

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es necesario conocer no sólo los procesos o cursos que sigue el agua en el suelo, sino también las características fisiográficas y biológicas del lugar en los cuales estos se desarrollan.

Para plantear que la información climatológica de la cual se dispone, aplicada a cualquier método indirecto que permita estimar las variables a considerar en la validación del modelo climatológico, generalmente no es satisfactoria, por lo que se hace necesario conocer cada una de las variables que intervienen para su realización.

Por eso, los modelos climatológicos tanto a nivel global como regional son una importante herramienta para el estudio de los efectos producidos por las precipitaciones y temperaturas, en un determinado lugar. A fin de establecer la confiabilidad de las proyecciones de la evolución futura de los efectos termoplumiométricos producidos por dichos modelos es necesario, sin embargo, validar las salidas de los mismos. La comparación de resultados del modelo con datos observados a nivel diario de temperatura y precipitación en un periodo determinado; además de realizar la validación de la grilla meteorológica aplicada en el Balance Hídrico Superficial de Bolivia para acondicionarlo a su uso en planes de aprovechamiento hídrico local.

De esta manera los modelos climatológicos colaborarían al análisis y proyección del aprovechamiento hídrico local, orientado a aumentar el ingreso agropecuario a través del mejoramiento de la productividad de los productores agrícolas, el incremento en la superficie bajo riego, la eficiencia en el uso y distribución del agua para fines agrícolas, de manera sostenible en la microcuenca Río Camacho.

El proyecto GMET-BOLIVIA es la primera aplicación que se realiza fuera de los Estados Unidos.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

La temática del proyecto se enmarca a desarrollar los parámetros de entrada que servirán de insumo en la modelación que integre la oferta y demanda de agua, teniendo en cuenta elementos de calidad y cantidad de agua, bajo escenarios de variabilidad y cambios en el clima, incluyendo análisis de demanda sectorial, conservación de agua, derechos de agua y transferencia de prioridades, modelación de precipitación-escorrentía y flujos mínimos, operaciones de embalses, generación de hidroelectricidad, calidad del agua, requerimientos de ecosistemas, y análisis de costo-beneficio de proyectos entre otros; lo cual ejecutará la Unidad de Coordinación y Ejecución del Programa (UCEP) Mi Riego.

La práctica del Gobierno Autónomo Municipal de Tarija (GAMT) concentra su atención en recoger la demanda de servicios y/o inversiones en Comunidades, Subcentrales y Centrales Campesinas, que sistematizadas y priorizada pasan a formar parte del Plan Operativo Anual (POA) y luego Unidad de Coordinación y Ejecución del Programa (PTDI). En función a la disponibilidad de recursos técnico/financieros se elaboran los proyectos que apalancando recursos con el Gobierno Autónomo Departamental (GAD) o con el Gobierno Central a través de los Ministerios correspondientes.

Proceso que conduce a una dispersión y atomización de esfuerzos del GAM en su territorio, concentrando su atención en respuesta a demandas puntuales a través de proyectos a nivel micro, que en varios casos está generando conflictos y pugnas por el agua, porque se deja de lado el contexto y visualización del desarrollo a nivel meso y macro de la cuenca de intervención.

El Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego (VRHR) a través de la Unidad de Coordinación y Ejecución del Programa (UCEP MI RIEGO) propone al GAM/GAD la elaboración de Planes de Aprovechamiento Hídrico Local (PAHL), a través de un conocimiento del potencial hídrico y de suelo del territorio municipal, contrastando las características geográficas, hidrográficas y de clima, con el potencial productivo y

social, que permita a técnicos especialistas y actores locales (GAM/Central Campesina), proponer ideas de proyectos de agua (riego) que serán seleccionados por su prioridad, cobertura y efecto en el territorio de intervención. Información que permitirá realizar un ordenamiento y priorización de la atención a la demanda de agua en sus diferentes usos (particularmente riego), se traducirá en un PAHL, herramienta que contribuirá a autoridades y técnicos GAM/GAD tomar decisiones sobre una base informativa, que definirá la secuencia de las inversiones en el quinquenio y se constituirá en un instrumento técnico para la búsqueda de conocimiento.

En este sentido, se plantea que los PAHLs, gestionado y concertado entre las organizaciones de la cuenca/microcuenca, se constituyan en un instrumento de interacción entre las instituciones involucradas en el marco de los planes directores de las cuencas priorizadas.

El balance hídrico se constituye entonces en una herramienta técnica capaz de conciliar las demandas de la población con las disponibilidades de los recursos de la cuenca, de una manera concertada y sostenible, además de poder constituirse en el instrumento de planificación a nivel municipal que permita generar procesos de desarrollo económico y social con una orientación adecuada de las inversiones

1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1. Objetivo General

Aplicar la grilla meteorológica GMET con datos diarios de precipitación y temperatura basado en las estaciones que se encuentran ubicadas en la cuenca del río Camacho, en un periodo de 1980-2016 para su posterior integración de sus resultados en Planes de Aprovechamiento Hídrico Local (PAHL).

1.3.2. Objetivos Específicos

- Validar la grilla de acuerdo a la evaluación del desempeño del modelo sobre la cuenca del río Camacho, usando un enfoque estadístico y de descomposición del

error a diferentes escalas de tiempo diario para las estaciones abiertas y cerradas que poseen una extensión mínima de análisis.

- Conocer el nivel inherente de incertidumbre en las observaciones locales (estaciones de la cuenca del río Camacho) al nivel de los píxeles de GMET y la comparación de datos de grilla espaciales con respecto a observaciones puntuales que consideran una fuente de error e incertidumbre en este campo.
- Verificar la pertinencia de enfocarse en el GMET, si existe la probabilidad de aumentar la cantidad de estaciones de datos de entrada.
- Analizar los datos de precipitaciones y temperaturas de las estaciones meteorológicas aplicando la grilla meteorológica GMET.

1.4. HIPÓTESIS

La validación de la grilla meteorológica GMET (Herramienta de Ensamble Meteorológico de Rejilla) permite utilizar los datos de la estación para generar redes o grillas climáticas históricas y continuas para el área de la cuenca del río Camacho, junto con información estadística que puede proporcionar una estimación del nivel de incertidumbre, para integrar un set de datos que sean aplicables a un plan de aprovechamiento hídrico local.

1.5. LIMITACIÓN DE ESTUDIO

El estudio se ha realizado en la cuenca del río Camacho, con datos de precipitaciones a nivel diario y a la vez de temperaturas, considerando dos criterios, en referencia al periodo de estudio, que son: el periodo común de datos y el número de estaciones en funcionamiento para un periodo.

La cuenca del río Camacho, está inmersa dentro la cuenca del río Guadalquivir, que forma parte de la cuenca Mayor del Bermejo, además se ubica territorialmente en los municipios de Uriondo y Padcaya, del Departamento de Tarija, comprende alrededor de 46 comunidades, varias poblaciones intermedias grandes como El Valle de Concepción.

La Cuenca del río Camacho, limita al norte con la cuenca menor de Tolomosa y Afluente Tarija, al este con el afluente Tarija, al oeste limita con una parte de la cuenca endorreica de Tajzara y al sud con la misma cuenca mayor del Bermejo.

Geográficamente se encuentra ubicado entre las coordenadas máximas:

- Latitud Sur: $21^{\circ} 38' 33.41''$
- Longitud Oeste $65^{\circ} 03' 12.117''$

y coordenadas mínimas:

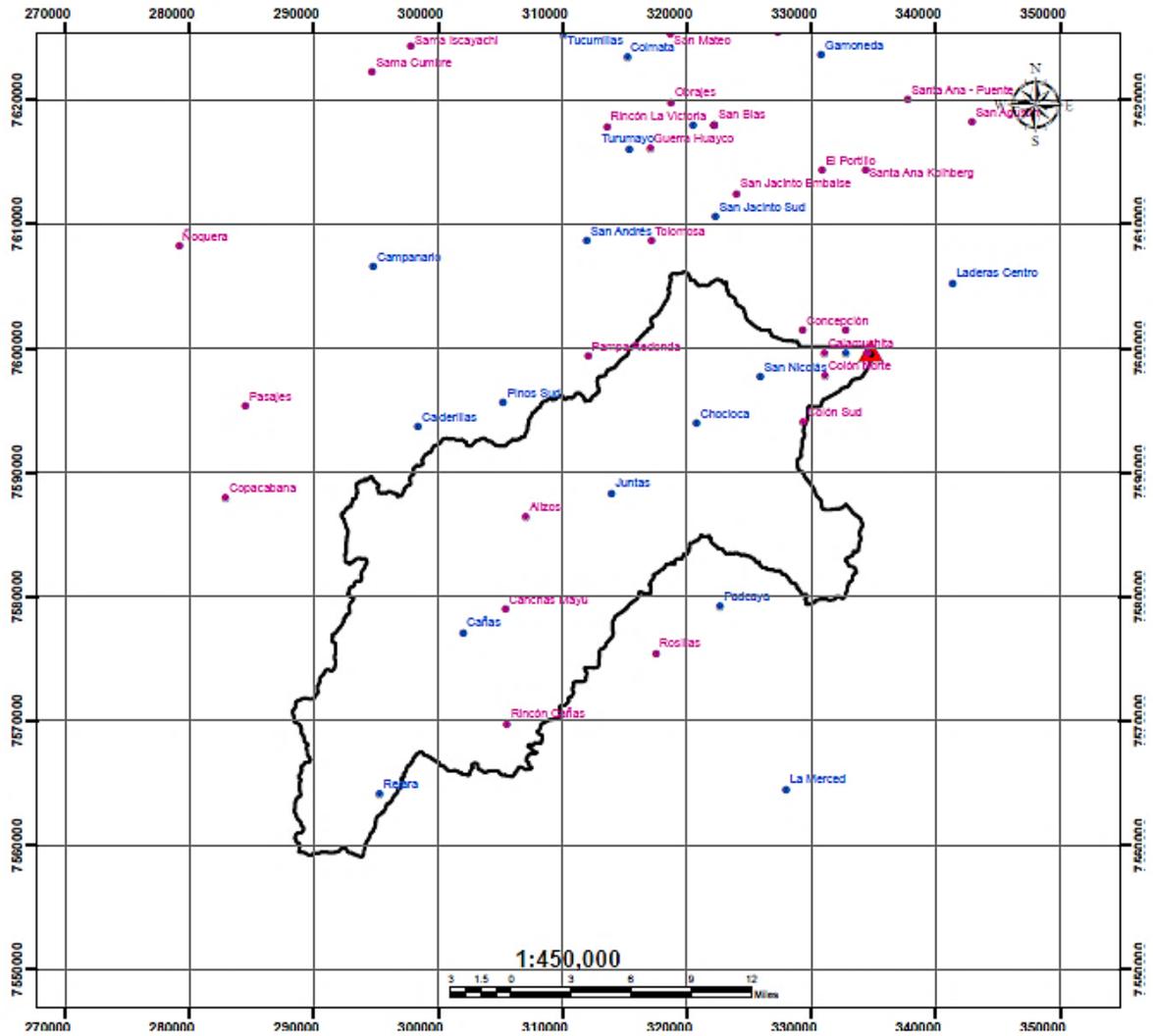
- Latitud Sur: $22^{\circ} 03' 12.245''$
- Longitud Oeste $64^{\circ} 36' 14.033''$

Con unas alturas que fluctúan entre 1.675 a 4.598 m.s.n.m.

En la cuenca se tiene un total de 25 estaciones de la microcuenca a nivel diario con registros continuos. Con un Área efectiva de la microcuenca = 415.42 km^2 .

De las cuales 13 estaciones están cerradas y 12 estaciones abiertas. Además, que en la parte baja de la cuenca no se tiene estaciones locales, tampoco se tiene estaciones del lado argentino.

Figura 1.1: Estaciones Abiertas y Cerradas Dentro de la Cuenca del Río Camacho



Fuente: Elaboración Ing. Evelin Jauregui

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. MARCO HISTÓRICO

2.1.1. Estudios Sobre la Cuenca del Río Camacho

2.1.1.1. Plan de Manejo Integral de la Cuenca del río Camacho.

Con la finalidad de establecer una articulación espacial y operativa de los planes que estarían definiendo un conjunto de políticas y estrategias en la cuenca del Río Camacho, es decir:

El Plan General de Desarrollo Económico y Social (PGDES), que establece el Marco Estratégico nacional, este documento fue concertado a través de las mesas nacionales de diálogo y concertación realizadas en octubre de 1977, en las que participaron las organizaciones de la sociedad civil y los representantes de gobierno, con el propósito de establecer líneas de acción de mediano y largo plazo; el cual tiene como objeto el de “Mejorar la calidad de Vida, especialmente del ser humano más pobre”, esta meta histórica ha sido transmitida y socializada a nivel nacional e internacional.

Plan Departamental de Desarrollo Económico y Social que asimilando el marco nacional define políticas de orden departamental, establece que el problema central del departamento, indicando que entre sus problemas se citan: bajos niveles de producción, productividad y calidad de bienes y servicios; red de infraestructura vial y transporte deficiente; manejo inadecuado de los recursos naturales y deterioro del medio ambiente, deficiente desarrollo humano, estructura institucional deficiente, impacto del circuito del narcotráfico.¹

Específicamente se pretende:

- Implementar un sistema de manejo de los recursos naturales de la cuenca del río Camacho con fines de sustentabilidad ambiental.

¹ Plan de manejo integral de los recursos naturales de la cuenca del río Camacho. Octubre 1999. Consultado 23/07/2018.

- Lograr un aprovechamiento de los recursos naturales de la cuenca del río Camacho con el fin de alcanzar un crecimiento socioeconómico sostenible.
- Buscar la equidad de las acciones con la participación de los habitantes y actores de la cuenca del río Camacho.
- Mejorar el índice de desarrollo humano en los habitantes de la cuenca del río Camacho.

2.1.1.2. Diagnóstico Ambiental de la Cuenca del río Camacho.

Se categoriza tres prioridades que se definen a continuación:

- Prioridad inmediata actual de intervención.
- Prioridad futura de intervención, debido a que el estado de conservación se lo considera aceptable y el estado de degradación y/o conservación de estos terrenos no es tan grave.
- Prioridad futura de intervención, debido a que el estado de conservación se lo considera aceptable y el estado de degradación es mínima en estos terrenos.

2.1.1.3. Estudio Socio-cultural.

Conocer como contribuye el plan quinquenal a generar mejores condiciones de equidad para la población, es decir la capacidad de los proyectos para generar condiciones de igualdad de oportunidades que conduzcan hacia un desarrollo humano como central.

Estos estratos pueden ser divididos para un mejor análisis para un mejor análisis de la siguiente manera:

- Salarios a pobladores de la cuenca.
- Sueldos empleados.
- Beneficios a las fincas agrícolas y comunidades rurales.
- Impuestos al estado.

2.1.1.4. Estudio Hidrológico y Climatológico.

La estrategia en éste ámbito busca mejorar el almacenamiento y captación de agua con acciones como la construcción de represas, pozos, tanques, terrazas de captación, establecimiento de prácticas para la conducción, control y evacuación del agua, defensas de riveras de río y control de torrentes, sobre todo aprovechando la disponibilidad de fuentes superficiales.

2.1.1.5. Plan Agropecuario.

El presente plan, pretende mejorar la calidad de vida de los habitantes de la cuenca, mediante el uso sostenible de los recursos naturales, principalmente los suelos agrícolas y los campos de pastoreo. Para el efecto se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollar programas de capacitación en el manejo sostenible de los recursos naturales, con énfasis en el manejo del suelo, cultivos y los campos de pastoreo.
- Mejorar los sistemas de producción agrícola, almacenamiento y comercialización.
- Mejorar los sistemas de manejo del ganado.
- Promover la aplicación de prácticas de manejo y conservación de suelos de ladera.

El programa contempla un periodo de cinco años, en el que se trabajará a nivel de fincas, cuidadosamente seleccionadas, donde se realizarán las mejoras a la tecnología actual de explotación agrícola y ganadera, con la participación activa de los beneficiarios.

2.1.1.6. Plan de Control de la Erosión.

El plan para el control de la erosión y la rehabilitación de tierras ha sido formulado siguiendo la división de los tipos de terreno de acuerdo a sus características morfodinámicas. En este sentido se analizarán para cada zona, las medidas de

rehabilitación que se consideran adecuadas para conseguir la reversión del fenómeno erosivo que en cada uno de ellos se ha detectado.

La propuesta parte del principio, de que no pudiendo modificarse los factores de inestabilidad genérica como ser los de origen geológico y climático, las acciones correctoras incidirán sobre el manejo de la vegetación, la implementación de obras de conservación de suelos con apoyo biológico, obras mecánicas y mecánicas-biológicas, éstas últimas principalmente en la habilitación de terrenos para la producción.

2.1.1.7. Plan de Manejo Forestal.

El programa forestal ha sido concebido bajo la necesidad de proteger los suelos de la erosión, la misma que amenaza con destruir toda la base productiva de la cuenca.

Los objetivos básicos del presente programa son los siguientes:

- Disponer de un mecanismo de planificación para intervenir, incrementar y restaurar las masas boscosas, tanto naturales como implantadas, con la participación de los campesinos.
- Establecer una cobertura que sea compatible con las necesidades de una adecuada protección contra la erosión hídrica de los suelos.
- Formación de masas forestales con diferentes fines y cuyos resultados sean de protección, conservación y de producción.

2.1.1.8. Plan de Riego.

El programa de Riego tiene como objetivo principal el mejorar las eficiencias de riego y la oferta de agua en las tierras que actualmente se encuentran bajo riego, a través de la implementación de medidas estructurales y no – estructurales; dejándose para una etapa futura la incorporación de nuevas tierras.

El programa tiene previsto actuar en toda la cuenca a través de 5 zonas de riego que han sido identificadas de acuerdo a las principales fuentes de agua de la cuenca.

2.2. ANTECEDENTES

La cuenca del río Camacho está ubicada en el departamento de Tarija, al sur de Bolivia. Políticamente, la parte baja y media de la cuenca corresponde a la sección municipal de Uriondo, mientras que la parte alta corresponde a Padcaya, dentro de las provincias Avilés y Arce respectivamente.

