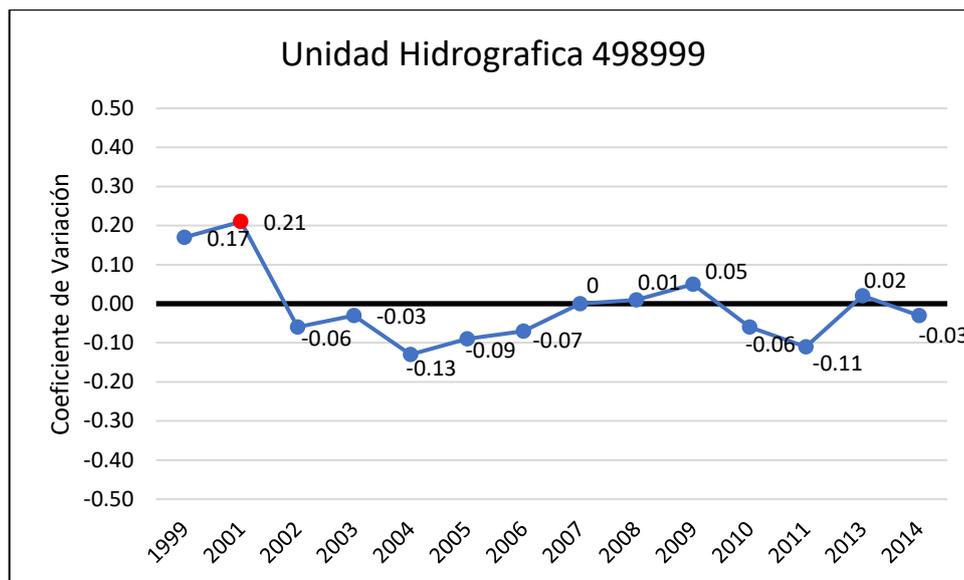


Figura 97: Variación de áreas respecto a la media en el periodo de 1999-2014 en la cuenca Unidad Hidrográfica 498999

Se observa la cuenca Unidad Hidrográfica 498999 (vertiente Marañón), con mayor variación positiva en el año 2001; y sin variación negativa significativa.

4.3. Correlación de la precipitación y caudales con la dinámica del nevado

A continuación, se presenta los resultados de correlación entre las variables de Área de nevado (hectáreas) con la variable de precipitación (milímetros) y caudal (litros por segundo); y también se anuncia la significancia de cada resultado de correlación. Para ello se planteó la siguiente hipótesis:

H0: Las dos variables son independientes

Ha: Las dos variables no son independientes (se encuentran relacionadas)

4.3.1. Área – precipitación

Nevado de la Cuenca Achín y estaciones G1

Tabla 122: Datos de Abril del Nevado de la Cuenca Achín (ha.) y estaciones G1 (mm.)

Fecha	Área (ha) Cuenca Achin	G1-V.PACIFICO-NORTE / PP(mm)		
		Est. Recuay	Est. Milpo	Est. Cotaparaco
1999-04	2299.32	104.30	82.20	40.80
2001-04	2450.37	48.20	28.10	40.60
2002-04	1688.71	58.80	87.90	84.60
2003-04	1809.88	66.20	160.30	35.80
2004-04	1588.56	84.60	114.10	33.40
2005-04	1628.31	69.90	96.00	20.40
2006-04	1797.60	141.60	220.20	62.80
2007-04	1891.02	173.30	291.90	51.40
2008-04	2342.42	72.00	99.30	36.10
2009-04	2274.80	121.20	233.40	55.90
2010-04	1536.62	85.40	19.20	19.30
2011-04	1678.59	125.40	95.70	38.77
2013-04	2092.93	74.00	256.50	55.14
2014-04	1902.08	99.90	141.05	43.39

Tabla 123: Análisis Estadístico del Nevado de la Cuenca Achín y estaciones G1

Nevado Cuenca Achin	Recuay	Milpo	Cotaparaco
Covarianza Sxy	-1131.85	2236.09	762.61
Desviación Sx	308.92	308.92	308.92
Desviación Sy	35.25	83.91	17.05
Coef. Correlación	-0.10	0.09	0.14
p-valor	0.72	0.77	0.62

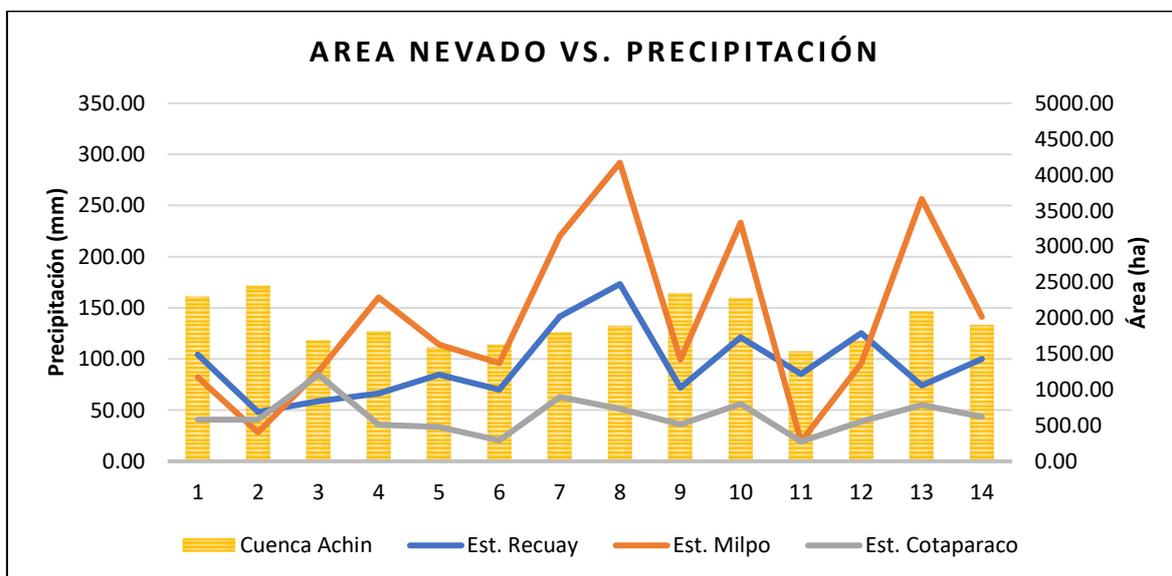


Figura 98: Comparación Nevado de la Cuenca Achín (ha.) y estaciones G1 (mm.)