La cuenca del río Camacho alberga una población aproximada de 14,000 habitantes, compuesta por unas 2,800 familias. Toda la población está distribuida en 40 comunidades que pertenecen a 13 cantones. Al municipio de Padcaya corresponden 6 cantones con 12 comunidades, y al municipio de Uriondo, 7 cantones con 28 comunidades. La actividad económica principal que se realiza en toda la región es la agricultura. Los cultivos principales varían de un ámbito geográfico a otro en función de los aspectos climatológicos y de la aptitud de los suelos, pero por lo general destacan la vid, tomate, durazno, cebolla, papa, zanahoria, maíz, trigo, arveja, haba, pimiento, coime, zapallo, quinua, oca y papa lisa.

En las riberas del río, de la parte media y baja de esta cuenca, crece la totora y también en los estanques formados por pequeñas represas construidas en diversas comunidades.

En Camacho las precipitaciones tienen un régimen monomodal. Las lluvias se inician en diciembre con duración hasta marzo, con precipitaciones máximas en enero y febrero; la estación seca es en invierno, con mínimo de mayo a julio, y dos períodos de transición separan estas dos épocas, uno en abril y otro de septiembre a noviembre.²

² Plan de manejo integral de los recursos hídricos de la cuenca del río Camacho. Octubre 1999. Consultado 29/08/2018.

2.2.1 Descripción de los Criterios de Priorización de la Cuenca.

Para la selección de la cuenca de estudio, se estableció criterios que permitan tomar una decisión coherente y apoye encaminar hacia el logro de los objetivos propuestos en los alcances de PAHL, el mismo se muestra en el presente cuadro.³

Tabla 2.1: Criterios Para La Selección de la Cuenca

N°	Criterio	Características
1	Sociales	Camino de acceso a comunidades y a fuentes principales de la cuenca
		La microcuenca seleccionada debe contar como mínimo dos comunidades y familias con radicatoria permanente.
2	Técnico	Disponibilidad de recursos hídricos, con escurrimiento permanente y no permanente, que permitan identificar proyectos de riego, preferentemente con embalses (Presas)
		Área de la microcuenca seleccionada debe abarcar hasta 500 km ² (excepcionalmente podría superar, el mismo se analizará aspectos técnicos y sociales para su consideración)
		La microcuenca seleccionada en lo posible debe encontrarse en la jurisdicción del municipio (cuenca completa)
3	Agronómico	Presencia de actividad agrícola y tenencia de terrenos para incorporar o ampliar bajo riego
4	Ambiental	El posible sitio de emplazamiento de infraestructura de riego, no debe encontrarse dentro un área protegida, ya sea municipal, departamental y nacional e identificar si existe contaminación natural o inducida.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (MMAyA). (2018)

³ Ministerio de Medio Ambiente y Agua. Consultado 2/09/2018.

Tabla 2.2: Criterios para Selección de la Cuenca para la Formulación PAHL

N°	Criterio	Camacho Cuenca Alta																									
1	Sociales	Existe ruta Departamental en condiciones óptimas a las comunidades, y a la fuente principal de la microcuenca																									
		<p>Cuenta con 12 comunidades (Cabilidito, San Antonio del Mollar, San José de Chaguaya, Tacuara, Chaguaya, Camacho, Canchasmayo, La Huerta, Queñahuyaco, Rejara, Cañas, Quebrada de Cañas) ubicados en la cuenca de aporte.</p> <p>Estas comunidades tienen una buena densidad de poblacional, lo que beneficiaría a 950 familias aproximadamente dentro de su área de influencia.</p>																									
2	Técnico	Existe buena disponibilidad de recursos hídricos y posee 12 aportes al curso principal.																									
		<p>La microcuenca abarca 419.8 km², los aforos realizados de acuerdo a sus tributarios principales, corresponden a ríos, quebradas y vertientes más importantes de la microcuenca.</p> <p>- Cañas</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>Fuente</th> <th>Caudal (l/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Río Camacho</td> <td>59.90</td> </tr> </tbody> </table> <p>- Rejara</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>Fuente</th> <th>Caudal (l/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Qda. Huayllar</td> <td>14.26</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Qdas. Huayllar y Pucarita</td> <td>25.17</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Qda. Tablada</td> <td>11.80</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Qda. Tablas</td> <td>8.28</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Qda. Abra Ciénega</td> <td>22.08</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Qda. Antigal (Los Mineros)</td> <td>9.92</td> </tr> </tbody> </table>	N°	Fuente	Caudal (l/s)	1	Río Camacho	59.90	N°	Fuente	Caudal (l/s)	1	Qda. Huayllar	14.26	2	Qdas. Huayllar y Pucarita	25.17	3	Qda. Tablada	11.80	4	Qda. Tablas	8.28	5	Qda. Abra Ciénega	22.08	6
N°	Fuente	Caudal (l/s)																									
1	Río Camacho	59.90																									
N°	Fuente	Caudal (l/s)																									
1	Qda. Huayllar	14.26																									
2	Qdas. Huayllar y Pucarita	25.17																									
3	Qda. Tablada	11.80																									
4	Qda. Tablas	8.28																									
5	Qda. Abra Ciénega	22.08																									
6	Qda. Antigal (Los Mineros)	9.92																									

7	Qda. Cieneguillas	11.56
8	Qda. Cieneguillas	17
9	Qda. Cieneguillas	19
10	Qda. Santa María	7.76
11	Qda. Santa María (Toma 13)	3.64
12	Qda. Abra Blanca	4.90
13	Toma Abra Ciénega 1	5.49
14	Vertiente 2 Abra ciénaga	7.48
15	Rio Potreros	12.40
16	Rio Punta Grande	12.48
17	Qda. Laja Llusca	8.18
18	Qda. Socavones	6.71
19	Qda. El Pozo	11.30
20	Vertiente 1	1.59
21	Vertiente 2	1.39
22	Vertiente Ojo de Agua	3.08

- La huerta:

N°	Fuente	Caudal
		l/s
1	Vertiente Ojo de Agua 1	17.77
2	Vertiente Ojo de Agua 2	19.43
3	Quebrada Queñahuayco	36.18
4	Vertiente Culebrillas	12.83
5	Rio La Huerta	80.34
6	Rio La Huerta	96.64
7	Quebrada Callejón	24.99
8	Quebrada Callejón	32.37
9	Vertiente Culebrillas	12.78

		10	Quebrada Kolpanita	10.06	
		11	Rio Culebrillas	24.99	
		12	Quebrada Kolpanita	9.32	
3	Agronómico	Existe gran actividad agrícola con comercio, La Huerta y Rejara se consideran a nivel departamental productoras de papa, y además importan semilla certificada.			
4	Ambiental	Una franja de la cuenca pertenece a la reserva Biológica de Sama con el 3 %. En cuanto a la contaminación natural o inducida en la jurisdicción del Municipio de Padcaya no se cuenta con Planta de Tratamiento de aguas residuales por lo que se vierten directamente a los afluentes los contaminantes del uso humano ⁴			

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (MMAyA). (2018)

⁴ Informe Técnico para la Formulación de Plan de Aprovechamiento Hídrico Local (PAHL). Consultado 05/09/2018.

La cuenca seleccionada tiene las siguientes características:

Tabla 2.3: Características de la Cuenca

Nombre de la cuenca:	Cuenca río Camacho	
DATOS TÉCNICOS		
Área de la cuenca:	419.80	km ²
Perímetro de la cuenca:	120.4	km
Longitud del curso de agua principal:	39.6	km
Aforos en los tributarios:	- Cañas	
	N°	Fuente
	Caudal(l/s)	
	1	Río Camacho
	59.90	
	- Rejara	
	N°	Fuente
	Caudal (l/s)	
	1	Qda. Huayllar
	14.26	
	2	Qdas. Huayllar y Pucarita
	25.17	
	3	Qda. Tablada
	11.80	
	4	Qda. Tablas
8.28		
5	Qda. Abra Ciénega	
22.08		
6	Qda. Antigal (Los Mineros)	
9.92		
7	Qda. Cieneguillas	
11.56		
8	Qda. Cieneguillas	
17.00		
9	Qda. Cieneguillas	
19.00		
10	Qda. Santa María	
7.76		
11	Qda. Santa María (Toma13)	
3.64		
12	Qda. Abra Blanca	
4.90		
13	Toma Abra Ciénega 1	
5.49		
14	Vertiente 2 Abraciénaga	
7.48		

15	Rio Potreros	12.40
16	Rio Punta Grande	12.48
17	Qda. Laja Llusca	8.18
18	Qda. Socavones	6.71
19	Qda. El Pozo	11.30
20	Vertiente 1	1.59
21	Vertiente 2	1.39
22	Vertiente Ojo de Agua	3.08

- La Huerta:

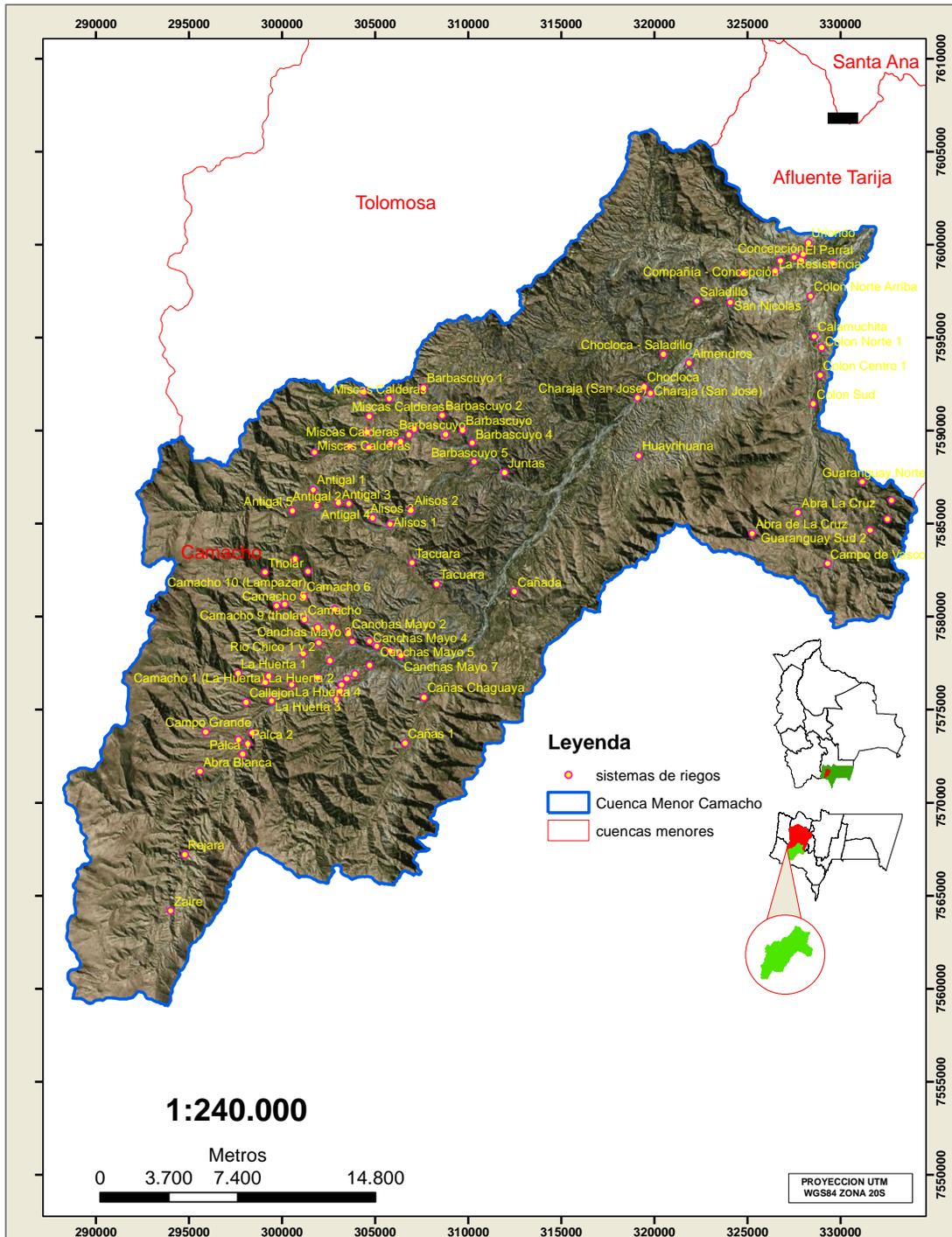
N°	Fuente	Caudal
		l/s
1	Vertiente Ojo de Agua 1	17.77
2	Vertiente Ojo de Agua 2	19.43
3	Quebrada Queñahuayco	36.18
4	Vertiente Culebrillas	12.83
5	Rio La Huerta	80.34
6	Rio La Huerta	96.64
7	Quebrada Callejón	24.99
8	Quebrada Callejón	32.37
9	Vertiente Culebrillas	12.78
10	Quebrada Kolpanita	10.06
11	Rio Culebrillas	24.99
12	Quebrada Kolpanita	9.32

Parámetros de Forma

Forma de la Microcuenca	De oval Oblonga a rectangular oblonga
--------------------------------	---------------------------------------

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (MMAyA)

Figura 2.3: Inventario de Fuentes y Sistemas de Riego



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA)

◆ **Área de la microcuenca**

El área calculada abarca aproximadamente 419.80 km².

◆ **Número de comunidades**

Se encuentra doce comunidades 12 ubicadas en la parte alta de la cuenca con 1,072 familias, la distancia entre comunidades es cercanos.

◆ **Ubicación de la zona del estudio**

La distancia desde la ciudad Tarija hasta la última comunidad ubicada en la cabecera de la cuenca denominada La Huerta, está a 91.60 km. y un tiempo de recorrido aproximadamente 70 minutos.⁵

2.3. MARCO TEÓRICO

2.3.1. Completado de Datos

Los datos faltantes en los registros de lluvias se deben al ausentismo del operador o a fallas instrumentales. Se llama correlación al procedimiento por medio del cual se completan los datos faltantes. Para ello se utilizan los datos de estaciones índices, que si tienen los datos completos y que se seleccionan de modo que estén lo más cerca posible y sean de altitud parecida a la estación en estudio, distancia y altitud son los factores principales para la selección de las estaciones índice. Los métodos para el completado de datos de una serie y una variable son:

1. Aprovechando únicamente la información contenida en el resto de la propia serie temporal. Se llaman *Métodos univariados*.
2. En función de series de la misma variable registrada. Los cuales son llamados *Métodos multivariantes aplicados a una única variable meteorológica*.⁶

⁵ <http://www.leisa-al.org/web/index.php/statistics/volumen-19-numero-3/2161-uso-de-la-totora-en-la-produccion-agricola-de-la-cuenca-del-rio-camacho-tarija-bolivia>. S/F. Consultado 12/09/2018.

⁶ https://www.academia.edu/9530736/CURSO_HIDROLOGIA_GENERAL_ESTIMACION_DE_DATOS_FALTANTES. S/F. Consultado 15/09/2018.

2.3.1.1. Métodos univariados

Los métodos de completado univariado reciben este nombre porque para completar las lagunas existentes en una serie se utilizan los datos de una única serie y en este caso particular los datos de la misma serie que se quiere completar. Estos métodos tienen en cuenta la posible correlación entre los datos de la serie.

2.3.1.2. Métodos multivariantes aplicados a una única variable meteorológica

Los métodos incluidos para rellenar los datos de una serie de una cierta variable meteorológica medida en un observatorio, series de la misma variable, pero medida en diferentes observatorios. Todos los métodos se basan en el estudio de las correlaciones lineales (correlación de Pearson) individuales entre las series. El algoritmo que se aplica para el rellenado es muy variado, así como el número de series que se utilizan. Los métodos que se engloban dentro de este grupo son los que aparecen a continuación:

2.3.1.2.1 Criterio de Karl (Karl y Williams, 1987)

Este método consiste en sustituir la carencia de un registro en una estación dada por el valor correspondiente de otra estación vecina (estación próxima a la estación problema) que presente un alto índice de correlación lineal. Este método requiere realizar los cálculos con los valores de las series previamente normalizados mensualmente y el coeficiente de correlación calculado es el de Pearson.

2.3.1.2.2 Razón normal (Paulus y Kohler, 1952)

Este método consiste en calcular el dato incompleto, $x(t)$, de una serie a partir de los datos de las series de tres estaciones vecinas y contemporáneas, que presenten un alto grado de correlación con la serie a completar, a través de la expresión:

$$x(t) = \frac{1}{3} \left[\frac{\bar{x}}{\bar{x}_1} x_1(t) + \frac{\bar{x}}{\bar{x}_2} x_2(t) + \frac{\bar{x}}{\bar{x}_3} x_3(t) \right] \quad \dots (1)$$

donde \bar{x} , \bar{x}_1 , \bar{x}_2 y \bar{x}_3 son las medias de las variables en cuestión de la serie incompleta y de las tres series vecinas, respectivamente; y $x_1(t)$, $x_2(t)$ y $x_3(t)$ son los datos correspondientes a las series vecinas, respectivamente. Este método juega con la variabilidad registrada en otras estaciones y con la razón proporcional entre ellas. Al ser tres estaciones se suaviza la influencia que podría tener un error en una de ellas.⁷

2.3.2. Control de Calidad de Datos

El uso de variables climáticas para la generación de información climática útil y relevante requiere que los datos hayan sido sometidos a un proceso de control de calidad. Este proceso debe identificar valores sospechosos ha implementado una serie de procedimientos publicados en la literatura científica para el control de calidad de datos meteorológicos. Los datos climáticos se someten a una serie de tests estadísticos de distintos tipos. Estos tests identifican registros que contienen variables meteorológicas con valores sospechosos.

El control de calidad de los datos climáticos es una obligación tanto para los servicios meteorológicos responsables de su registro y custodia, que deberían ofrecer mediciones correctas en un alto porcentaje o, en caso contrario, advertir al usuario de los problemas existentes, identificando los intervalos no utilizables, como para los investigadores del clima que requieren validar esa información antes de usarla, para no introducir señales no climáticas en sus resultados y prevenir de errores potenciales que pueden comprometer los estudios realizados.

En una serie temporal de observaciones meteorológicas existen varias fuentes potenciales de errores y/o problemas tales como:

- 1) Ausencia sistemática de datos
- 2) Datos observados/registrados incorrectamente

⁷ Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitaciones en estaciones pluviográficas de la VII región del Maule, Chile. Consultado 25/09/2018

3) Errores de transcripción durante la digitalización, etc.

Algunas prácticas siguen un patrón, como la ausencia de datos en fines de semana o feriados, que influyen en gran medida en el cálculo de los valores acumulados y extremos, usualmente forzando al investigador a reformular su tratamiento.

Algunos errores pueden ocurrir en el proceso de registro, manipulación, formateo, transmisión y archivo de datos y metadatos.

Un conjunto de datos no confiables o que no se está disponible cuando se necesita, no sirve para ningún propósito. O peor, sin control de calidad, los errores podrían pasar desapercibidos y dar como resultado productos erróneos que podrán generar decisiones equivocadas.

Para ello conviene efectuar una adecuada elección de los métodos de control. De esto depende en gran manera el control de calidad y los datos disponibles en el momento de la comprobación. Casi todos los métodos de control de calidad de las observaciones meteorológicas tienen carácter estadístico y siempre habrá cierto riesgo de rechazar valores correctos (y de aceptar valores erróneos). Por ello es necesario que el control de calidad sea ejecutado por un experto, que pueda evaluar cada caso donde el sistema de control automático detecte un dato “dudoso”.

El conocimiento de los procedimientos aplicados permitiría la evaluación de la validez de las observaciones y la mejora en la calidad de la información.

El control no consiste únicamente en la identificación de posibles errores, sino que los datos que no superan las diferentes pruebas del mismo deben ser etiquetados como sospechosos y debe consultarse en la fuente original si se han introducido o importado correctamente, lo que permite recuperar una fracción importante de los datos sospechosos de ser erróneos, ya sea validándolos o sustituyéndolos por los valores correctos. Únicamente aquellos datos sospechosos que no puedan validarse o recuperarse son eliminados de la base de datos.

Los métodos de verificación de la coherencia interna y de la coherencia temporal pueden parecer más complejos, pero no resultan laboriosos, una vez automatizados.

Cada uno de los pasos se describe a continuación:

1. Verificaciones de los límites para detectar errores graves.

Se verifica que los valores reportados no salgan de un intervalo dado, que teóricamente contiene todo el rango posible de observaciones. Se aconseja que estos límites se definan mensualmente o como mínimo cada estación del año. Por ejemplo, para cierta localidad, se puede establecer que en verano los valores de temperatura no pueden estar por debajo de 0°C ni por encima de 50°C.

Las comparaciones con límites que dependen de la zona y del momento del año pueden realizarse para la velocidad del viento, la temperatura del aire, la temperatura del punto de rocío, la presión en la estación, entre otras.

2. Verificaciones de la coherencia interna.

Se realizan a partir de la comparación entre datos del mismo reporte (momento) de una estación. Los distintos parámetros o valores de los datos reportados por las estaciones se verifican entre sí y se consideran sospechosos o erróneos los que no concuerdan con el resto de la información. Por ejemplo, es sospechoso que, al estar lloviendo, la humedad relativa sea del 50 %. O es erróneo que la temperatura máxima de la última hora sea menor que la mínima.

3. Verificaciones de la coherencia temporal

Para verificar la coherencia en relación con el tiempo, se utiliza la información de reportes consecutivos procedentes de la misma fuente. Se establece una tolerancia para la diferencia entre el valor de una variable en un momento de observación y el valor de esta en la observación siguiente. Si la diferencia es demasiado grande, el dato se considera sospechoso. Por ejemplo, será sospechoso si en un reporte dado la temperatura es de 22°C y en el reporte de la hora siguiente es de 38°C.

4. Verificaciones de la coherencia espacial (prueba de contigüidad)

La información de estaciones meteorológicas cercanas puede utilizarse para realizar comparaciones. Se compara cada par de observaciones próximas: si son similares, es probable que sean ambas correctas o ambas erróneas; si difieren mucho, una de ellas es probablemente correcta y la otra errónea.

En los métodos de interpolación estadística, es posible interpolar o analizar cada una de las observaciones de una zona utilizando las observaciones del resto del área. En el procedimiento de interpolación se excluye la observación por analizar y se obtiene un valor interpolado. Este valor preliminar debería ser similar a la observación. Si no, es muy probable que la observación sea errónea.

2.3.2.1 Control de Calidad de Datos de lluvia

El control de la calidad de los datos de las precipitaciones es semiautomático; es decir, tiene una primera fase automatizada de detección de valores “dudosos” y una segunda fase manual que consiste en la revisión de los datos dudosos identificados por un experto debidamente capacitado. Se procede a corregir los errores obvios de los datos de precipitación, en la medida de lo posible. A los datos que son indiscutiblemente incorrectos se les asigna la clave con que se identifican los valores faltantes, como por ejemplo “-1” o “999”.

Para conservar los datos extremos verdaderos y, al mismo tiempo, eliminar los datos que claramente son incorrectos del sistema de análisis, evidentemente es imprescindible una verificación visual de los datos dudosos, aunque resulte muy laboriosa.⁸

2.3.2.1.2 Pruebas de Coherencia

Los cuatro tipos principales de prueba de coherencia son:

⁸ http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0042_PU-SA-IV-2004-J_ABAURREA.pdf. S/F. Consultado 26/09/2019.

- Prueba de coherencia interna.
- Prueba de coherencia temporal.
- Prueba de coherencia espacial y
- Prueba de coherencia sumaria.

Dado que los valores de los datos guardan una relación mutua tanto temporal como espacial, debería elaborarse un procedimiento integrado para examinar la coherencia.

Todas las pruebas de coherencia deberían documentarse por completo mediante procedimientos, fórmulas y criterios de decisión.

1. La coherencia interna, se basa en las relaciones físicas que existen entre los elementos climatológicos. Todos los elementos deberían verificarse exhaustivamente comparándolos con otros elementos afines dentro de cada observación.

Se debería verificar la coherencia entre los datos y las definiciones. Por ejemplo, un valor máximo debe ser igual o mayor que un valor mínimo. Los límites físicos imponen reglas para las verificaciones de la coherencia interna. Por ejemplo, la precipitación no puede ser negativa.

2. Las pruebas de coherencia temporal examinan la variación de un elemento en el tiempo. Muchos conjuntos de datos climatológicos muestran una importante correlación en serie. Debería hacerse un control comparando la observación en cuestión con la anterior y la posterior en el ordenamiento.

Basándose en la experiencia o en métodos analíticos o estadísticos, quienes examinen los datos pueden establecer la magnitud del cambio que podría experimentar un determinado elemento en cualquier intervalo de tiempo. Por lo general, este cambio depende del elemento, la estación del año, la ubicación y el lapso de tiempo transcurrido entre dos observaciones sucesivas.

Las presentaciones gráficas también son una herramienta excelente para la verificación. Para facilitar el diagnóstico, deberán visualizarse varios elementos al mismo tiempo.

3. La coherencia espacial, compara cada observación con observaciones efectuadas al mismo tiempo en otras estaciones de la zona. Cada observación puede compararse con las que cabría esperar en el emplazamiento teniendo en cuenta las observaciones de las estaciones vecinas. Aquellos datos que difieren notablemente entre las observaciones esperadas y las que, de hecho, se obtienen deberán marcarse para ser sometidos a una revisión, corrección o eliminación, según proceda.

Las pruebas de reducción de datos son unas de las más fáciles de efectuar. Mediante la comparación de diferentes resúmenes de datos, pueden detectarse errores en cada valor o en cada resumen.⁹

2.3.2.2 RCLIMDEX

ClimDex es un programa basado en Microsoft Excel que proporciona un paquete computacional fácil de usar para el cálculo de Índices de extremos climáticos para monitorear y detectar cambio climático. Fue desarrollado por Byron Gleason del National Climate Data Centre, y ha sido usado en talleres sobre índices climáticos desde el 2001.

El objetivo original fue el de colocar ClimDex en un ambiente que no dependa de un sistema operativo determinado. Fue muy natural usar R como nuestra plataforma, dado que R es gratis, pero al mismo tiempo es un software muy robusto y poderoso para gráficos y análisis estadístico. Puede ser ejecutado tanto en ambientes Windows como Unix. En el 2003, se descubrió que el método utilizado por ClimDex y otros programas para calcular índices de temperatura basados en percentiles resultaba en

⁹ http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0042_PU-SA-IV-2004-J_ABAURREA.pdf. S/F. Consultado 26/09/2019.

inhomogeneidad en las series de índices. Una solución a este problema requiere un procedimiento "bootstrap" que se hace imposible de implementar en un ambiente Excel. Esto ha hecho aún más urgente la necesidad de desarrollar este paquete basado en R.

2.3.2.2.1. Control de Calidad de RClimdex

El control de calidad de RClimDex desarrolla el siguiente procedimiento:

- 1) Reemplaza todos los datos faltantes (actualmente codificados como -99.9) en un formato interno que reconoce R (i.e. NA, no disponible)
- 2) Reemplaza todos los valores no razonables por NA. Estos valores incluyen:
 - a) Cantidades de precipitación diarias menores que cero
 - b) Temperatura máxima diaria menor que temperatura mínima diaria.

Adicionalmente, también identifica valores extremos ("outliers") en temperaturas diarias máximas y mínimas. Los valores extremos son valores diarios que se encuentran fuera de una región definida por el usuario. Actualmente esta región se define como n veces la desviación estándar del valor del día. Donde std representa la desviación estándar para el día y n es una entrada del usuario.

Una vez completado el control de calidad con esta herramienta se generarán dos archivos que contienen información sobre valores no razonables para temperatura y precipitación, un tercer archivo marca todos los valores extremos posibles en temperatura diaria junto con las fechas en que aquellos valores ocurrieron y un último archivo que contiene los datos una vez hecho el control de calidad y que serán usados para posteriores cálculos, en el mismo se puede notar que solamente los valores faltantes y no razonables son reemplazados por NA, posibles valores extremos que sean marcados NO son cambiados. Para una fácil visualización, se generarán cuatro archivos PDF que contienen gráficos de las series de tiempo (valores faltantes

graficados como puntos rojos) de precipitación diaria, y temperaturas diarias máximas y mínimas también son guardados.

Para que se puedan obtener los resultados esperados de esta herramienta se necesita que los archivos de datos de entrada que serán leídos en el formato, además de cumplir los siguientes requisitos:

1. Archivo de texto
2. Columnas en las siguientes secuencias: Año, Mes, Día, PRCP, TMAX, TMIN. (NOTA: unidades de PRCP= milímetros y unidades de Temperatura= grados Celsius)
3. El formato descrito arriba debe ser delimitado por espacios (cada elemento separado por uno o más espacios).
4. Para los registros de datos, los datos faltantes deben ser codificados como -99.9; los registros de datos deben estar en orden cronológico. Se permite fechas faltantes.

2.3.2.2.2. Análisis de los resultados de RCLimdex

Para realizar una interpretación de los resultados generados por RCLimdex se necesita tener conocimiento acerca de los diagramas de caja, los mismos son una presentación visual que describe varias características importantes, al mismo tiempo, tales como la dispersión y simetría.

Para su realización se representan los tres cuartiles y los valores mínimo y máximo de los datos, sobre un rectángulo, alineado horizontal o verticalmente.

La construcción de una gráfica de este tipo (diagrama de caja) consiste en una caja rectangular, donde los lados más largos muestran el recorrido intercuartílico.

Este rectángulo está dividido por un segmento vertical que indica donde se posiciona la mediana y por lo tanto su relación con los cuartiles primero y tercero (recordemos que el segundo cuartil coincide con la mediana).

Esta caja se ubica a escala sobre un segmento que tiene como extremos los valores mínimo y máximo de la variable. Las líneas que sobresalen de la caja se llaman bigotes. Estos bigotes tienen un límite de prolongación, de modo que cualquier dato o caso que no se encuentre dentro de este rango es marcado e identificado individualmente.¹⁰

Los pasos para interpretar un diagrama de caja son:

1. Evaluar las características clave

Examine el centro y la dispersión de la distribución. Evalúe cómo el tamaño de la muestra puede afectar la apariencia de la gráfica de caja.

Centro y dispersión. - Examine los siguientes elementos para conocer más acerca del centro y la dispersión de sus datos de muestra.

Mediana. - La mediana está representada por la línea en la caja. La mediana es una medida común del centro de sus datos. La mitad de las observaciones es menor que o igual al valor y la mitad es mayor que o igual al valor.

Caja de rango intercuartil. -La caja de rango intercuartil representa el 50% intermedio de los datos. Muestra la distancia entre el primer cuartil y el tercer cuartil (Q3-Q1).

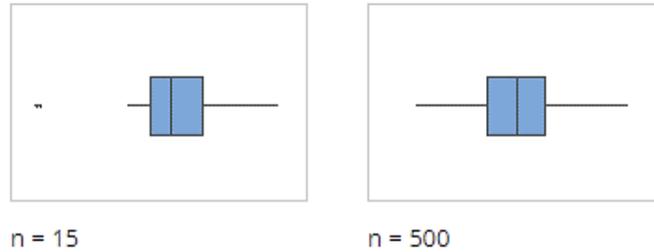
Bigotes. -Los bigotes se extienden de cualquier lado de la caja. Los bigotes representan los rangos del 25 % de valores de datos de la parte inferior y el 25 % de la parte superior, excluyendo los valores atípicos.

Tamaño de la muestra (n). - El tamaño de la muestra puede afectar la apariencia de la gráfica.

Por ejemplo, aunque estas gráficas de caja parecen ser muy diferentes, ambas se crearon utilizando muestras seleccionadas aleatoriamente a partir de la misma población.

¹⁰ RClimdex - Manual de Usuario. Consultado 26/09/2018.

Figura 2.4: Tamaño de la Muestra.



Fuente: Interpretar los resultados clave para Gráfica de caja

Una gráfica de caja funciona mejor cuando el tamaño de la muestra es al menos de 20. Si el tamaño de la muestra es demasiado pequeño, los cuartiles y los valores atípicos que la gráfica de caja muestra pueden no ser significativos.

2. Buscar indicadores de datos inusuales o no normales

Los datos asimétricos indican que los datos podrían ser no normales. Los valores atípicos pueden indicar otras condiciones en sus datos.

Datos asimétricos. -Cuando los datos son asimétricos, la mayoría de los datos se ubican en la parte superior o inferior de la gráfica. La asimetría indica que los datos pueden no estar distribuidos normalmente.

Estas gráficas de caja ilustran los datos asimétricos. La gráfica de caja con datos asimétricos hacia la derecha muestra tiempos de espera. La gráfica de caja con datos asimétricos hacia la izquierda muestra datos de tiempo de falla. Unos pocos elementos fallan inmediatamente y muchos más fallan posteriormente.

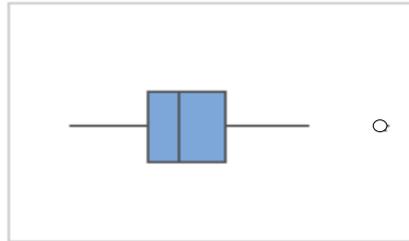
Figura 2.5: Datos Asimétricos.



Fuente: Interpretar los resultados clave para Gráfica de caja

Valores atípicos. - Los valores atípicos, que son valores de datos que están muy alejados de otros valores de datos, pueden afectar fuertemente sus resultados. Frecuentemente, es más fácil identificar los valores atípicos en una gráfica de caja. En una gráfica de caja, los valores atípicos se identifican con ordinales (°).

Figura 2.6: Valores Atípicos.



Fuente: Interpretar los resultados clave para Gráfica de caja

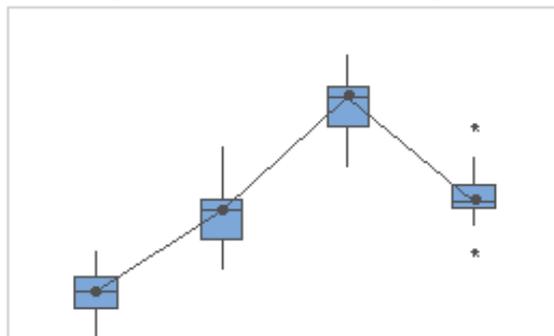
Se debe identificar la causa de cualquier valor atípico y corregir cualquier error de entrada de datos o de medición. Se debe considerar eliminar los valores de datos que estén asociados con eventos anormales y únicos (causas especiales).

3. Evaluar y comparar los grupos

Cuando la gráfica de caja tiene grupos, se debe evaluar y comparar el centro y la dispersión de los grupos.

Centros. -Para el análisis de los mismos de debe buscar diferencias entre los centros de los grupos. Por ejemplo, en la Figura 2.7 el diagrama de caja muestra el grosor de cable producido por cuatro proveedores.

Figura 2.7: Centros de Grupos.

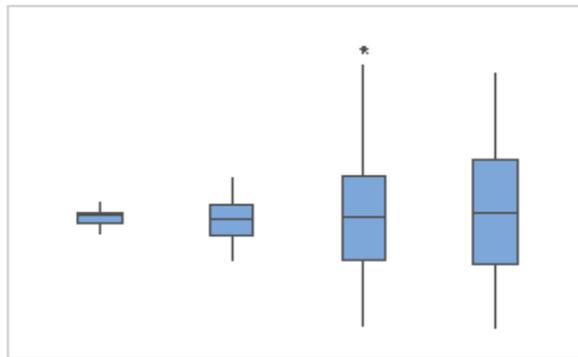


Fuente: Interpretar los resultados clave para Gráfica de caja

Dispersiones. –Se debe buscar diferencias entre las dispersiones de los grupos.

Por ejemplo, en la Figura 2.8 el diagrama de caja muestra los pesos de llenado de las cajas de cereales de cuatro líneas de producción. Los pesos medios de los grupos de cajas de cereales son similares, pero los pesos de algunos de los grupos son más variables que los otros.