– Nevado de la Cuenca Achín y estaciones G2

Tabla 124: Datos de Abril del Nevado de la Cuenca Achín y estaciones G2.v2

Fecha	Área (ha)	G1-V.PACIFICO-NORTE / PP(mm)		
	Cuenca Achin	Est. Mayorarca	Est. Chiquián	Est. Cajatambo
1999-04	2299.32	37.90	39.20	55.50
2001-04	2450.37	40.50	36.60	40.60
2002-04	1688.71	77.80	83.40	95.80
2003-04	1809.88	45.20	69.00	39.30
2004-04	1588.56	43.10	36.70	45.00
2005-04	1628.31	15.00	50.50	17.00
2006-04	1797.60	65.70	99.00	118.40
2007-04	1891.02	72.20	119.20	88.50
2008-04	2342.42	21.80	71.00	51.60
2009-04	2274.80	57.40	105.80	80.80
2010-04	1536.62	40.80	47.20	36.50
2011-04	1678.59	51.10	97.50	102.00
2013-04	2092.93	20.70	27.50	31.90
2014-04	1902.08	27.20	7.00	59.00

Tabla 125: Análisis estadístico del Nevado de la Cuenca Achín y estaciones G2.v2

Nevado Cuenca Achin	Mayorarca	Chiquián	Cajatambo
Covarianza Sxy	-1205.99	-844.46	-827.32
Desviación Sx	308.92	308.92	308.92
Desviación Sy	19.33	33.68	30.36
Coef. Correlación	-0.20	-0.08	-0.09
p-valor	0.49	0.78	0.76

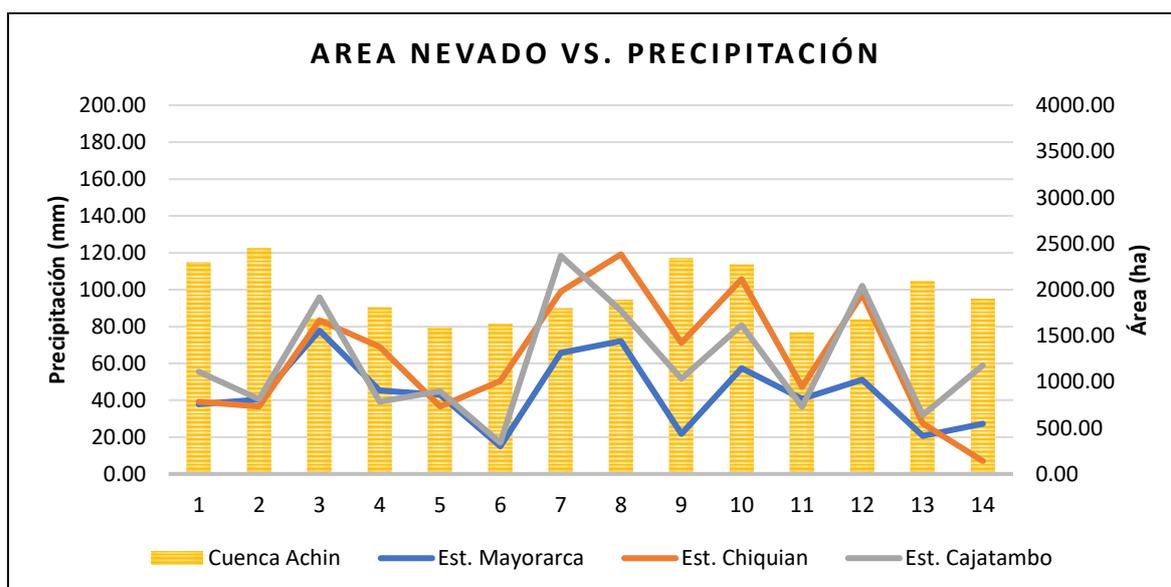


Figura 99: Comparación Nevado de la Cuenca Achín (ha.) y estaciones G2.v2 (mm.)

– Nevado de la Cuenca Rapay y estaciones G2.v2

Tabla 126: Datos de Abril del Nevado de la Cuenca Rapay y estaciones G2.v2

Fecha	Área (ha) Cuenca Rapay	G2-V.PACIFICO-NORTE / PP(mm)		
		Est. Mayorarca	Est. Chiquián	Est. Cajatambo
1999-04	3298.44	37.90	39.20	55.50
2001-04	3386.43	40.50	36.60	40.60
2002-04	2479.68	77.80	83.40	95.80
2003-04	2629.66	45.20	69.00	39.30
2004-04	2076.15	43.10	36.70	45.00
2005-04	2091.50	15.00	50.50	17.00
2006-04	2564.13	65.70	99.00	118.40
2007-04	2479.86	72.20	119.20	88.50
2008-04	3044.52	21.80	71.00	51.60
2009-04	3427.00	57.40	105.80	80.80
2010-04	1973.00	40.80	47.20	36.50
2011-04	2126.31	51.10	97.50	102.00
2013-04	2614.13	20.70	27.50	31.90
2014-04	2537.86	27.20	7.00	59.00

Tabla 127: Análisis estadístico del Nevado de la Cuenca Rapay y estaciones G2.v2

Nevado Cuenca Achin	Mayorarca	Chiquián	Cajatambo
Covarianza Sxy	43.78	595.70	641.60
Desviación Sx	493.48	493.48	493.48
Desviación Sy	19.33	33.68	30.36
Coef. Correlación	0.00	0.04	0.04
p-valor	0.99	0.90	0.88

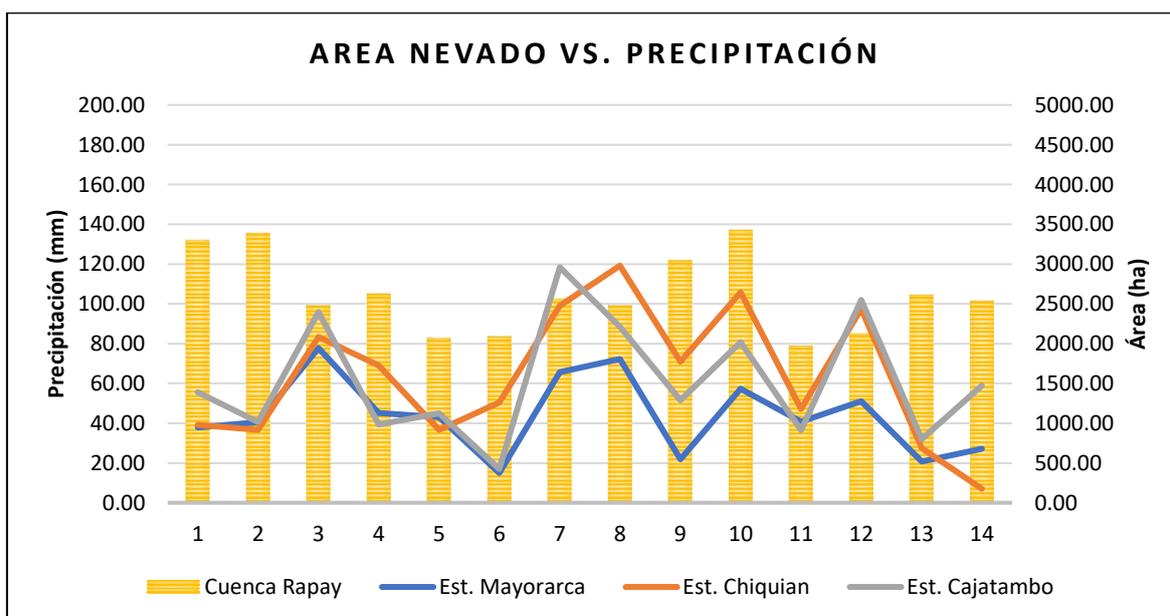


Figura 100: Comparación Nevado de la Cuenca Rapay (ha.) y estaciones G2.v2 (mm.)

– Nevado de la Cuenca Rapay y estaciones G3

Tabla 128: Datos de Abril del Nevado de la Cuenca Rapay y estaciones G2.v2

Fecha	G3-V.PACIFICO-SUR / PP(mm)		
	Área (ha) Cuenca Rapay	Est. Oyón	Est. Andájes
1999-04	3298.44	52.60	31.10
2001-04	3386.43	33.90	36.00
2002-04	2479.68	45.50	64.90
2003-04	2629.66	37.00	40.90
2004-04	2076.15	37.24	27.70
2005-04	2091.50	9.50	2.40
2006-04	2564.13	93.39	94.80
2007-04	2479.86	55.20	73.80
2008-04	3044.52	49.90	35.20
2009-04	3427.00	78.10	71.50
2010-04	1973.00	29.90	37.50
2011-04	2126.31	63.40	48.60
2013-04	2614.13	22.10	12.50
2014-04	2537.86	29.00	36.60

Tabla 129: Análisis estadístico del Nevado de la Cuenca Rapay y estaciones G2.v2

Nevado Cuenca Rapay	Oyón	Andájes
Covarianza Sxy	3557.81	2090.95
Desviación Sx	493.48	493.48
Desviación Sy	22.32	24.94
Coef. Correlación	0.32	0.17
p-valor	0.26	0.56

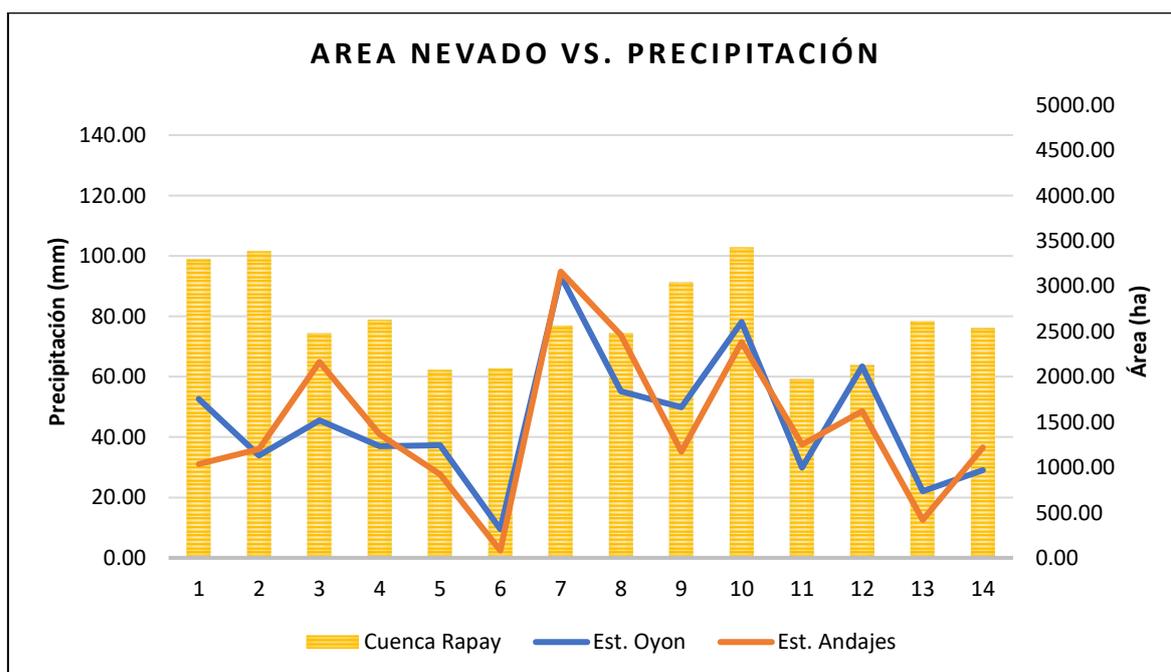


Figura 101: Comparación Nevado de la Cuenca Rapay (ha.) y estaciones G3 (mm.)

– Nevado de la Unidad Hidrográfica 498999 y estaciones G4

Tabla 130: Datos de abril del nevado de la Unidad Hidrográfica 498999 y las estaciones meteorológicas G4

Fecha	Área (ha) Unidad Hidrográfica 498999	G4-v. Amazónico-centro / pp(mm)		
		San Rafael	Huánuco	Canchan
1999-04	2600.48	42.80	27.77	27.01
2001-04	2691.41	72.10	56.85	47.45
2002-04	2090.20	38.60	69.33	57.25
2003-04	2144.40	101.40	30.60	39.77
2004-04	1933.14	53.50	31.25	18.20
2005-04	2018.74	58.77	12.21	14.10
2006-04	2069.36	54.20	38.61	33.80
2007-04	2208.21	47.40	35.83	22.60
2008-04	2248.60	35.40	36.31	48.20
2009-04	2322.62	44.00	57.20	71.00
2010-04	2094.45	78.32	19.00	29.90
2011-04	1977.47	53.44	43.92	31.40
2013-04	2266.10	71.41	33.60	49.60
2014-04	2152.87	44.51	43.11	42.70

Tabla 131: Análisis estadístico del nevado de la Unidad Hidrográfica 498999 y las estaciones meteorológicas G4

Nevado Unid. Hidrográfica 498999	San Rafael	Huánuco	Canchan
Covarianza Sxy	-28.67	841.34	1190.57
Desviación Sx	218.89	218.89	218.89
Desviación Sy	18.23	15.25	15.84
Coef. Correlación	-0.01	0.25	0.34
p-valor	0.98	0.38	0.23