Figura 2.8: Dispersiones de los Grupos.



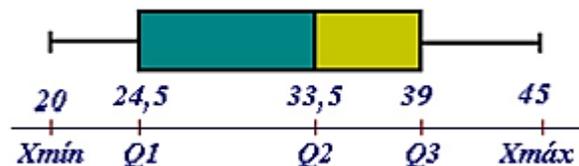
Fuente: Interpretar los resultados clave para Gráfica de caja.

Para determinar si una diferencia en la dispersión (varianza) es estadísticamente significativa, se puede realizar uno de los siguientes procedimientos:

- Prueba de dos varianzas si solamente se tiene dos grupos.
- Prueba de varianzas iguales si solamente tiene tres o más grupos.

A continuación, se muestra un ejemplo de análisis de un diagrama de caja (Figura 2.9).

Figura 2.9: Diagrama de Caja



Fuente: Interpretar los resultados clave para Gráfica de caja.

De la gráfica el bigote de la izquierda representa al colectivo de datos ($X_{\text{mín}}$, Q_1), la primera parte de la caja a (Q_1 , Q_2), la segunda parte de la caja a (Q_2 , Q_3) y el bigote de la derecha viene dado por (Q_3 , $X_{\text{máx}}$).

Se puede obtener abundante información de una distribución a partir de estas representaciones. De la figura se puede analizar lo siguiente:

- La parte izquierda de la caja es mayor que la de la derecha; ello quiere decir que los datos comprendidos entre el 25% y el 50% de la población está más dispersa que entre el 50% y el 75%.
- El bigote de la izquierda ($X_{\text{mín}}$, Q_1) es más corto que el de la derecha; por ello el 25% de los datos menores están más concentrados que el 25% de los mayores.
- El rango intercuartílico= $Q_3 - Q_1 = 14.5$; es decir, el 50% de la población está comprendido en 14,5.¹¹

2.3.2.3. DECADE

Es una “herramienta” dedicada netamente al control de calidad visual. La misma es una rutina que corre bajo la plataforma R, desarrollado para el control de calidad de las series diarias de precipitación (PRCP), temperatura máxima (TX) y temperatura mínima (TN) del proyecto DECADE.

Los resultados que se obtendrán para su posterior análisis visual son los siguientes:

- **Gráficos de puntos de las series temporales (PRCP; TX; TN).** - Permitirá que veamos cada dato y año registrado representado con un punto en la gráfica.
- **Histograma de decimales de la serie de datos (PRCP; TX; TN).** -Veremos en diferentes colores los decimales de los datos lo que nos permitirá establecer la frecuencia con la que aparecen los mismos.
- **Histograma temporal (años) de datos faltantes (PRCP; TX; TN).** -Con esto podremos ver los datos faltantes por año, considerando tanto datos consecutivos

¹¹ <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/graphs/how-to/boxplot/interpret-the-results/key-results/>. Consultado 30/09/2018.

como no consecutivos, se nos permitirá establecer la cantidad de días faltantes por año.

- **Diagrama de barras de días que probablemente sean indicadores de ciclos semanales (PRCP).** - Podremos observar el día que sería el candidato a producir ciclos semanales en la serie de acuerdo al test binomial aplicado a cada día de la semana para toda la serie, esto se observa para cada estación que se introducirá.
- **Archivos de estadística de datos faltantes (PRCP; TX; TN).** -Se generarán archivos para cada una de las variables a estudiar (PRCP; TX; TN) en el que se podrá verificar cuantas estaciones se han evaluado y cuantas de ellas tienen más de veinte años de registro y cuantas de ellas tienen un registro inferior a lo antes mencionado.

Para que se puedan obtener los resultados esperados de esta herramienta se necesita que los archivos de datos de entrada que serán leídos estén en el formato que se muestra a continuación, además de cumplir los siguientes requisitos:

1. Archivo de texto
2. Columnas en las siguientes secuencias: Día juliano, Año, Mes, Día, Dato, COD1, COD2, COD3.
3. El formato descrito arriba debe ser delimitado por espacios (cada elemento separado por uno o más espacios).
4. Para los registros de datos, los datos faltantes deben ser codificados como -999.9 = NA, además serán codificados, en temperatura los valores $< -60^{\circ}\text{C}$ y los valores $> 60^{\circ}\text{C}$ y en precipitación los valores < 0 mm (valores negativos).¹²

2.3.3. Grilla Meteorológica GMET

La Herramienta de Ensamble Meteorológico de Rejilla (GMET, por sus siglas en inglés) es un conjunto cuadrículado de precipitación y temperatura basado en observaciones, en un incremento diario durante un período determinado. Esto permite la estimación de la precipitación y la incertidumbre de la temperatura en el modelado

¹² *Manual de buenas prácticas para la generación, el almacenamiento y la difusión de informática climática en instituciones y organismos del MERCOSUR. Consultado 10/10/2018.*

hidrológico y la asimilación de datos mediante el uso de la varianza del conjunto. La verificación estadística del conjunto indica que generalmente tiene buena confiabilidad y discriminación de eventos de diferentes magnitudes, pero tiene un ligero sesgo de humedad para eventos de umbral alto (> 50 mm). La media del conjunto es similar a otro conjunto de datos hidrometeorológicos ampliamente utilizados, pero con algunas diferencias importantes. El producto conjunto produce una ocurrencia más realista de estadísticas de precipitación (fracción de día húmedo), lo que afecta la derivación empírica de otros campos utilizados en el modelado hidrológico y de la superficie terrestre. Las tasas de lapso de elevación de la temperatura se derivan directamente de las observaciones, lo que resulta en temperaturas de invierno más altas en elevaciones altas en el oeste de Estados Unidos.

El desarrollo de Gridded Meteorological Ensemble Tool (GMET) permite la cuantificación de la incertidumbre para los conjuntos de datos de temperatura y precipitación cuadrículados basados en estaciones, específicamente. GMET completa los muchos pasos necesarios para construir conjuntos meteorológicos cuadrículados:

- Ingiere datos de estación.
- Garantiza que las estaciones se completen en serie (rechaza los registros demasiado cortos para ser validados y llena los vacíos de datos usando métodos bien establecidos),
- Interpola las series de tiempo de precipitación y temperatura completas en serie de los datos de la estación para estimar la probabilidad de ocurrencia de la precipitación y las distribuciones de probabilidad de las cantidades de precipitación.
- Genera campos espaciales cuadrículados utilizando campos aleatorios espaciados espacial y temporalmente para muestrear las distribuciones

estimadas generadas en el paso anterior, lo que permite estimaciones constantes de incertidumbre Tanto en el espacio como en el tiempo.¹³

GMET se ha utilizado para desarrollar un conjunto de datos de precipitación y temperatura diarios de primera clase en su clase a una resolución espacial de un octavo grado para los Estados Unidos contiguos desde 1980 hasta 2012. El conjunto de datos de 100 miembros, se compara bien con los productos de datos establecidos, refleja incertidumbre de observación e interpolación.

Los conjuntos producidos por GMET se han utilizado en la asimilación de datos hidrológicos (por ejemplo, para evaluar el potencial de la asimilación de datos de nieve para mejorar la predicción del flujo de la corriente en todo el oeste de los EE. UU.) Y la evaluación del modelo de clima regional de alta resolución.

La metodología de GMET reconoce la incertidumbre inherente de los productos de interpolación de precipitación y temperatura debido a las observaciones escasas, representatividad de las observaciones y errores de medición.¹⁴

Reconociendo esta incertidumbre, el método propuesto produce un ensamble de precipitación y temperatura a paso de tiempo diario basado en las observaciones existentes. La generación de ensambles permite la estimación de una varianza para determinar la incertidumbre, y además durante la validación del producto se realizó una validación cruzada con datos de estaciones observadas. La verificación estadística del ensamble permite identificar la confiabilidad del ensamble. Aunque el promedio del ensamble es similar a otros sets de datos existentes a nivel global, el producto de GMET es una representación más realista de la estadística de la precipitación por considerar parámetros espaciales invariantes en el tiempo y una red de estaciones de medición puntual, lo cual impacta en la derivación empírica de otros

¹³ <https://ncar.github.io/hydrology/models/GMET>. Consultado 15/10/2018.

¹⁴ http://www.scielo.org/bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1562-38232010000100001. Consultado 25/11/2018.

campos usados en modelación hidrológica. La habilidad para la modelación hidrológica de la grilla es corroborada durante la ejecución de los balances hídricos.

Los algoritmos usados en GMET son una extensión del trabajo realizado para desarrollar un ensamble diario de precipitación y temperatura basado en estaciones para USA. El propósito principal de este set de datos es ser usado como entrada para la modelación de superficie de suelo e hidrología y para estudios de asimilación de datos, pero también puede ser usado para la validación de modelos atmosféricos. La descripción del método se basa principalmente en la explicación del sistema de interpolación probabilística.

La interpolación probabilística en la que se basa GMET tiene dos pasos principales: la interpolación espacial, y la generación del ensamble.

La interpolación espacial usa series de datos completa de precipitación y temperatura. Este set de datos cubre el territorio para el cual se quieren generar los resultados.

Para la generación del ensamble, se usan campos aleatorios correlacionados espacialmente (SCRFS por sus siglas en inglés – Spatially Correlated Random Fields). El método para generar los SCRFS genera números progresivamente para cada punto de la grilla, condicionando los números aleatorios de acuerdo con los números generados previamente. El SCRFS se genera para cada día de forma independiente para cada una de las variables: precipitación, temperatura media y rango diario (diferencia entre temperatura máxima diaria y mínima).

El promedio del ensamble es el candidato ideal para utilizar como entrada a posteriores estudios y la desviación estándar, la representación de la incertidumbre en los datos de entrada de clima (precipitación y temperatura específicamente).¹⁵

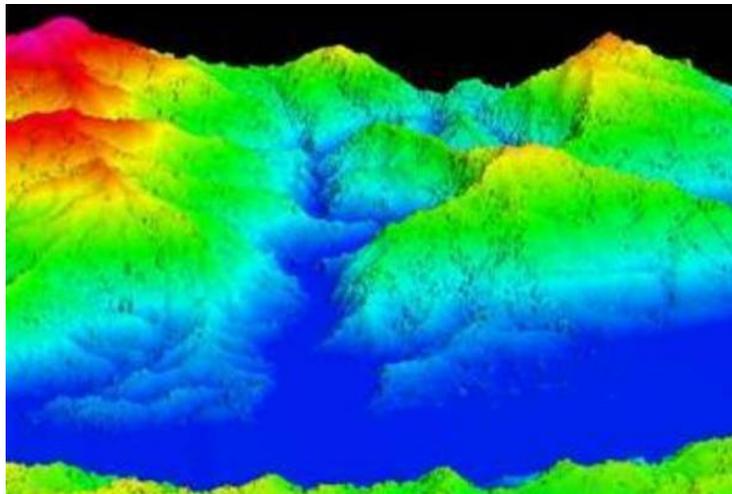
¹⁵ Balance Hídrico Superficial de Bolivia. Noviembre 2017. Consultado 18/10/2018.

2.3.4. Modelos Digitales de Elevación

Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. Estos valores están contenidos en un archivo de tipo ráster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados.

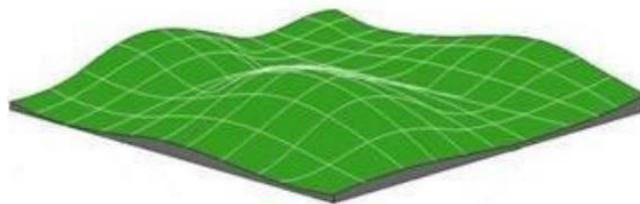
En los modelos digitales de elevación existen dos cualidades esenciales que son la exactitud y la resolución horizontal de representación en formato digital, las cuales varían dependiendo del método que se emplea para generarlos.

Figura 2.10: Modelo Digital de Elevación con Vista en Perspectiva



Fuente: INEGI, Modelos Digitales de Elevación.

Figura 2.11: Representación de un Modelo Digital de Elevación en Formato Ráster



Fuente: INEGI, Modelos Digitales de Elevación.

2.3.4.1. Modelos digitales de elevación para representar el relieve

Desde el siglo XVII la representación del relieve siempre ha tenido importancia relevante para conocer la información que existe acerca de los elementos en la superficie de la tierra, siendo de gran importancia para el análisis y estudios de muy diversa índole en los campos de ingeniería civil y ciencias de la tierra, en particular, el estudio de la forma del terreno y los elementos presentes en el mismo constituye un importante insumo para muchos usuarios como cartógrafos, geólogos, hidrólogos, ingenieros, militares y ahora en la actualidad para los sistemas de información geográfica (SIG).

Además es posible derivar o generar información a partir de los modelos digitales de elevación que nos posibilita que tengamos más datos de apoyo para el cumplimiento de objetivos, toma de decisiones y desarrollo de proyectos relacionados con el relieve, los datos de apoyo derivados pueden ser curvas de nivel, corrientes de agua, mapas de pendientes, redes irregulares de triángulos (TIN), imágenes del relieve sombreado o mapa de sombras, puntos acotados de altura, modelos vectoriales de la altura de los elementos presentes en el terreno, líneas estructurales, entre otros.

Hoy en día con los sistemas de información geográfica el modelo digital de elevación tiene un abanico de representaciones que permiten al usuario desarrollar mejores análisis de estos datos del relieve ya que permiten visualizar los mismos mediante tintas hipsométricas, realizar perfiles longitudinales, obtener vistas en 3D, modelamiento dinámico en 3D, gamas tradicionales de color, intervalos de color de acuerdo a la variación y rangos de la elevación, sobre posición de datos o información en formato vectorial de diferentes ámbitos, temas y aplicaciones.

2.3.4.4. Uso de Modelos Digitales de Elevación.

Los Modelos Digitales de Elevación son ampliamente utilizados en aplicaciones relacionadas con el uso y manejo de recursos naturales, de las cuales pueden distinguirse grandes categorías de aplicaciones que utilizan los modelos como son

geodesia y fotogrametría, ingeniería civil, planeación y manejo de recursos naturales, ciencias de la tierra, en aplicaciones militares, cartografía especializada, prevención y atención a desastres naturales, entre otras.

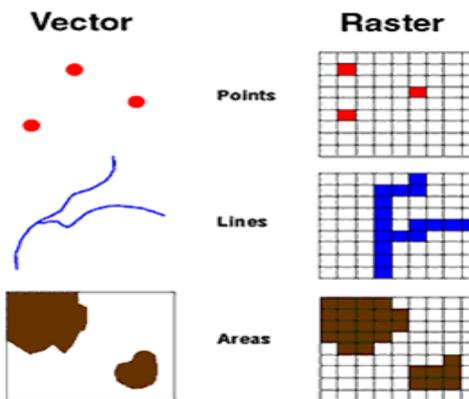
2.3.5. Datos Ráster

En su forma más simple, un ráster consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información, como la temperatura. Los rásteres son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados.

Los datos almacenados en formato ráster representan fenómenos del mundo real:

- Los datos temáticos (también conocidos como discretos) representan entidades como datos de la tierra o de uso de la tierra.
- Los datos continuos representan fenómenos como la temperatura, la elevación o datos espectrales, entre ellos imágenes satelitales y fotografías aéreas.

Figura 2.12: Datos Ráster



Fuente: INEGI, Datos ráster.

Los rásteres temáticos y continuos se pueden visualizar en el mapa en forma de capas de datos junto con otros datos geográficos, pero a menudo se utilizan como datos de origen para el análisis espacial con la extensión de ArcGIS Spatial Analyst extension. Los rásteres de imágenes suelen utilizarse como atributos en tablas: pueden

visualizarse con datos geográficos y se utilizan para transmitir información adicional acerca de las entidades geográficas de mapas.

Si bien la estructura de datos ráster es simple, es excepcionalmente útil para una amplia variedad de aplicaciones. En un SIG, los usos de los datos ráster se pueden dividir en cuatro categorías principales:

- Rásteres en forma de mapas base.
- Rásteres en forma de mapas de superficie.
- Rásteres en forma de mapas temáticos.
- Rásteres en forma de atributos de una entidad.

Las ventajas de almacenar los datos en forma de ráster son las siguientes:

- Estructura de datos simple: matriz de celdas con valores que representan una coordenada y que, en ocasiones, se encuentra vinculada a una tabla de atributos
- Formato potente para análisis espacial y estadístico avanzado
- Capacidad de representar superficies continuas y llevar a cabo análisis de superficie
- Capacidad de almacenar puntos, líneas, polígonos y superficies de manera uniforme
- Capacidad de llevar a cabo superposiciones rápidas con datasets complejos.¹⁶

¹⁶ <https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf>. Consultado 30/10/2018.

CAPÍTULO III: ACTIVIDADES PRELIMINARES

3.1. RECOPIACIÓN DE DATOS TERMOPLUVIOMÉTRICOS DE LA CUENCA DEL RÍO CAMACHO A NIVEL DIARIO.

En la cuenca del río Camacho y sus alrededores se han recopilado 23 estaciones del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología), de las cuales 11 estaciones se encuentran dentro de la cuenca y 12 estaciones que se encuentran fuera de la cuenca.

En la siguiente tabla se muestra un listado de las estaciones recopiladas.