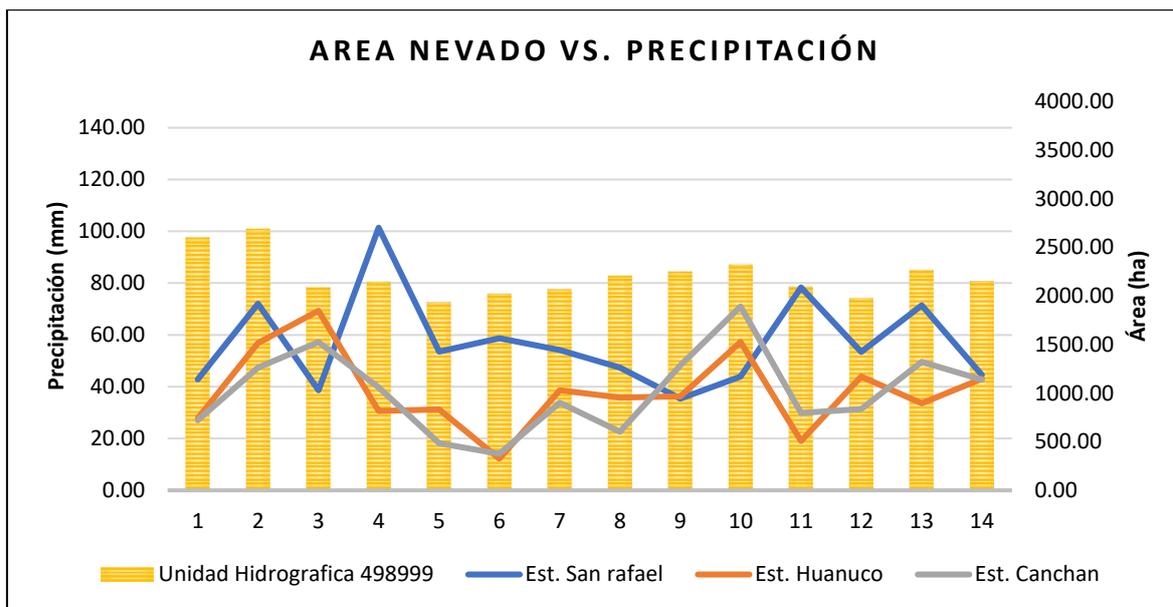


Figura 102: Comparación Nevado de la Unid. Hidrográfica 498999 (ha.) y estaciones G4 (mm.)

Como se observa en los resultados, para todas las pruebas de Área-Precipitación los coeficientes de correlación son muy bajas, próximas a cero; las cuales dieron a entender su baja correlación entre las variables aprobando la hipótesis nula “H0: Las dos variables son independientes”. Por otro lado, el p-valor o significancia son valores que sobrepasan el 0.05, indicando que se rechaza la prueba de correlación por falta de información.

4.3.2. Área – caudal

Tabla 132: Datos de abril del área de nevado y caudales de cauces

Fecha	Área (ha)			Caudales (l/s)		
	Cuenca Achín	Cuenca Rapay	Unidad Hidrográfica 498999	Cauce Pativilca-9	Cauce Pativilca-2	Cauce Marañon-2
1999-04	2299.32	3298.44	2600.48	20.86	10.73	22.50
2001-04	2450.37	3386.43	2691.41	25.93	14.16	31.44
2002-04	1688.71	2479.68	2090.20	23.83	15.60	27.84
2003-04	1809.88	2629.66	2144.40	16.60	9.41	22.69
2004-04	1588.56	2076.15	1933.14	13.21	6.91	18.28
2005-04	1628.31	2091.50	2018.74	13.50	8.78	19.49
2006-04	1797.60	2564.13	2069.36	25.17	16.40	38.07
2007-04	1891.02	2479.86	2208.21	22.02	14.71	29.69
2008-04	2342.42	3044.52	2248.60	18.53	10.08	26.81
2009-04	2274.80	3427.00	2322.62	26.77	15.85	28.52
2010-04	1536.62	1973.00	2094.45	15.00	7.46	22.07
2011-04	1678.59	2126.31	1977.47	23.05	13.07	26.45
2013-04	2092.93	2614.13	2266.10	18.49	10.08	22.45

Tabla 133: Análisis Estadístico del área de nevado y caudales de cauces

	Área (ha)	Caudales (l/s)	Área (ha)	Caudales (l/s)	Área (ha)	Caudales (l/s)
	1*	2*	3*	4*	5*	6*
	Cuenca Rapay	Cuenca Pativilca-9	Cuenca Achin	Cauce Pativilca-2	Unidad Hidrografica 498999	Cauce Marañon-2
Covarianza Sxy		1471.82		321.34		281.79
Desviación Sx		512.99		321.45		227.36
Desviación Sy		4.70		3.32		5.42
Coef. Correlación		0.61		0.30		0.23
p-valor		0.03		0.32		0.45

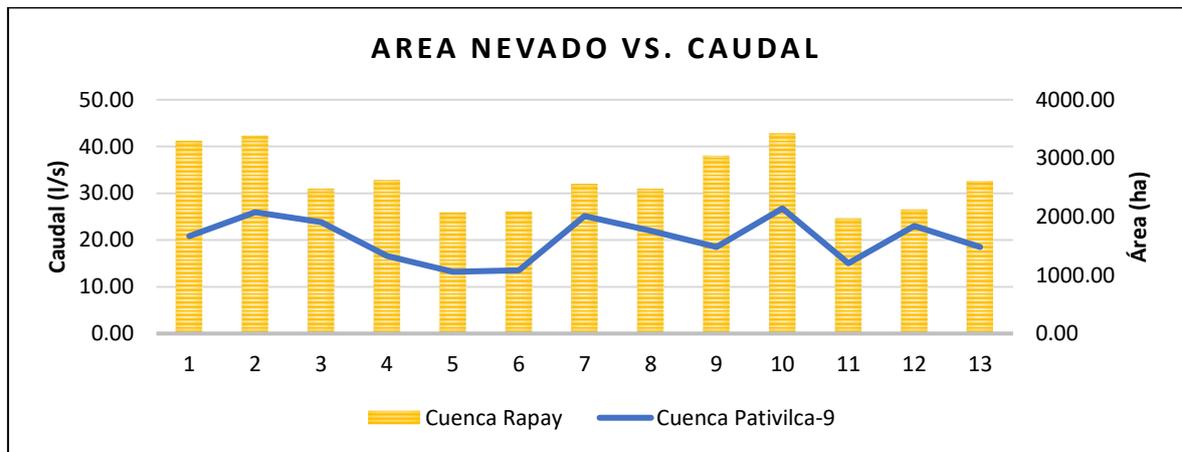


Figura 103: Comparación Nevado de la Rapay (ha.) y estaciones Pativilca-9 (l/s.)