Tabla 3.4: Listado de Estaciones

N°	Estación	Provincia	Estado	Tipo	Latitud (°S)	Longitud (°O)	Altitud (m.s.n.m.)
1	Aeropuerto Tarija	Cercado	Abierta	S	21.547	64.711	1,849
2	Alizos	Aviles	Cerrada	P	21.817	64.867	2,040
3	Calamuchita	Aviles	Cerrada	TP	21.700	64.633	1,680
4	Calderillas	Aviles	Cerrada	P	21.750	64.950	2,800
5	Cañas	Arce	Abierta	CO	21.902	64.851	2,078
6	Canchasmayu	Arce	Cerrada	P	21.883	64.883	1,120
7	Ce.Na.Vit.	Aviles	Abierta	CP	21.725	64.658	1,730
8	Chocloca	Aviles	Abierta	CO	21.748	64.729	1,795
9	Colón Norte	Aviles	Cerrada	TP	21.717	64.633	1,800
10	Colón Sud	Aviles	Cerrada	P	21.750	64.650	2,000
11	Concepción	Aviles	Cerrada	P	21.700	64.617	1,710
12	Copacabana Taxara	Aviles	Cerrada	P	21.800	65.100	3,800
13	Juntas	Aviles	Abierta	CP	21.810	64.798	1,882
14	Laderas Centro	Aviles	Cerrada	P	21.650	64.533	2,080
15	Padcaya	Arce	Abierta	CO	21.883	64.717	2,010
16	Pampa Redonda	Cercado	Cerrada	P	21.700	64.817	1,950
17	Pinos Sud	Cercado	Abierta	P	21.759	64.878	2,100

18	Rejara	Arce	Cerrada	P	22.017	64.983	3,000
19	Rincón Cañas	Arce	Cerrada	P	21.967	64.900	2,280
20	Rosillas	Arce	Abierta	P	21.917	64.767	2,050
21	San Andrés	Cercado	Abierta	CP	21.623	64.815	1,987
22	San Jacinto Sud	Cercado	Abierta	P	21.610	64.720	1,820
23	San Nicolás	Aviles	Cerrada	CO	21.717	64.683	1,800

Referencias

CO= Climatológica Ordinaria

CP= Climatológica Principal

P= Pluviométrica

S= Sinóptica

SA= Automática Sinóptica Agrometeorológica

SM= Automática Meteorológica

TP= Termopluiométrica

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 3.5 se muestran los años de registros de cada una de las estaciones, tanto precipitación como temperatura.

Tabla 3.5: Estaciones con Años de Registro de Precipitación y Temperatura.

N°	Estación	Precipitación		Temperatura	
		Año inicio	Año fin	Año inicio	Año fin
1	Aeropuerto Tarija	1954	2018	1962	2018
2	Alizos	1977	1993		
3	Calamuchita	1975	1994	1990	1994
4	Calderillas	1975	2003		
5	Cañas	1977	2018	1992	2017
6	Canchasmayu	1975	1993		
7	Ce.Na.Vit.	1989	2017	1989	2017

8	Chocloca	1975	2012	1992	2012
9	Colón Norte	1987	1994	1987	1994
10	Colón Sud	1977	1993	1977	1993
11	Concepción	1975	1987		
12	Copacabana Taxara	1970	1993		
13	Juntas	1975	2018	1987	2012
14	Laderas Centro	1979	2003		
15	Padcaya	1943	1992	1943	1992
16	Pampa Redonda	1966	1994		
17	Pinos Sud	1972	2018		
18	Rejara	1980	2003		
19	Rincón Cañas	1980	2003		
20	Rosillas	1989	2016		
21	San Andrés	1975	2017	1980	2017
22	San Jacinto Sud	1975	2018	1975	2018
23	San Nicolás	1986	2004	1986	2004

Fuente: Elaboración Propia

3.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN CON ESTACIONES SIN RELLENAR DATOS.

Para el procesamiento de datos en RStudio (plataforma de desarrollo integrado para el lenguaje de programación R, dedicado a la computación estadística y gráficos; que apoya la ejecución del código) se toma en cuenta todas las estaciones recopiladas en el punto 3.1., El formato en el que tienen que estar las estaciones antes del procesamiento se muestra en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6: Formato Ejemplo Estación Aeropuerto Tarija, Registros de Precipitación.

AÑO: 1954													
DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	7.0
2	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.6	20.6
4	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	17.0
8	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	11.8
9	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	3.0
11	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	125.0	0.0	125.0
12	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	3.0
14	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.0	0.0	42.0
16	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.8	0.0	17.8
18	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	10.0	10.4	23.9
19	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	0.0	15.0
20	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0
22	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0
23	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	2.0
24	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.9	39.9
28	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
31	****	****	****	****	0.0	****	0.0	0.0	****	0.0	****	0.0	0.0
SUM	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	7.5	212.8	106.7	330.0
MED	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	2.5	30.4	17.8	13.4
MAX	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	3.5	125.0	39.9	125.0
MIN	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0						
N	****	****	****	****	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	7.0	6.0	17.0

Fuente: SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología).

3.2.1. Procesamiento en RStudio.

Para un mejor desarrollo en los códigos de control de calidad se nombra las estaciones con la nomenclatura que se muestra en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7: Nomenclatura de las Estaciones

N°	Nomenclatura	Estación	Latitud (° S)	Longitud (° O)
1	BO6031	Aeropuerto Tarija	21.547	64.711
2	BO6085	Alizos	21.817	64.867
3	BO6131	Calamuchita	21.700	64.633
4	BO6004	Calderillas	21.750	64.950
5	BO6006	Cañas	21.902	64.851
6	BO6092	Canchasmayu	21.883	64.883
7	BO6154	Ce.Na.Vit.	21.725	64.658
8	BO6133	Chocloca	21.748	64.729
9	BO6007	Colón Norte	21.717	64.633
10	BO6156	Colón Sud	21.750	64.650
11	BO6008	Concepción	21.700	64.617
12	BO6136	Copacabana Taxara	21.800	65.100
13	BO6014	Juntas	21.810	64.798
14	BO6175	Laderas Centro	21.650	64.533
15	BO6019	Padcaya	21.883	64.717
16	BO6022	Pampa Redonda	21.700	64.817
17	BO6023	Pinos Sud	21.759	64.878
18	BO6024	Rejara	22.017	64.983
19	BO6187	Rincón Cañas	21.967	64.900
20	BO6188	Rosillas	21.917	64.767
21	BO6028	San Andrés	21.623	64.815
22	BO6027	San Jacinto Sud	21.610	64.720
23	BO6082	San Nicolás	21.717	64.683

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2. Formateo de Estaciones.

Después de tener todas las estaciones en el formato mostrado en la Figura 3.13, se procede a introducir los datos en el código RStudio para obtener lo siguiente:

Figura 3.13: Formato de Estaciones.

V1	V2	V3	V4	V5
1999-12-20	1999	12	20	0
1999-12-21	1999	12	21	0
1999-12-22	1999	12	22	0
1999-12-23	1999	12	23	0
1999-12-24	1999	12	24	7.2
1999-12-25	1999	12	25	53
1999-12-26	1999	12	26	0
1999-12-27	1999	12	27	14.6
1999-12-28	1999	12	28	35
1999-12-29	1999	12	29	4.4
1999-12-30	1999	12	30	0
1999-12-31	1999	12	31	0

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.3. Unión de Datos de Cada Una de las Estaciones.

Para la unión de datos de cada una de las estaciones se procede también mediante un código en RStudio dando como resultado:

Figura 3.14: Unión de Variables de una Estación.

1999-12-20	1999	12	20	0
1999-12-21	1999	12	21	0
1999-12-22	1999	12	22	0
1999-12-23	1999	12	23	0
1999-12-24	1999	12	24	7.2
1999-12-25	1999	12	25	53
1999-12-26	1999	12	26	0
1999-12-27	1999	12	27	14.6
1999-12-28	1999	12	28	35
1999-12-29	1999	12	29	4.4

Fuente: Elaboración Propia

3.2.4. Procesamiento de Estaciones Unidas en RClindex.

Se procede a introducir los resultados obtenidos en los puntos 3.2.2. y 3.2.3., en la plataforma RStudio para obtener el control de calidad de cada una de las estaciones mediante RClindex.

A continuación, se muestra a detalle el análisis realizado para la estación “Cañas”.

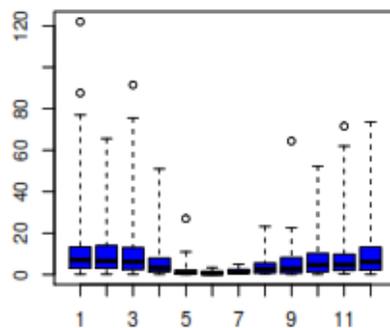
i. Estación “Cañas”

ii. Observación de la información gráfica:

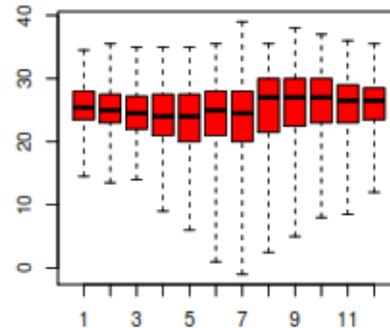
Estación	Provincia	Tipo	Latitud (° S)	Longitud (° O)	Altitud (m.s.n.m.)	Variable	Inicio	Fin
Cañas	Arce	CO	21° 54' 08"	64° 51' 03"	2,078	PCP	1977	2018
						TX-TN	1992	2018

- Cañas Boxes

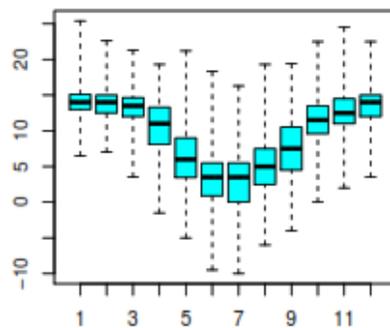
iii. NON ZERO PREC



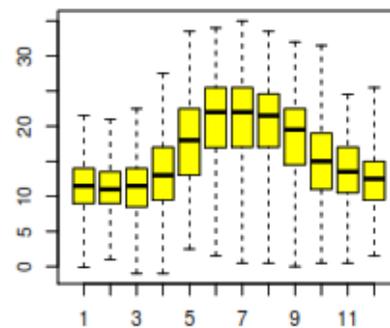
iv. TX



v. TN



vi. DTR



- iii. Las precipitaciones comprendidas entre el 25% y 50% del registro es menos disperso que entre el 50% y el 75%; el bigote inferior ($X_{min,P}$) es más corto que el superior, por ello el 25% de las precipitaciones están más concentrados que el 25% de los mayores, existen 6 valores mayores a 60 mm. correspondientes al mes de enero hasta marzo, que podrían deberse a datos extremos que no son de dudosa veracidad, por encontrarse en los periodos de estación de lluvia, **existe 1 outlier mayor a 20 mm. en el mes de mayo de dudosa veracidad** puesto que en la estación más cercana Alizos y Juntas no se registra precipitación, **existe 1 outlier mayor a 60 mm. en el mes de septiembre de dudosa veracidad** porque en la estación de Alizos las precipitaciones son menores a 20 mm. y en la estación de Juntas alcanza valores de hasta 25 mm., existe 1 outlier mayor 60 mm. en el mes de noviembre, pero es similar al dato extremo de la estación de Alizos, por lo cual no se considera de dudosa veracidad.
- iv. Los diagramas de caja de la mayoría de los periodos de registros de temperatura están comprendidas entre el 25% y 50%, siendo más disperso que entre el 50% y el 75%; el bigote inferior ($X_{max,T}$) es más largo que el inferior. Por ello, el 25% de las temperaturas están menos concentrados que el 25% de los mayores; las medianas de la distribución se hallan entre 20° y 30° lo que es usual en la zona.
- v. Las medianas de los diagramas de caja en las temperaturas mínimas se distribuyen con normalidad a lo largo del año.
- vi. De la inspección del gráfico de DTR, existen oscilaciones diarias relativamente normales.

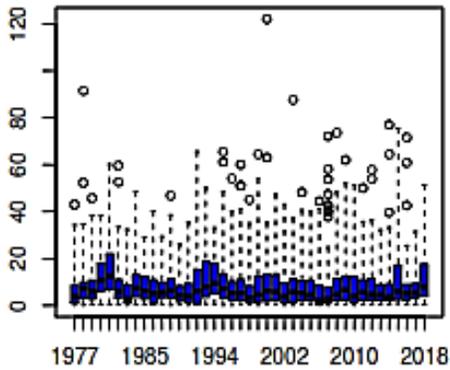
- **Cañas Boxseries**

- vii. La gráfica de precipitación advierte la presencia de 40 valores outliers localizándolos en su año de ocurrencia.
- viii. En los valores de TX existen 6 valores atípicos que son sensiblemente inferiores al primer cuartil que han sido objeto de revisión y se han

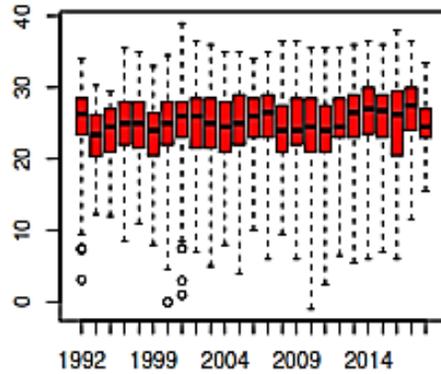
inspeccionado con estaciones cercanas, como es el caso de la estación juntas que presenta el mismo patrón de medición.

- ix. En los valores de TN existe 1 valor atípico.
- x. En los valores de DTR no existe valores atípicos.

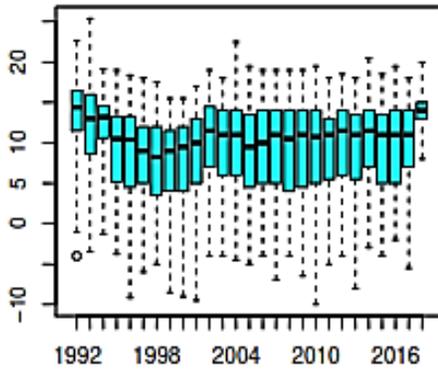
vii. NON ZERO PREC



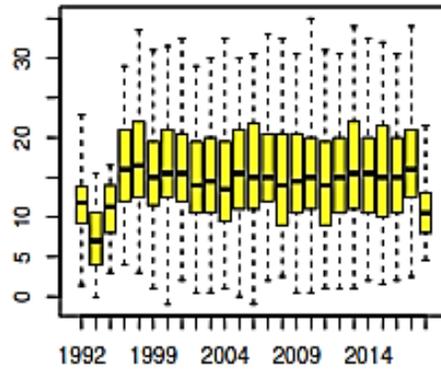
viii. TX



ix. TN



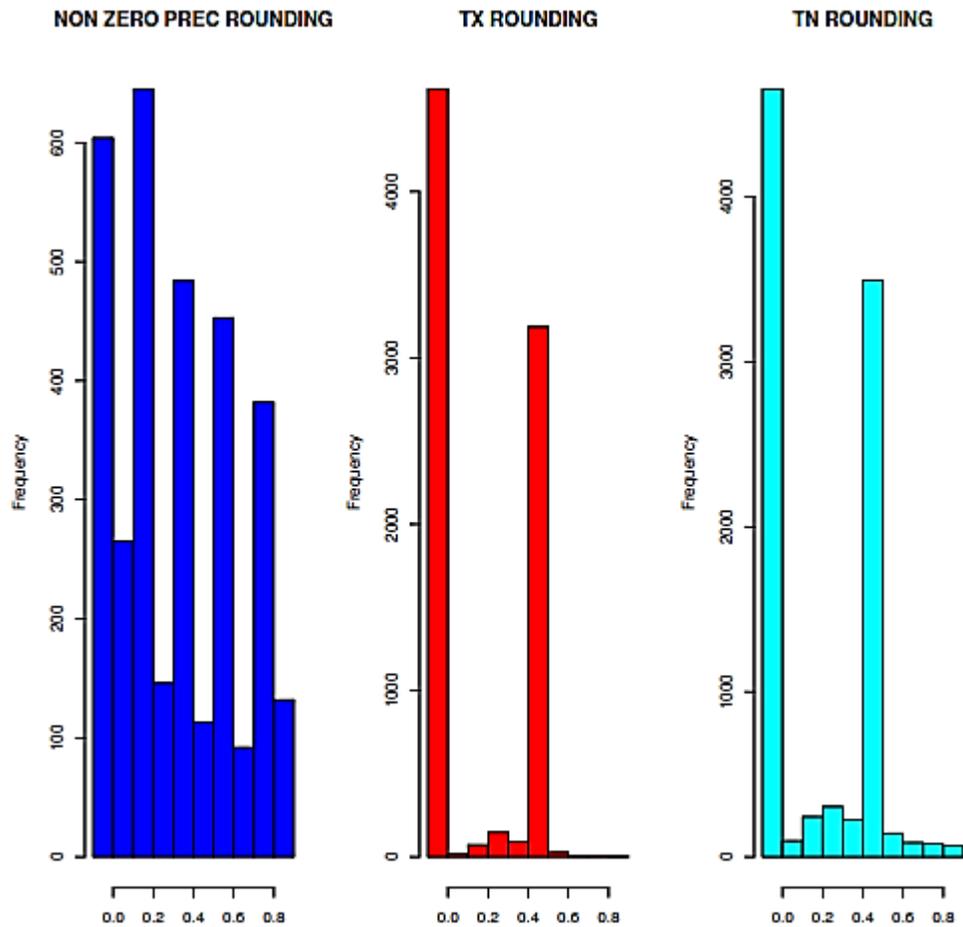
x. DTR



xi. Gráfica de Redondeo

El gráfico del redondeo muestra que, en la precipitación, la mayor parte de las observaciones se distribuyen con prevalencia en decimales.

Para el caso de la temperatura existe prevalencia de medición al redondeo de 0.5 de forma exagerada.



xi. Inspección de ficheros de texto.

- i. No existen fechas duplicadas, ni valores interdiarios excesivamente elevados
- ii. En la inspección del fichero cañas_tmaxmin. Su contenido indica valores que deben ser inspeccionados, donde incluyen **4 casos donde la máxima temperatura es menor que la mínima temperatura**, son los siguientes:

1993 1 30 35 20.3 20.4

2000 3 27 0 14 15

2005 9 11 0 6 6

2006 4 8 8.3 14.5 15.5

- iii. Inspeccionando el fichero de los outliers. El mismo agrupa la información en 7 categorías distintas. Serán marcados con negritas algunos que podrían ser erróneos.

pc up

2000 1 24 122 24.5 14.5 10

2003 1 1 87.6 25 16.5 8.5

1978 3 17 91.5 NA NA NA *El mismo patrón se presenta en la estación
Canchasmayu.*

1996 5 3 27 NA 8.3 NA

1999 9 26 64.4 22 14 8

2016 11 27 71.6 28 14 14

tx up

tx low

tn up

tn low

tr up

tr low

- iv. La inspección de los ficheros “fatline” identifica 6 rachas largas de valores iguales en la temperatura mínima; de acuerdo a la variabilidad interdiaria del clima no es necesario mayor análisis pues se asume que no fueron valores rellenados.

2005 9 14 0 3

2010 8 10 0 3

2015 1 30 14 3

2015 6 9 3.5 3

2017 6 15 0 3

2018 2 1 15 3

- v. El fichero cañas_toolarge, no hay reporte
- vi. En el fichero cañas_txjump, las diferencias de registro con el día anterior son más de 20°, se marca con negritas (las que tienen una excesiva diferencia interdiario).

2000 9 23 24

El mismo patrón con estación Juntas.

2002 7 24 23.5

2002 10 20 20

2003 6 2 21

2003 7 8 22.5

2003 7 20 20

2004 7 9 20.5

2004 8 20 20

2007 8 25 21

2009 8 5 23.5

2009 8 7 23

El mismo patrón con estación Juntas.

2012 8 23 20.5

2012 10 22 20

2014 8 6 25.5

2015 7 13 20

2016 11 1 20

Los años que no están marcados con negrita también tienen el mismo jump con la estación de Juntas.

El control de calidad de las estaciones mediante RClimdex se encuentran en el Anexo A.

3.2.5. Procesamiento de Estaciones Unidas en DECADE.

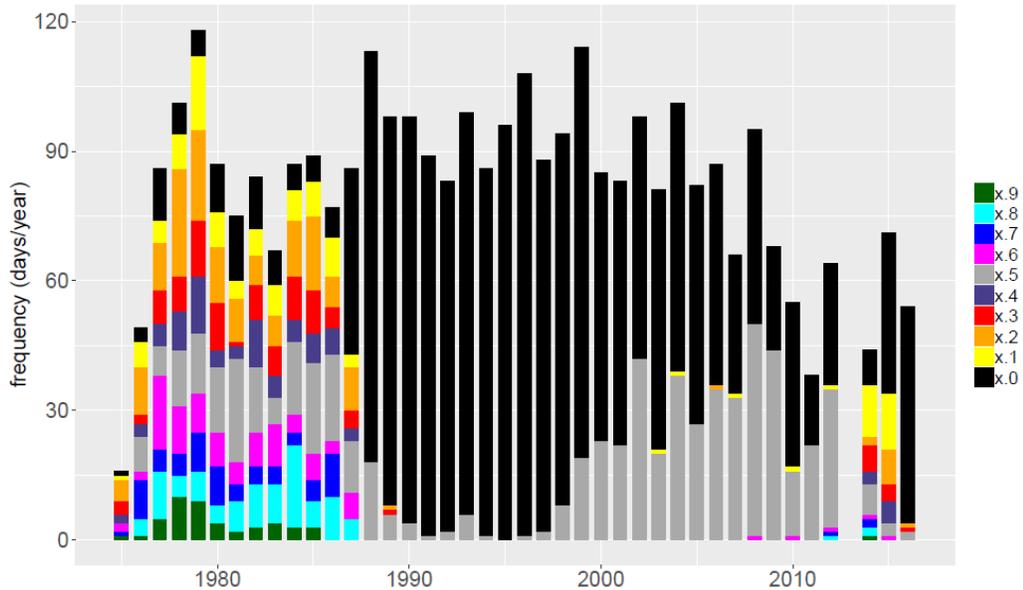
Se procede a introducir los resultados obtenidos de los puntos 3.2.2 y 3.2.3., en la plataforma RStudio para obtener como resultado el control de calidad de cada una de las estaciones mediante DECADE.

A continuación, se muestra a detalle el análisis realizado para la estación “Juntas”.

Estación Juntas

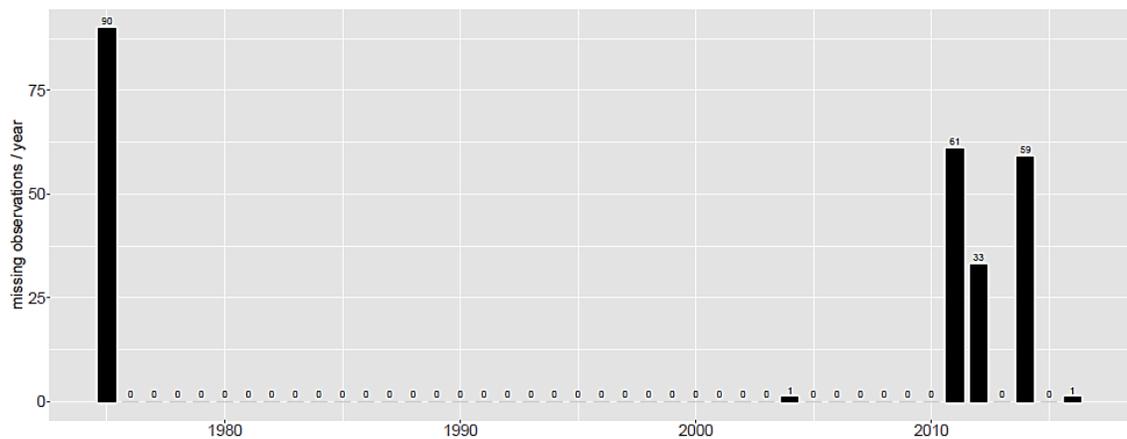
i. Control de calidad de datos de precipitación.

a. Decimals



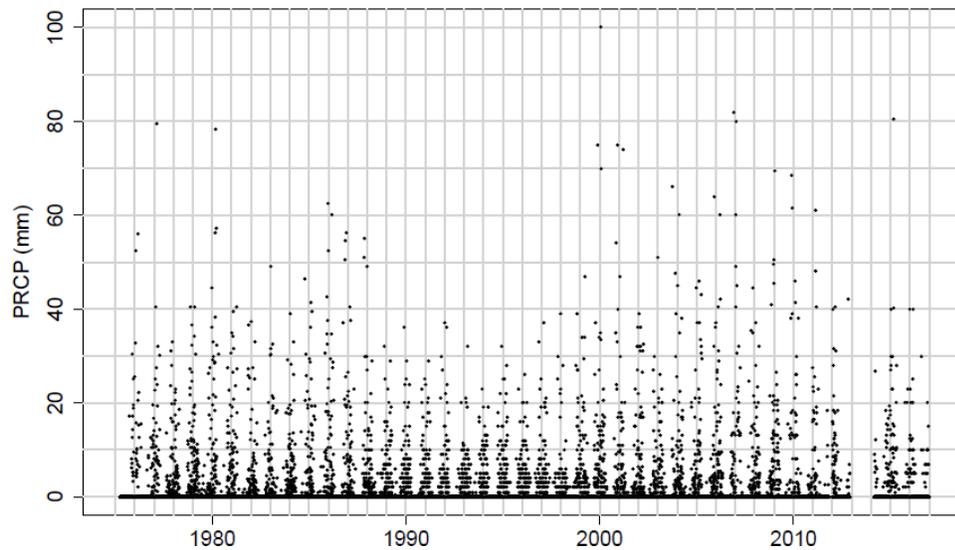
Se observa que los registros de precipitación de la estación Juntas presentan una distribución normal en los decimales y no tienden a ser redondeados al entero en sus primeros años de registro y en el periodo 1988-2012 se ve que los registros tienen mayor frecuencia a ser redondeados al entero y al redondeo de 0.5.

b. Missing



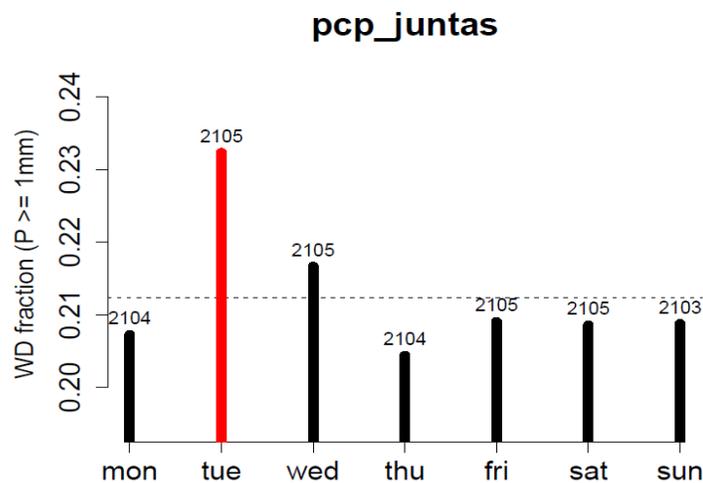
Se observa la cantidad de datos faltantes por años para la variable precipitación de la estación, se puede ver que, en el año 1975 no se tiene registro de 90 días, en 2004 y 2016 de un día, 2011 de 61 días, 2012 de 33 días y en 2014 de 59 días.

c. Pointplots



Se observa la concentración de los registros en valores que van de 0 a 20 mm, pero se observan también datos más dispersos que llegan hasta 80mm y la presencia de un dato de dudosa veracidad o posible evento extremo que debe ser revisados en el año 2000 con un valor de 100 mm.

d. Weekly Cycles



Se observa que para la estación Juntas se presenta el martes como indicador de un ciclo semanal en la serie de acuerdo al test binomial aplicado a cada día de la semana para toda la serie estudiada.

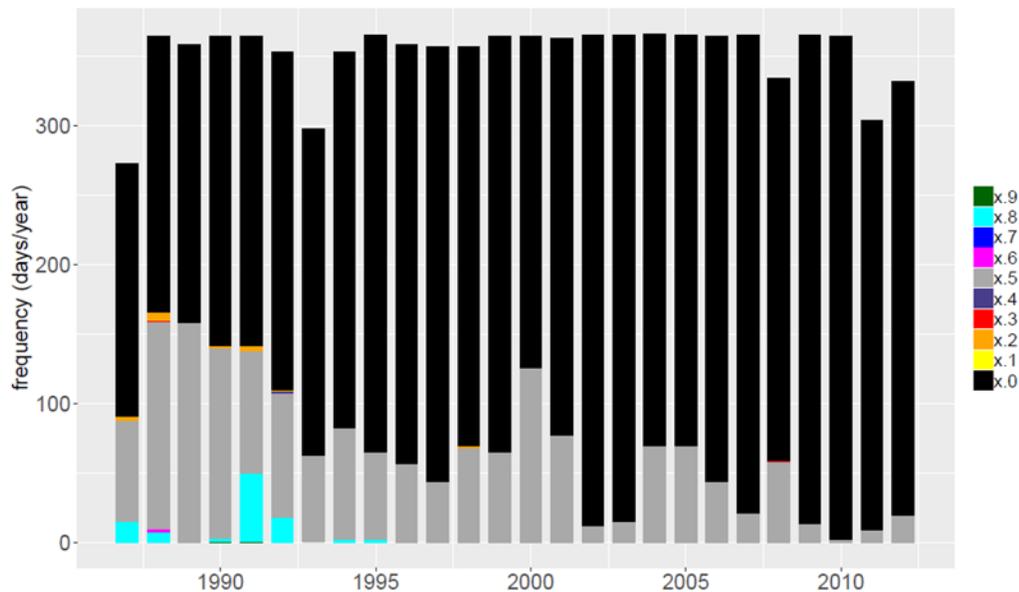
e. Statistics

```
stations total 1
data >= 8431.5 days 1
data < 8431.5 days 0
pcp_juntas NA
```

Se observa en la primera fila que una estación fue analizada, en la segunda fila nos muestra que la estación tiene registros mayores a 20 años, en la tercera fila se observa que la cantidad de estaciones con registro menor a 20 años es cero ya que se analizó una estación y la misma tiene registro de más de 20 años y en la última fila observamos la variable y el nombre de la estación que se analizó seguido de un NA que quiere decir que el análisis se realizó correctamente.

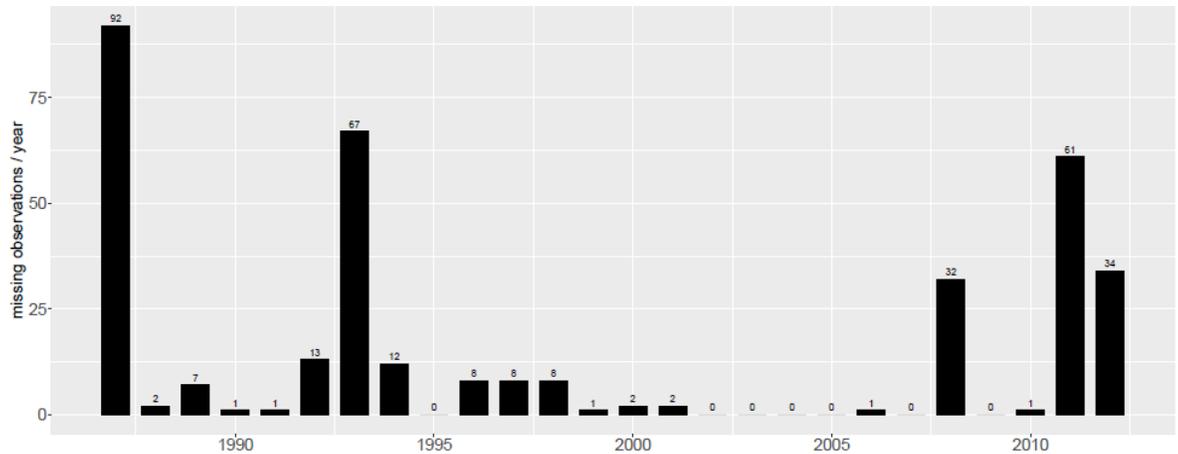
ii. Control de calidad de datos de temperatura

a. Decimals



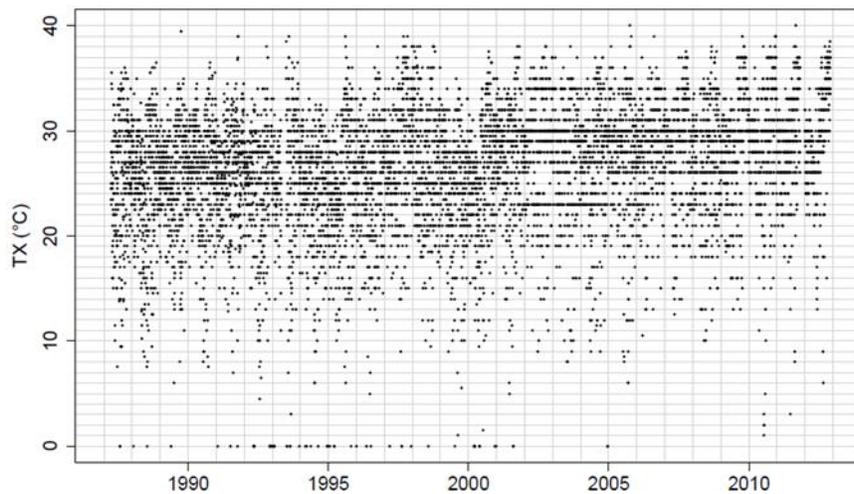
Se observa que en los registros de temperatura de la estación Juntas existe una prevalencia de medición al entero y al redondeo de 0.5 en la extensión de su registro que va desde 1987 a 2012.

b. Missing



Se observa la cantidad de datos faltantes por años para la variable temperatura de la estación, se puede ver que, en el año 1987 no se tiene registro de 92 días, en 1988, 2000 y 2001 de dos días, 1989 de siete días, 1990, 1991, 1999, 2006 y 2010 de un día, 1992 de 13 días, 1993 de 67 días, 1994 de 12 días, 1996, 1997 y 1998 de ocho días, 2008 de 32 días, 2011 de 61 días y en 2012 de 34 días.

c. Pointplots



Se observa la concentración de los registros en valores que van de 20 a 32°C, pero se observan también la presencia de datos más dispersos, además de registros que se acercan a 0°C que deben ser revisados para verificar si se trata de mal registro ya que son datos de dudosa veracidad al estar analizando temperaturas máximas.

d. Statistics

```
stations total 1
data >= 8431.5 days 1
data < 8431.5 days 0
tx_juntas NA
```

Se observa en la primera fila que una estación fue analizada, en la segunda fila muestra que la estación tiene registros mayores a 20 años; en la tercera fila se observa que la cantidad de estaciones con registro menor a 20 años es cero ya que se analizó una estación y la misma tiene registro de más de 20 años y en la última fila observamos la variable y el nombre de la estación que se analizó seguido de un NA que quiere decir que el análisis se realizó correctamente.

El control de calidad de las estaciones mediante DECADE se encuentran en el Anexo B.

3.2.6. Visualización de Años de Registros de las Estaciones Termopluviométricas.

Para una mejor visualización de los años de registro de las estaciones que se encuentran en la cuenca del río Camacho se tienen las siguientes tablas.

Tabla 3.9: Diagrama de Temperatura Máxima

N°	Estación	Tipo	TX (DATOS Desde 1980 al 2016)																												% de completitud 1980-2016								
			1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
BO6031	Aeropuerto Tarija	S																1																			1	100%	
BO6085	Calamuchita	TP									10																												6%
BO6131	Cañas	CO											9					11																		1			51%
BO6004	Ce.Na.Vit.	CP																																					1%
BO6006	Chocloca	CO																																					21%
BO6092	Colon Norte	TP																																					16%
BO6154	Juntas	CP																																					60%
BO6133	Padcaya	CO																																					56%
BO6007	San Andres	CP																																					56%
BO6156	San Jacinto Sud	P																																					60%
BO6008	San Nicolas	CO																																					40%

Años completos con datos faltantes

Número de meses sin registro (sin datos mensuales)

Fuente: Elaboración Propia

3.2.7. Análisis de la Información de Estaciones con Datos Rellenados.

De acuerdo al análisis de la información, se definió rellenar los datos faltantes de las estaciones de acuerdo al porcentaje de completitud en el periodo a estudiar, la metodología que se emplea para este proceso es mediante la herramienta FillData; además se consideran las estaciones con información completa obtenidas del Balance Hídrico Superficial de Bolivia. En las siguientes tablas se muestra a detalle las estaciones con datos faltantes rellenados.