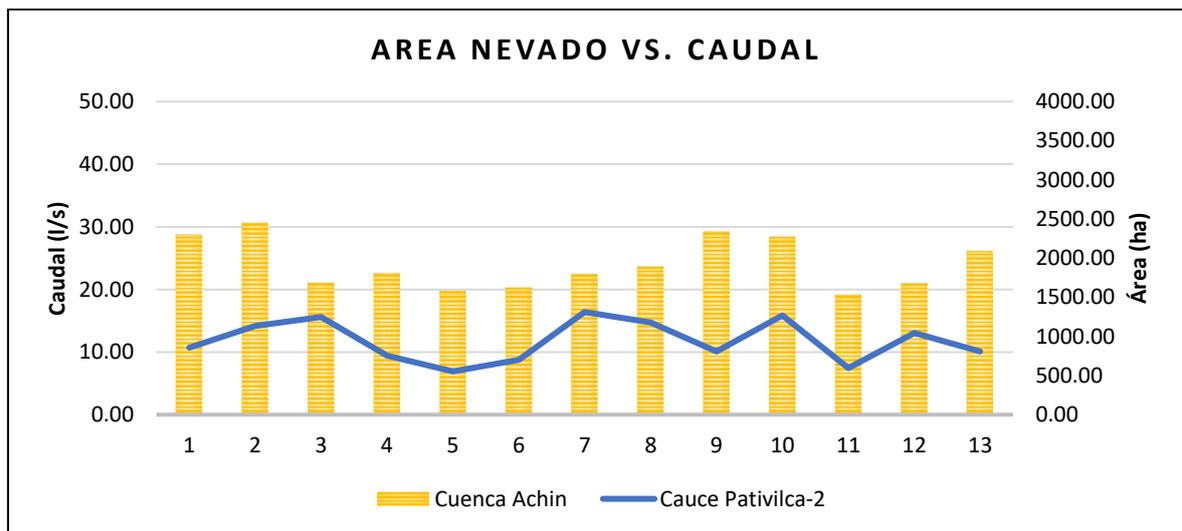


Figura 104: Comparación Nevado de la Achín (ha.) y estaciones Pativilca-2 (l/s.)

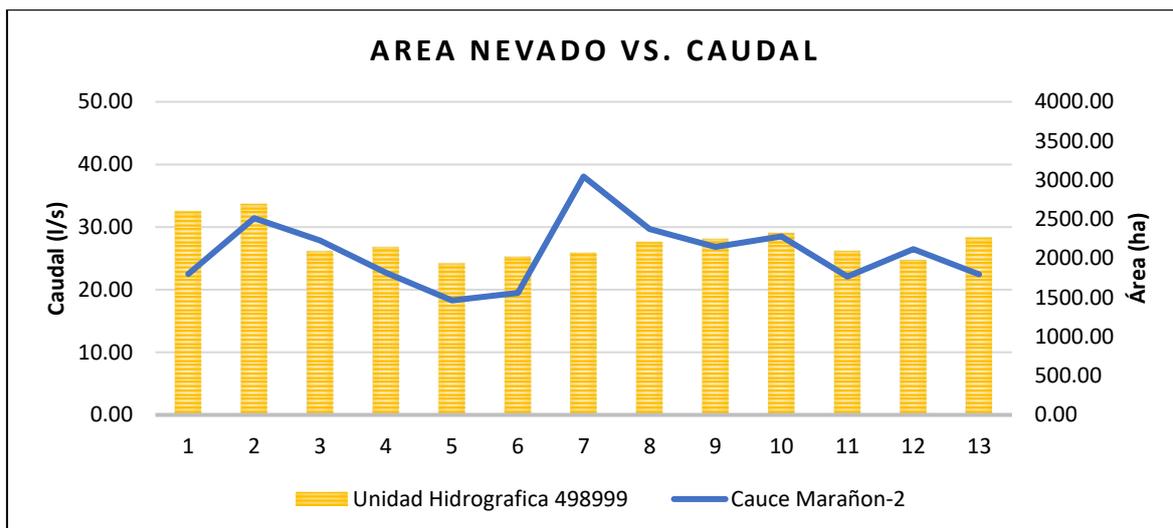


Figura 105: Comparación Nevado de la Unid. Hidrografica 498999 (ha.) y estaciones Marañon (l/s.)

Como se observa en los resultados, las pruebas de Área-Precipitación los coeficientes de correlación son muy bajas; próximas a cero, para las relaciones 3*- 4* y 5*-6*; las cuales dieron a entender su baja correlación entre las variables aprobando la hipótesis nula “H0: Las dos variables son independientes”. Por otro lado, el p-valor o significancia son valores que sobrepasan el 0.05, indicando que se rechaza la prueba de correlación por falta de información. Con respecto a la relación 1*-2* el coeficiente de correlación es alta y positiva(directa), aprobando la hipótesis alternativa “Ha: Las dos variables no son independientes”. Adicionalmente, el p-valor o significancia es menor a 0.05, indicando que se acepta la prueba de correlación al contar con suficiente de información.

V. CONCLUSIONES

- La serie de datos de precipitación que son consistentes fueron las estaciones: San Rafael, Huánuco, Canchan, Oyón, Andájes, Mayorarca, Chiquián, Cajatambo, Recuay, Milpo y Cotaparaco bajo la prueba T-student, Prueba F, D.E.D. menores a 0.37 y Correlación a 0.62; por otro, lado las series que mantuvieron inconsistencia fueron: Ocros, Pampa libre y Gorgor.
- La mayor variación observada de área con respecto a la media en el periodo de 1999 al 2014 fue en los años 2001 y 2010 de manera positiva y negativa respectivamente. Dicha variación fue en el año 2001 de 0.27 en la cuenca Achín, 0.29 en la cuenca Rapay y 0.21 en la unidad Hidrográfica 498999; y el año 2010 de -0.20 en la cuenca Achín y -0.25 en la cuenca Rapay.
- La mayor variación observada de Precipitación con respecto a la media en el periodo de 1999 al 2014 fue para las estaciones del Oeste norte (G1) en el año 2001 (-0.51) y 2007 (0.77) para la estación Recuay; en los años 2010(-0.86) y 2012(2.15) en la estación Milpo y en el 2002 (0.97) y 2010 (-0.55) para la estación Cotaparaco; por otro lado para las estaciones del Oeste centro (G2) en el año 2005 (-0.66) y 2012 (0.84) para la estación Mayorarca; 2007 (0.93) y 2014 (-0.89) para la estación Chiquián; y, 2006 (0.96) y 2005 (-0.72) para la estación Cajatambo; por otro lado para las estaciones del Oeste sur (G3) en el año 2005 (-0.81) y 2012 (1.33) para la estación Oyón; y, 2006 (1.20) y 2005 (-0.94) para la estación Andájes; por último para las estaciones del Este (G4) en el año 2012 (0.93) para la estación San Rafael; en el año 2005(-0.69) y 2012(0.92) para la estación Huánuco; y en el año 2005 (-0.63) y 2009 (0.85) para la estación Canchan.