Tabla 3.11: Estaciones con Datos Faltantes Rellenados Mediante FillData.

N°	Estación	Correlación con estaciones cercanas	Método	R
BO6085	Alizos	Juntas, Cañas, Ce.Na.Vit.	Multivariado, razón o radio normal	0.68
BO6131	Calamuchita	San Jacinto, Juntas, Ce.na.vit.	Multivariado, razón o radio normal	0.70
BO6136	Copacabana Taxara	Pinos Sud, Cañas, Juntas.	Multivariado, razón o radio normal	0.67
BO6022	Pampa Redonda	Pinos Sud, Cañas, Juntas.	Multivariado, razón o radio normal	0.75
BO6023	Pinos Sud	Juntas, San Andrés, Cañas.	Multivariado, razón o radio normal	0.72
BO6028	San Andrés	San Jacinto, Turumayo, Tolomosa.	Multivariado, razón o radio normal	0.80
BO6187	Rincón Cañas	Cañas, Ce.na.vit, Juntas.	Multivariado, razón o radio normal	0.40
BO6019	Padcaya	Juntas, Cañas.	Multivariado, razón o radio normal	0.67

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.12: Estaciones con Relleno de Datos Faltantes Obtenidas del Balance Hídrico Superficial de Bolivia.

N°	Estación	Método
BO6004	Calderillas	Estación rellenada en el Balance.
BO6006	Cañas	Estación rellenada en el Balance.
BO6154	Ce.Na.Vit.	Estación rellenada en el Balance.
BO6133	Chocloca	Estación rellenada en el Balance.
BO6014	Juntas	Estación rellenada en el Balance.
BO6175	Ladera Centro	Estación rellenada en el Balance.
BO6024	Rejara	Estación rellenada en el Balance.
BO6027	San Jacinto Sud	Estación rellenada en el Balance.

Fuente: Elaboración Propia.

3.3. SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES TERMOPLUVIOMÉTRICAS

Al concluir el análisis de la información de las estaciones termopluviométricas y de acuerdo al Balance Hídrico Superficial de Bolivia del 2016, son 6 las estaciones que se ha desechado por la poca extensión del número de registros y por una correlación muy baja con sus estaciones vecinas, siendo conveniente no emplearlas por la incertidumbre que genera extender el registro y uniformizarlo con el que se tiene en las demás estaciones, se han rellenado 8 estaciones, y se usaron 9 estaciones del balance rellenadas, por lo cual se ha utilizado un total de 17 estaciones para la evaluación con el GMET.

Tabla 3.14: Estaciones Seleccionadas.

N°	Estación
BO6031	Tarija Aeropuerto
BO6085	Alizos
BO6131	Calamuchita
BO6004	Calderillas
BO6006	Cañas
BO6092	Canchasmayu

BO6154	Ce.Na.Vit.
BO6133	Chocloca
BO6007	Colón Norte
BO6156	Colón Sud
BO6008	Concepción
BO6136	Copacabana Taxara
BO6014	Juntas
BO6175	Ladera Centro
BO6019	Padcaya
BO6022	Pampa Redonda
BO6023	Pinos Sud
BO6024	Rejara
BO6187	Rincón Cañas
BO6188	Rosillas
BO6028	San Andrés
BO6027	San Jacinto Sud
BO6082	San Nicolás

REFERENCIAS

	Estación anulada (poca extensión de registro)
	Estación rellena en el Balance.
	Estación rellena con FillData.

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS MEDIANTE LA GRILLA METEOROLÓGICA GMET

4.1. APLICACIÓN DE LA GRILLA METEOROLÓGICA

4.1.1. Procesamiento en RStudio

El programa en R permite a evaluar GMET contra las observaciones de estaciones in situ. En general el código consiste desde la lectura de los archivos de GMET hasta la preparación de las series de referencia, para diferentes análisis categóricos y estadísticos.

4.1.2. Generación de Ensamblajes de Grillas Meteorológicas.

Para definir las grillas meteorológicas se realiza las corridas en la herramienta GMET con una resolución espacial de 0.05° y 0.01°, a una escala de tiempo diario, mensual y anual para el período hidrológico 1980-2016.

Tabla 4.14: Generación de Ensamblajes con Diferentes Resoluciones y DEM

DEM/Resolución Espacial	Tiempo de ejecución		Tamaño de archivo	
	Grid regression	30 ensembles	Grid regression	30 ensembles
DEM90, resolución espacial 0.05	8m6.856s	6m39.735s	696 MB	1.7 GB
DEM90, resolución espacial 0.01	363m3.481s	535m16.457s	17.2 GB	40.8 GB
DEM12, resolución espacial 0.05	7m38.754s	4m343.329s	554. MB	1.4 GB

Fuente: Elaboración Propia.

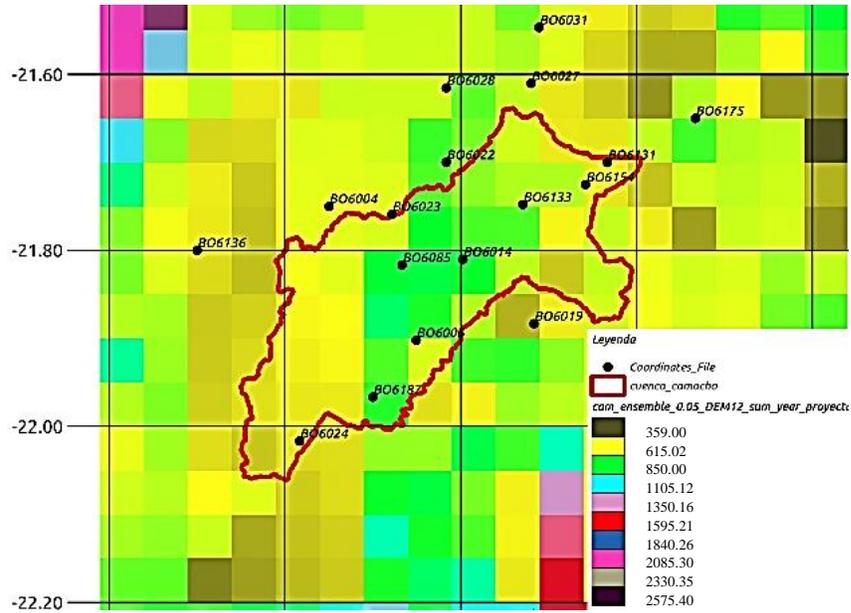
La escala de tiempo anual está representada con 37 pasos de tiempo, a nivel mensual con 440 pasos de tiempo y a nivel diario con 13,393 pasos de tiempo; de los cuales se muestran principalmente las escalas de tiempo a nivel anual y mensual debido a que la escala de tiempo diaria tiene resultados muy variados que no permiten una visualización de resultados óptima.

A continuación, se muestra como ejemplo los siguientes resultados:

4.1.2.1. Ensamblas de Precipitación Sumyear

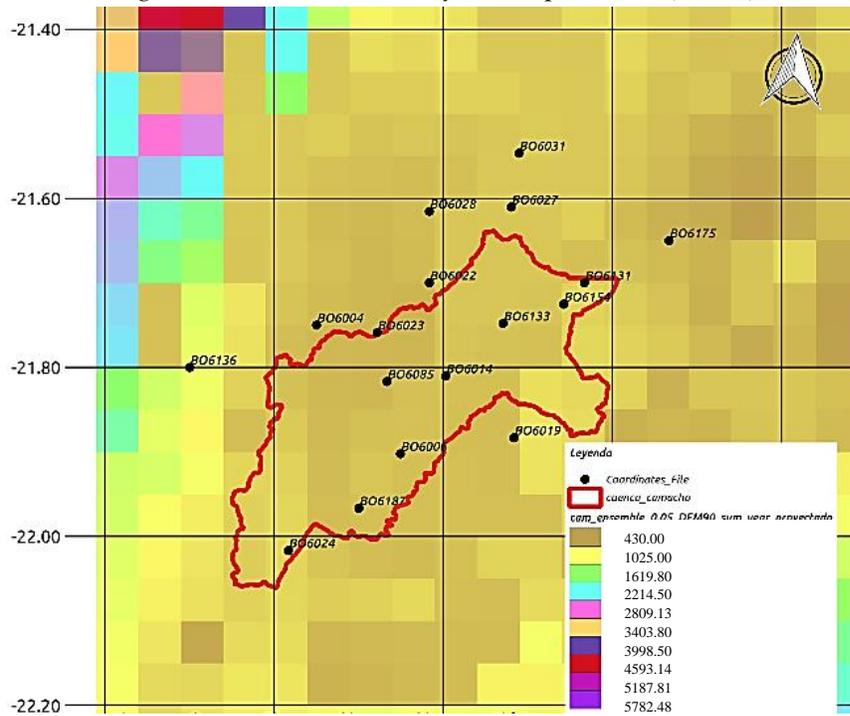
4.1.2.1.1. Step 1 para Distintas Resoluciones.

Figura 4. 15: DEM12 Sumyear Step 1-1980 (0.05°)



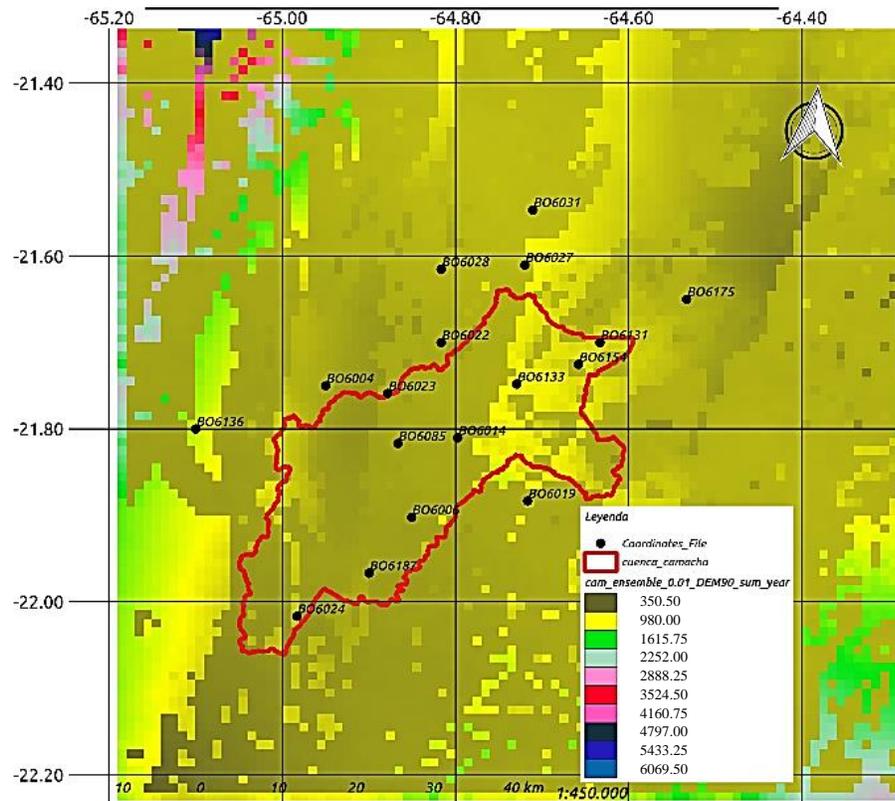
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.16: DEM90 Sumyear Step 1-1980 (0.05°)



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.17: DEM90 Sumyear Step 1-1980 (0.01°)



Fuente: Elaboración Propia.

Para una mejor visualización de los valores obtenidos en las Figuras 4.15, 4.16 y 4.17 se tiene la siguiente tabla:

Tabla 4.15: Resultados de Figuras.

STEP 1,1980	Desde ...Hasta	
DEM 90, resolución espacial 0.05 / SumYear	430	1025
DEM 90, resolución espacial 0.01 / SumYear	350.50	980
DEM 12, resolución espacial 0.05 / SumYear	359	850

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2.1.2. Step 21 para Diferentes Resoluciones.

Figura 4.18: DEM12 Sumyear Step 21-2000 (0.05°)

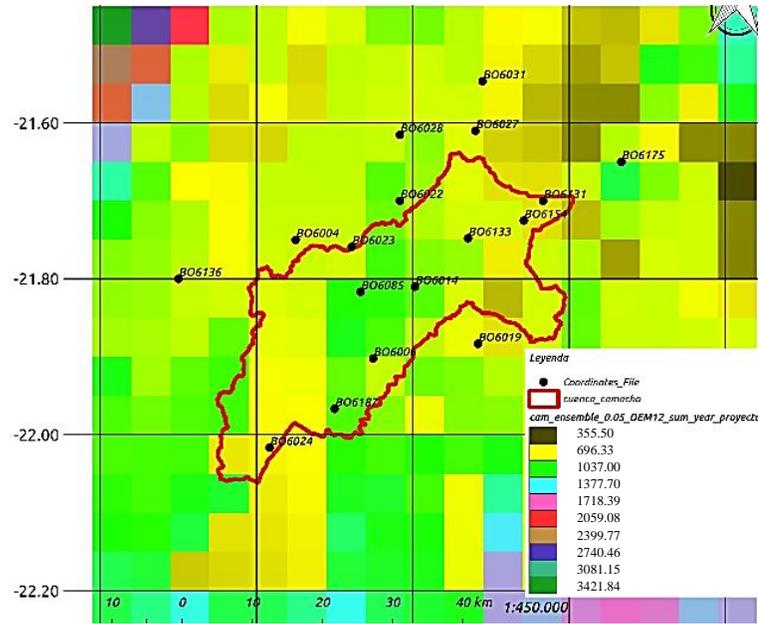


Figura 4.19: DEM90 Sumyear Step 21-2000 (0.05°)

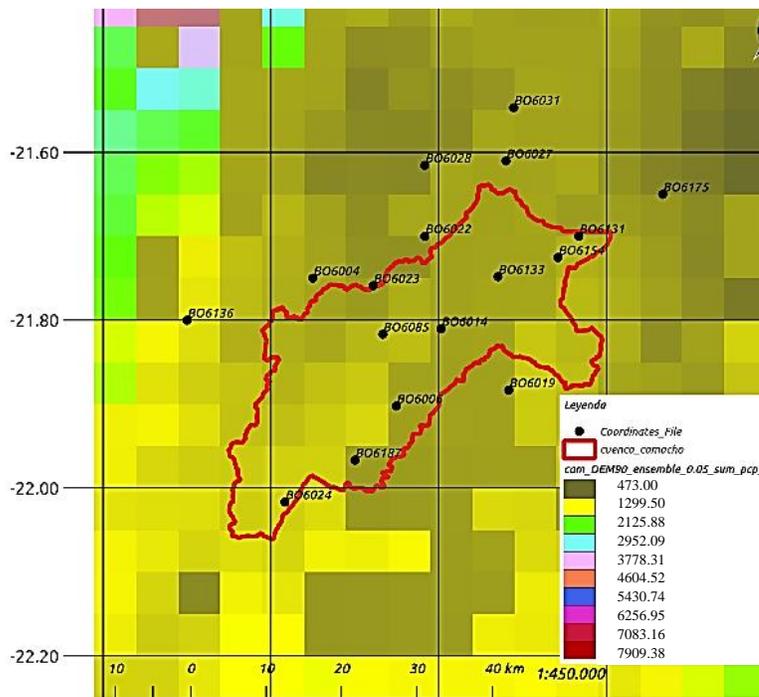
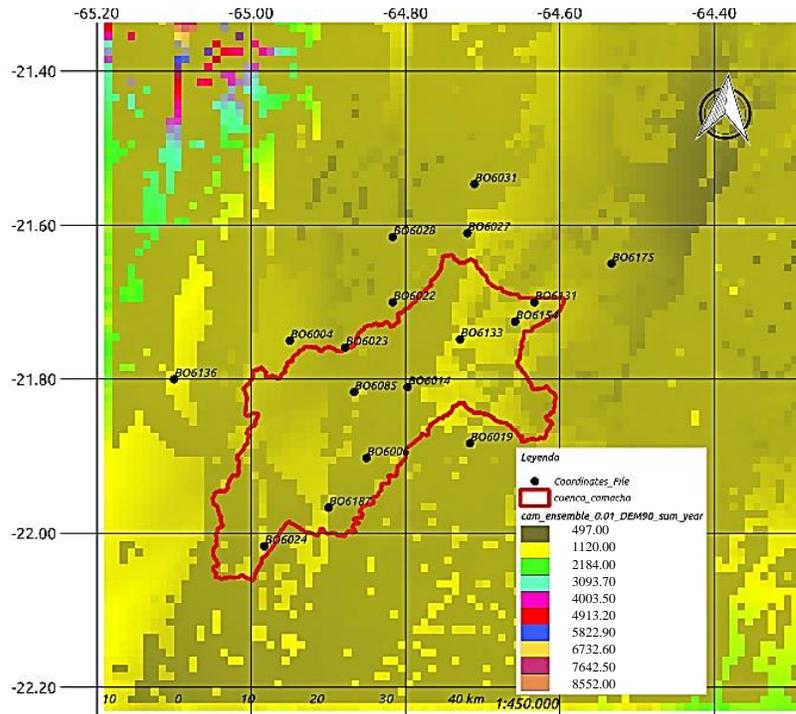


Figura 4.20: DEM90 Sumyear Step 21-2000 (0.01°)



Fuente: Elaboración Propia.