- La mayor variación observada de Caudal con respecto a la media en el periodo de 1999 al 2014 fue para la estación de la cuenca Pativilca-9 2009 (0.28) y 2004 (-0.37), para la estación de la cuenca Pativica-2 2006 (0.21) y 2004 (-0.24); y para la estación de la cuenca Marañón -2 2012(0.70) y 2005 (-0.57).
- Tras la evaluación de correlación entre los datos temporales, se concluye que; los datos de precipitación y caudal no mantiene dependencia a la serie temporal de las áreas del nevado ya que según su correlación determinada presenta valores 0.61 y con un bajo nivel de significancia al ser los “p-valor” mayores a 0.05.

VI. RECOMENDACIONES

- Al obtener una significancia muy alta ($p\text{-valor}>0.05$), se recomienda realizar seguimiento a la correlación de datos climáticos (precipitación y caudal) con periodos más amplios (mayores a 15 años) para obtener una prueba estadística de mejor calidad ($p\text{-valor}<0.05$).
- Se recomienda realizar esta metodología en distintos meses del año, con la finalidad de obtener resultados más representativos y discutir sus resultados. Sin embargo, se destaca que los meses que se limita su investigación por percepción remota, son el periodo de noviembre a marzo, ya que su densidad de nubes es muy alta y no permite la visibilidad de la nieve.
- Se recomienda para próximos trabajos la consideración de estaciones más próximas al nevado en estudio ($< 20\text{km}$ de distanciamiento); ya que podrían dar resultados de mayor relación entre las variables climáticas y el nevado en las pruebas estadísticas.
- Recomiendo a las próximas investigaciones, mantener la evaluación de consistencia por el método de pruebas estadísticas como t student y Fisher; como también por el método de vector regional a través del HIDRACCESS. Ya que permite entender mejor la calidad, la identificación de errores a corregir y la relación de sus datos.
- Se recomienda mantener el descarte de las estaciones de precipitación que no mantienen relación con las otras ($DED>0.35$); ya que no son útiles para el completado de datos de las otras estaciones y a su vez no representan el clima de la zona.

- Para el manejo de las imágenes satelitales, recomiendo trabajar la integración de las imágenes con menor % de ruido ($<1\%$) de al menos 5 años distintos proporcionalmente distribuidas en el periodo de estudio, para realizar la identificación de nieve cubierta por nube.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Andrés, M. (s.f.). Introducción al análisis de series temporales. Universidad Carlos III de Madrid. España. Madrid. Recuperado de <http://hal.uc3m.es/esp/Personal/personas/amalonso/esp/seriestemporales.pdf>

Autoridad Nacional del Agua. (2014). Inventario nacional de glaciares y lagunas. Perú. Huaraz. Recuperado de <http://www.ana.gob.pe/media/982508/glaciares.pdf>

Autoridad Nacional del Agua. (2018). Unidades Hidrográficas. Perú. Recuperado de <http://geo2.ana.gob.pe:8080/geonetwork/srv/spa/catalog.search;jsessionid=CD7C569CA863C893023077389042D936#/metadata/43e6b30c-88ec-4bea-b680-94d3a2e7ec6a>

Barradas Ruiz, A.; Tejada Martínez, A. (2007). Variabilidad Climática y Teleconexiones. Una revisión bibliográfica. Recuperado de <http://www.mendeley.com/research/variabilidad-climática-y-teleconexiones-una-revisión-bibliográfica>

British Broadcasting Corporation. (2013). El rápido derretimiento de los glaciares de los andes. Mundo - America Latina. Recuperado de https://www.bbc.com/mundo/noticias/2023/02/230223_glaciares_andes_derretimiento_estudio_aw

Calizaya, E. (2028). Modelamiento de la desglaciación de los nevados de la cuenca del río Santa y su impacto en los recursos hídricos. s.l., Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú. 2-275 p.

- Cerna, M. (2012). Cuantificación del cambio de volumen de los glaciares de la cordillera blanca utilizando los modelos de elevación digital topográficos y de imágenes Aster: nevados Champará y Huascarán. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Físicas. Lima, Perú.
- Chua, A. (2017). Desarrollo y calibración de un sistema informático para el análisis de tormentas, máximas avenidas y generación de lluvia escorrentía. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ingeniería Agrícola. Lima. Perú.
- Coaquira, Y. (2018). Análisis comparativo de precipitaciones medias mensuales, utilizando datos de Satélite TRMM y estaciones meteorológicas en la cuenca Huancané – Puno. Universidad Nacional del Altiplano. Facultad de Ingeniería Agrícola. Perú. Puno
- Diego, J. (2008). Cambio climático, adaptación y retroceso de glaciares. Revista Virtual Redesma- Red de desarrollo sostenible y medio ambiente. Marthadina Mendizabel. Octubre 2008 Vol. 2(3).
- Espinoza, J. (2005). El método del vector regional de índices pluviométricos. Manual del curso taller: Utilización del método del Vector Regional con HYDRACCESS. SENAMHI – Perú. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/273243246/El-Metodo-del-Vector-Regional-de-indices-pluviometricos>
- EWATER. (s.f.). SOFTWARE TREND. Recuperado de <https://toolkit.ewater.org.au/trend>
- Flores, R. (2016). Modelamiento geoespacial para la determinación del grado de vulnerabilidad, distrito Leimebamba – Amazonas. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.
- Frederic R. (1997). Influencia de El Niño sobre los regimenes hidro - pluviométricos del Ecuador. Ecuador. Quito. Recuperado de <http://cidbimena.desastres.hn/pdf/spa/doc10165/doc10165.htm>

- Fuentes, S. (s.f.). SERIES TEMPORALES. Universidad Autónoma de Madrid. España. Madrid. Recuperado de [http://www.estadistica.net/ECONOMETRIA/SERIES-TEMPORALES /modelo-clasico.pdf](http://www.estadistica.net/ECONOMETRIA/SERIES-TEMPORALES/modelo-clasico.pdf)
- Gallego Gómez, J.L. (2008). Análisis de series temporales. LADE y LE, 2 (Análisis temporal), 222–228. Recuperado de [https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2285 /course/section/2583/tema8.pdf](https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2285/course/section/2583/tema8.pdf)
- HYBAM. (2018). SOFTWARE HYDRACCESS. Recuperado de <http://www.sohybam.org/index.php/esl/Software>
- IGN. (2021). DESCARGAS. Recuperado de <http://www.idep.gob.pe/>
- Inocente, F.; Gonzales, J. (2017). Análisis del efecto del calentamiento global en la desglaciación al suroeste del Nevado Yerupajá – Huayhuash. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Perú. Huacho.
- Lavado, W., Luna, E. (2015). Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenca Jetepeque, Perú. Revista Tecnológica ESPOL – RTE, Vol. 28, N. 3, 42-52.
- Medina, G.; Mejía, A. (2013). Análisis multitemporal y multifractal de la desglaciación de la cordillera parón en los andes de Perú. Ecología Aplicada. Departamento Académico de Biología. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú. La Molina.
- Ministerio de Educación. (2016). 8 Regiones Naturales del Perú. Perú. Recuperado de <https://i.pinimg.com/originals/19/ee/b2/19eeb20a4cac5cd4159b9f4b2d55b3f8.jpg>
- Ministerio del Ambiente. (2014). PROTOCOLO: ORTORECTIFICACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT. Biblioteca Nacional del Perú N° 2014 – 02807. 32 p.
- Molinero, L.M. (2004). Análisis de series temporales. LADE y LE (Vol. 2, pp. 222–228). Recuperado de <http://www.seh-lilha.org/tseries.htm>

- Montealegre, J.; Pabon, J. (2000). La Variabilidad Climática Interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña–Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. Meteorol. Colomb. 2:7-22. ISSN 0224-6984. Bogotá, D.C. – Colombia.
- Ortega, G. (2018). NEVADOS ECUATORIANOS DESAPARECEN A CAUSA DEL CAMBIO CLIMÁTICO. France 24. Colombia. Recuperado de <https://www.france24.com/es/20282204-nevados-ecuador-desaparecen-cambio-climatico>
- Pabón, J.D. (s.f.). Variabilidad climática en la América Tropical. Universidad Nacional de Colombia - Departamento de Geografía. Colombia. Recuperado de http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcasp/clips/modules/documents/pabon_variabilidad_climatica.ppt
- Raimondi, F. (2011). EMPRESA RAURA PERFORANDO GLACIAR DENTRO LA ZONA RESERVADA LA CORDILLERA HUAYHUASH. Perú. Huaraz. Recuperado de <https://cdhuayhuash.org/publicaciones>
- Ramón, G. (sf.). Correlación entre variables. Apuntes del curso de seminario Investigativo VI. Universidad de Antioquia. Colombia.
- Ramos, R. (2018). EVOLUCIÓN DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO COROPUNA Y SU RELACIÓN CON EL ENTORNO CLIMÁTICO. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú. La Molina.
- SENAMHI. (2018). ESTUDIO DE LA FRECUENCIA DE NEVADAS EN EL PERÚ. Perú. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-46.pdf>
- SERNANP. (2019). RESERVA NACIONAL DE HUAYHUASH. Perú. Recuperado de www.sernanp.gob.pe
- Villardón, G. (2013). Cursos online Masivos y Abiertos. Universidad de Salamanca. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=ZQb7wjzbfds>

Villón, M. (2004). Hidrología. (Tecnológica de Costa Rica, Ed.) (Editorial). Lima Perú.
Retrieved from <https://es.scribd.com/doc/312660908/HIDROLOGIA-Ing-Maximo-Villon-Bejar-pdf>

Veettil, B.; Atilio, G.; Ulisses, F. (2016). UN ANÁLISIS COMPARATIVO DEL RETROCESO GLACIAR EN LOS ANDES TROPICALES USANDO TELEDETECCIÓN. Noviembre.

VIII. ANEXOS

Cuadro de Distribución F de Fisher

Grados de libertad del denominador	alfa =	Grados de libertad del numerador													
	0.05	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	60	100	10000
1	161.450	199.500	215.710	224.580	230.160	233.990	236.770	238.880	240.540	241.880	248.020	252.200	253.040	254.300	
2	18.5130	19.0000	19.1640	19.2470	19.2960	19.3290	19.3530	19.3710	19.3850	19.3960	19.4460	19.4790	19.4860	19.4960	
3	10.1280	9.5521	9.2766	9.1172	9.0134	8.9407	8.8867	8.8452	8.8123	8.7855	8.6602	8.5720	8.5539	8.5267	
4	7.7086	6.9443	6.5914	6.3882	6.2561	6.1631	6.0942	6.0410	5.9988	5.9644	5.8025	5.6878	5.6640	5.6284	
5	6.6079	5.7861	5.4094	5.1922	5.0503	4.9503	4.8759	4.8183	4.7725	4.7351	4.5581	4.4314	4.4051	4.3654	
6	5.9874	5.1432	4.7571	4.5337	4.3874	4.2839	4.2067	4.1468	4.0990	4.0600	3.8742	3.7398	3.7117	3.6693	
7	5.5915	4.7374	4.3468	4.1203	3.9715	3.8660	3.7871	3.7257	3.6767	3.6365	3.4445	3.3043	3.2749	3.2302	
8	5.3176	4.4590	4.0662	3.8379	3.6875	3.5806	3.5005	3.4381	3.3881	3.3472	3.1503	3.0053	2.9747	2.9281	
9	5.1174	4.2565	3.8625	3.6331	3.4817	3.3738	3.2927	3.2296	3.1789	3.1373	2.9365	2.7872	2.7556	2.7072	
10	4.9646	4.1028	3.7083	3.4780	3.3258	3.2172	3.1355	3.0717	3.0204	2.9782	2.7740	2.6211	2.5884	2.5384	
11	4.8443	3.9823	3.5874	3.3567	3.2039	3.0946	3.0123	2.9480	2.8962	2.8536	2.6464	2.4901	2.4566	2.4050	
12	4.7472	3.8853	3.4903	3.2592	3.1059	2.9961	2.9134	2.8486	2.7964	2.7534	2.5436	2.3842	2.3498	2.2967	
13	4.6672	3.8056	3.4105	3.1791	3.0254	2.9153	2.8321	2.7669	2.7144	2.6710	2.4589	2.2966	2.2614	2.2070	
14	4.6001	3.7389	3.3439	3.1122	2.9582	2.8477	2.7642	2.6987	2.6458	2.6022	2.3879	2.2229	2.1870	2.1313	
15	4.5431	3.6823	3.2874	3.0556	2.9013	2.7905	2.7066	2.6408	2.5876	2.5437	2.3275	2.1601	2.1234	2.0664	
16	4.4940	3.6337	3.2389	3.0069	2.8524	2.7413	2.6572	2.5911	2.5377	2.4935	2.2756	2.1058	2.0685	2.0102	
17	4.4513	3.5915	3.1968	2.9647	2.8100	2.6987	2.6143	2.5480	2.4943	2.4499	2.2304	2.0584	2.0204	1.9610	
18	4.4139	3.5546	3.1599	2.9277	2.7729	2.6613	2.5767	2.5102	2.4563	2.4117	2.1906	2.0166	1.9780	1.9175	
19	4.3808	3.5219	3.1274	2.8951	2.7401	2.6283	2.5435	2.4768	2.4227	2.3779	2.1555	1.9795	1.9403	1.8787	
20	4.3513	3.4928	3.0984	2.8661	2.7109	2.5990	2.5140	2.4471	2.3928	2.3479	2.1242	1.9464	1.9066	1.8438	
21	4.3248	3.4668	3.0725	2.8401	2.6848	2.5727	2.4876	2.4205	2.3661	2.3210	2.0960	1.9165	1.8761	1.8124	
22	4.3009	3.4434	3.0491	2.8167	2.6613	2.5491	2.4638	2.3965	2.3419	2.2967	2.0707	1.8894	1.8486	1.7838	
23	4.2793	3.4221	3.0280	2.7955	2.6400	2.5277	2.4422	2.3748	2.3201	2.2747	2.0476	1.8648	1.8234	1.7577	
24	4.2597	3.4028	3.0088	2.7763	2.6207	2.5082	2.4226	2.3551	2.3002	2.2547	2.0267	1.8424	1.8005	1.7338	
25	4.2417	3.3852	2.9912	2.7587	2.6030	2.4904	2.4047	2.3371	2.2821	2.2365	2.0075	1.8217	1.7794	1.7117	
26	4.2252	3.3690	2.9752	2.7426	2.5868	2.4741	2.3883	2.3205	2.2655	2.2197	1.9898	1.8027	1.7599	1.6913	
27	4.2100	3.3541	2.9603	2.7278	2.5719	2.4591	2.3732	2.3053	2.2501	2.2043	1.9736	1.7851	1.7419	1.6724	
28	4.1960	3.3404	2.9467	2.7141	2.5581	2.4453	2.3593	2.2913	2.2360	2.1900	1.9586	1.7689	1.7251	1.6548	
29	4.1830	3.3277	2.9340	2.7014	2.5454	2.4324	2.3463	2.2782	2.2229	2.1768	1.9446	1.7537	1.7096	1.6384	
30	4.1709	3.3158	2.9223	2.6896	2.5336	2.4205	2.3343	2.2662	2.2107	2.1646	1.9317	1.7396	1.6950	1.6230	
40	4.0847	3.2317	2.8387	2.6060	2.4495	2.3359	2.2490	2.1802	2.1240	2.0773	1.8389	1.6373	1.5892	1.5098	
50	4.0343	3.1826	2.7900	2.5572	2.4004	2.2864	2.1992	2.1299	2.0733	2.0261	1.7841	1.5757	1.5249	1.4392	
60	4.0012	3.1504	2.7581	2.5252	2.3683	2.2541	2.1665	2.0970	2.0401	1.9926	1.7480	1.5343	1.4814	1.3903	
70	3.9778	3.1277	2.7355	2.5027	2.3456	2.2312	2.1435	2.0737	2.0166	1.9689	1.7223	1.5046	1.4498	1.3540	
80	3.9604	3.1108	2.7188	2.4859	2.3287	2.2142	2.1263	2.0564	1.9991	1.9512	1.7032	1.4821	1.4259	1.3259	
90	3.9469	3.0977	2.7058	2.4729	2.3157	2.2011	2.1131	2.0430	1.9856	1.9376	1.6883	1.4645	1.4070	1.3032	
100	3.9362	3.0873	2.6955	2.4626	2.3053	2.1906	2.1025	2.0323	1.9748	1.9267	1.6764	1.4504	1.3917	1.2845	
200	3.8884	3.0411	2.6498	2.4168	2.2592	2.1441	2.0556	1.9849	1.9269	1.8783	1.6233	1.3856	1.3206	1.1903	
300	3.8726	3.0258	2.6347	2.4017	2.2441	2.1288	2.0402	1.9693	1.9112	1.8623	1.6057	1.3634	1.2958	1.1521	
400	3.8648	3.0183	2.6272	2.3943	2.2366	2.1212	2.0325	1.9616	1.9033	1.8544	1.5969	1.3522	1.2831	1.1303	
500	3.8601	3.0138	2.6227	2.3898	2.2320	2.1167	2.0279	1.9569	1.8986	1.8496	1.5916	1.3455	1.2753	1.1159	
600	3.8570	3.0107	2.6198	2.3868	2.2290	2.1137	2.0248	1.9538	1.8955	1.8465	1.5881	1.3410	1.2701	1.1055	
700	3.8548	3.0086	2.6176	2.3847	2.2269	2.1115	2.0226	1.9516	1.8932	1.8442	1.5856	1.3377	1.2664	1.0976	
800	3.8531	3.0070	2.6160	2.3831	2.2253	2.1099	2.0210	1.9500	1.8916	1.8425	1.5837	1.3353	1.2635	1.0912	
900	3.8518	3.0057	2.6148	2.3818	2.2240	2.1086	2.0197	1.9487	1.8903	1.8412	1.5822	1.3334	1.2613	1.0861	
1000	3.8508	3.0047	2.6138	2.3808	2.2231	2.1076	2.0187	1.9476	1.8892	1.8402	1.5811	1.3318	1.2596	1.0818	
1500	3.8477	3.0017	2.6108	2.3779	2.2201	2.1046	2.0157	1.9446	1.8861	1.8370	1.5775	1.3273	1.2542	1.0675	
2000	3.8461	3.0002	2.6094	2.3764	2.2186	2.1031	2.0142	1.9430	1.8846	1.8354	1.5758	1.3250	1.2516	1.0593	
10000	3.8424	2.9966	2.6058	2.3728	2.2150	2.0995	2.0105	1.9393	1.8808	1.8316	1.5716	1.3194	1.2451	1.0334	

FUENTE: Chúa (2017)

Distribución t de Student					
Grados de libertad	5% de nivel de significancia		Grados de libertad	5% de nivel de significancia	
	Una cola	Dos colas		Una cola	Dos colas
1	6.314	12.706	18	1.734	2.101
2	2.920	4.303	19	1.729	2.093
3	2.353	3.182	20	1.725	2.086
4	2.132	2.776	21	1.721	2.080
5	2.015	2.571	22	1.717	2.074
6	1.943	2.447	23	1.714	2.069
7	1.895	2.365	24	1.711	2.064
8	1.860	2.306	25	1.708	2.060
9	1.833	2.262	26	1.706	2.056
10	1.812	2.228	27	1.703	2.052
11	1.796	2.201	28	1.701	2.048
12	1.782	2.179	29	1.699	2.045
13	1.771	2.160	30	1.697	2.042
14	1.761	2.145	40	1.684	2.021
15	1.753	2.131	60	1.671	2.000
16	1.746	2.120	120	1.658	1.980
17	1.740	2.110	inf	1.645	1.960

FUENTE: Chávarri Velarde, citado por Chua (2017).