Para una mejor visualización de los valores obtenidos en las Figuras 4.18, 4.19 y 4.20 se tiene la siguiente tabla:

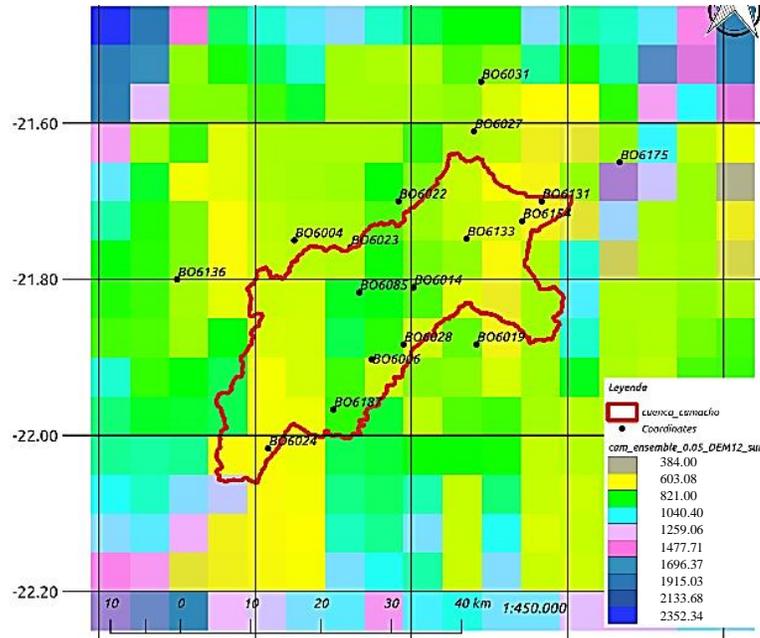
Tabla 4.16: Resultados de Figuras

STEP 21,2000	Desde ...Hasta	
DEM 90, resolución espacial 0.05 / SumYear	473	1299.50
DEM 90, resolución espacial 0.01 / SumYear	497	1120
DEM 12, resolución espacial 0.05 / SumYear	355.50	1037

Fuente: Elaboración Propia.

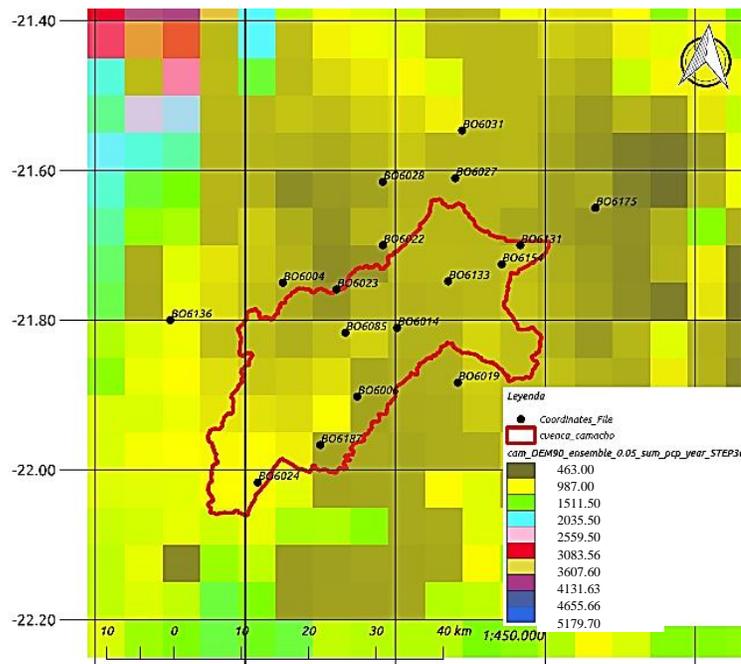
4.1.2.1.3. Step 36 para Diferentes Resoluciones.

Figura 4.21: DEM12 Sumyear Step 36-2015 (0.05°)



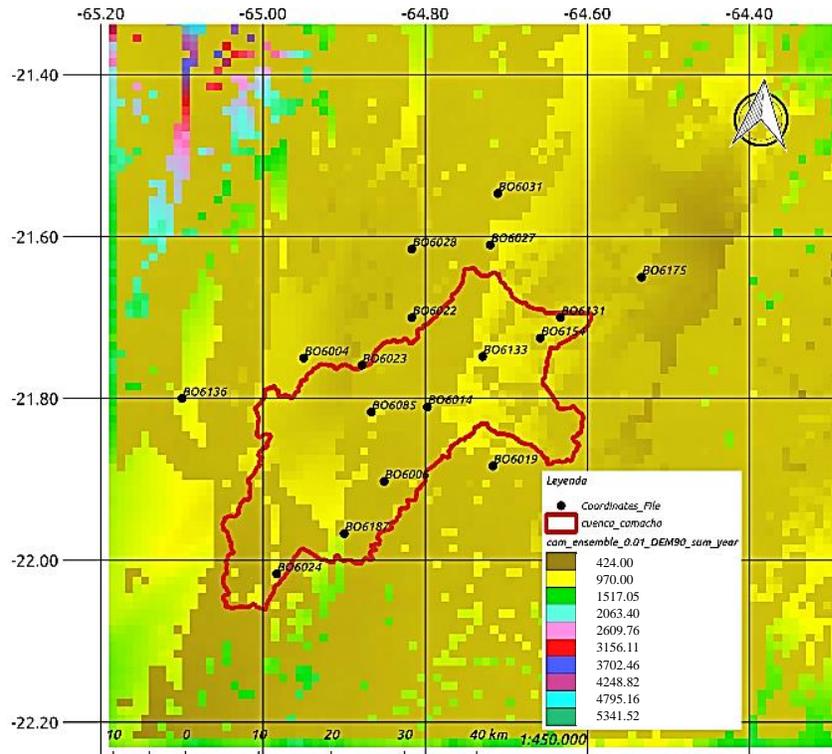
Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.22: DEM90 Sumyear Step 36-2015 (0.05°)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.23: DEM90 Sumyear Step 36-2015 (0.01°)



Fuente: Elaboración Propia.

Para una mejor visualización de los valores obtenidos en las Figuras 4.21, 4.22 y 4.23 se tiene la siguiente tabla:

Tabla 4.17: Resultado de Figuras.

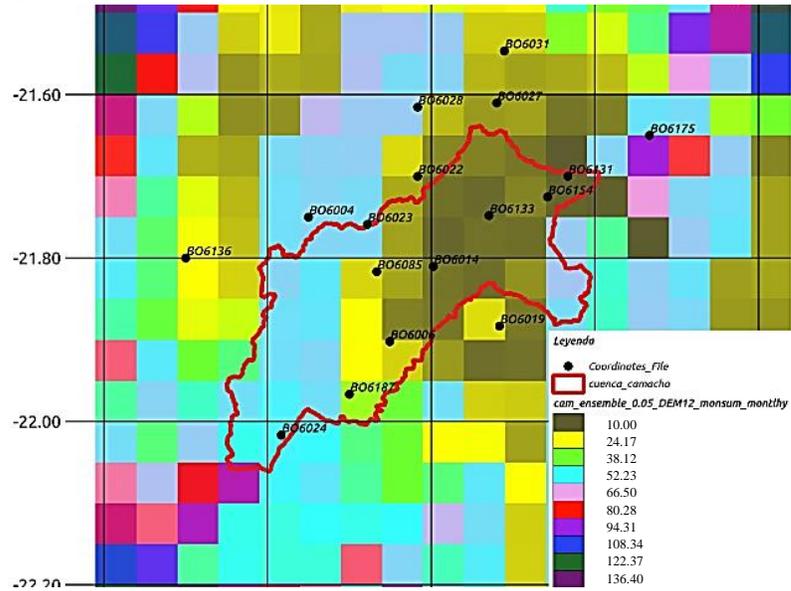
STEP 36,2015	Desde ...Hasta	
DEM 90, resolución espacial 0.05 / SumYear	463	987
DEM 90, resolución espacial 0.01 / SumYear	424	970
DEM 12, resolución espacial 0.05 / SumYear	384	821

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2.2. Ensamblas de Precipitación Mensual (monsum).

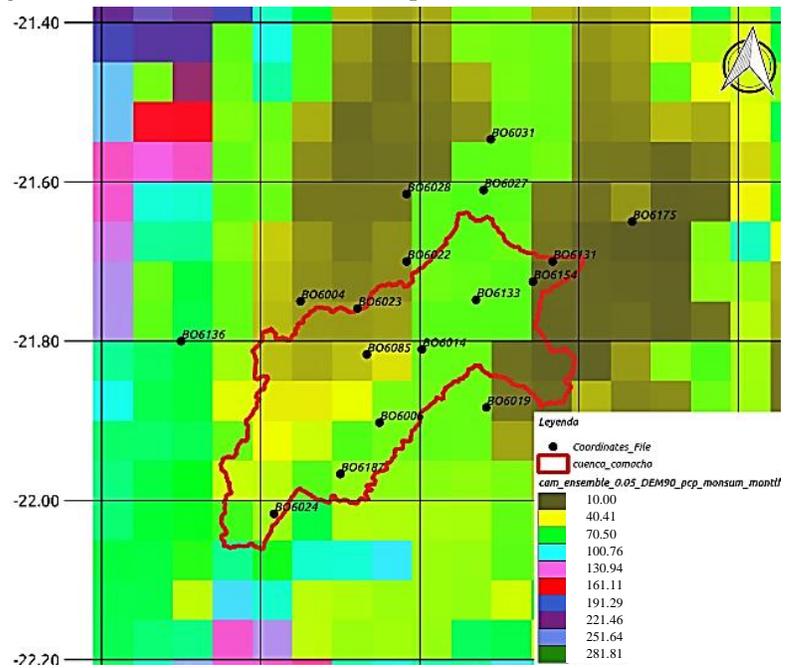
4.1.2.2.1. Step 100 a Diferentes Resoluciones.

Figura 4.24: DEM12 Monsum Step 100-Abril del 1980 (0.05°)



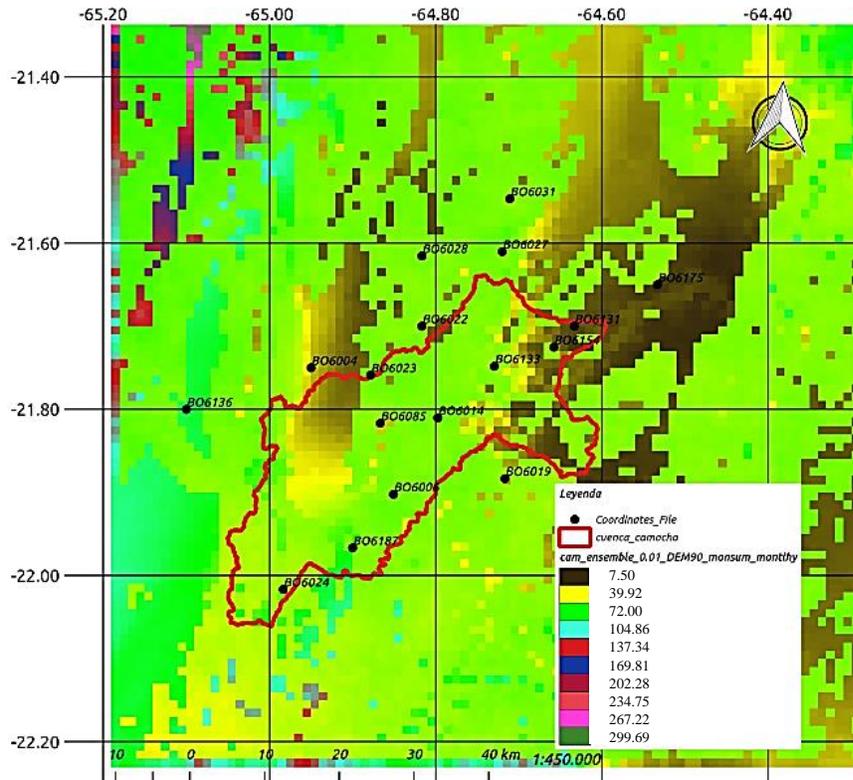
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.25: DEM90 Monsum Step 100-Abril del 1980 (0.05°).



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.26: DEM90 Monsum Step 100- Abril del 1980 (0.01°)



Fuente: Elaboración Propia.

Para una mejor visualización de los valores obtenidos en las Figuras 4.24, 4.25 y 4.26 se tiene la siguiente tabla:

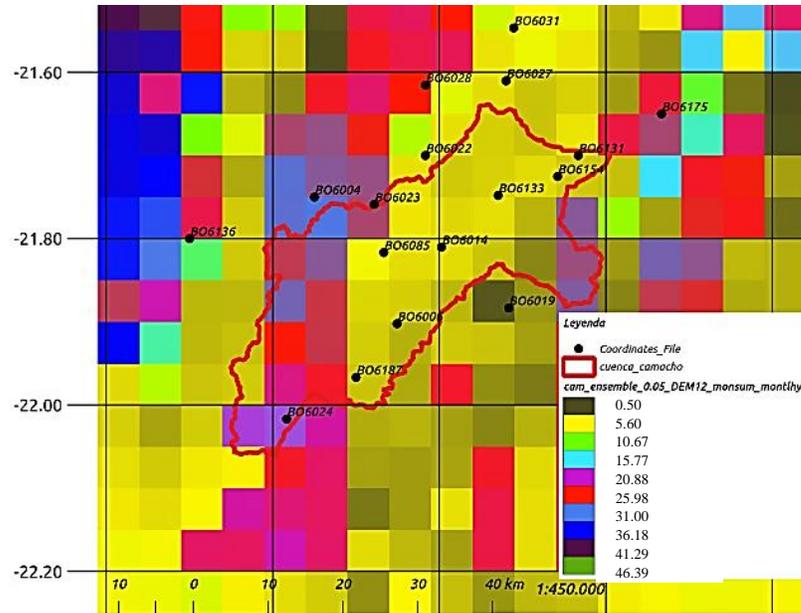
Tabla 4.18: Resultado de Figuras.

Monsum		
STEP 100	DesdeHasta	
DEM 90, resolución espacial 0.05/Monsum	10	70.50
DEM 90, resolución espacial 0.01/Monsum	7.50	72
DEM 12, resolución espacial 0.05/Monsum	10	66.50

Fuente: Elaboración Propia.

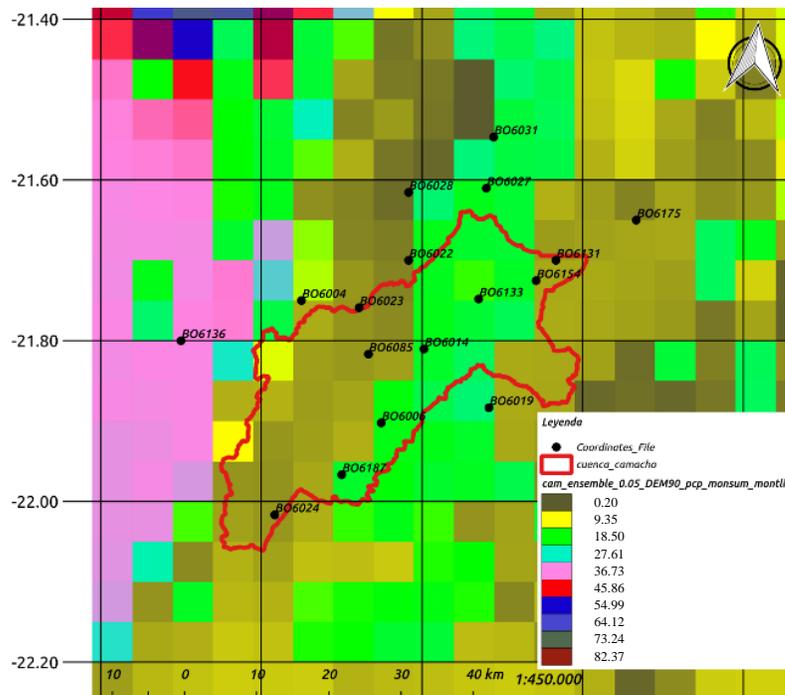
4.1.2.2.2. Step 200 – Agosto del 1996 a diferentes resoluciones.

Figura 4.27: DEM12 Monsum Step 200 (0.05°).



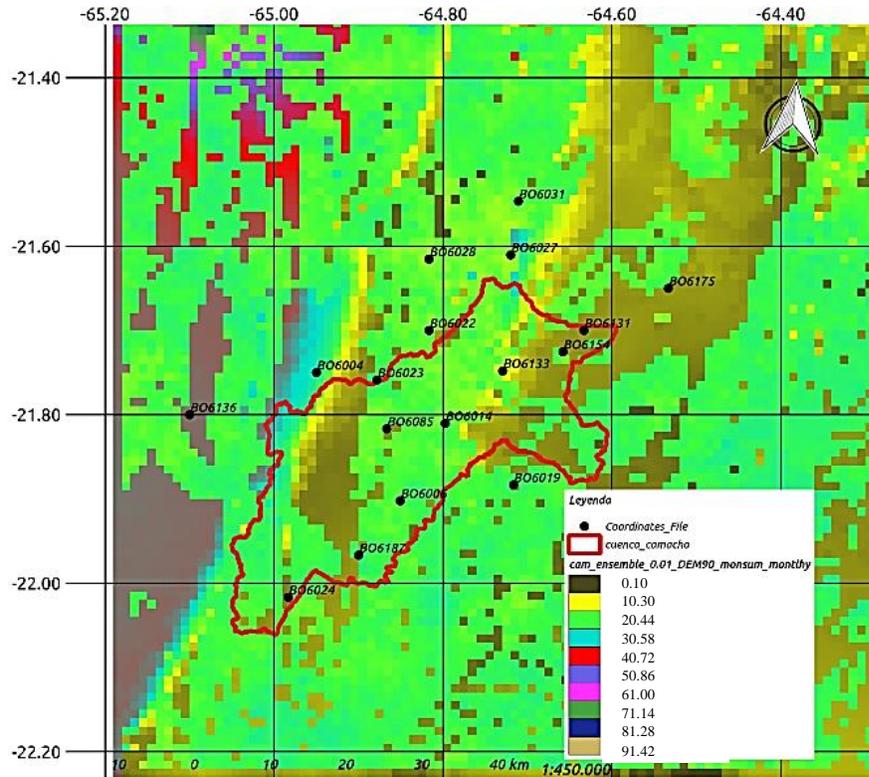
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.28: DEM90 Monsum Step 200 (0.05°)



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.29: DEM90 Monsum Step 200 (0.01°)



Fuente: Elaboración Propia.

Para una mejor visualización de los valores obtenidos en las Figuras 4.27, 4.28 y 4.29 se tiene la siguiente tabla:

Tabla 4.19: Resultado de Figuras.

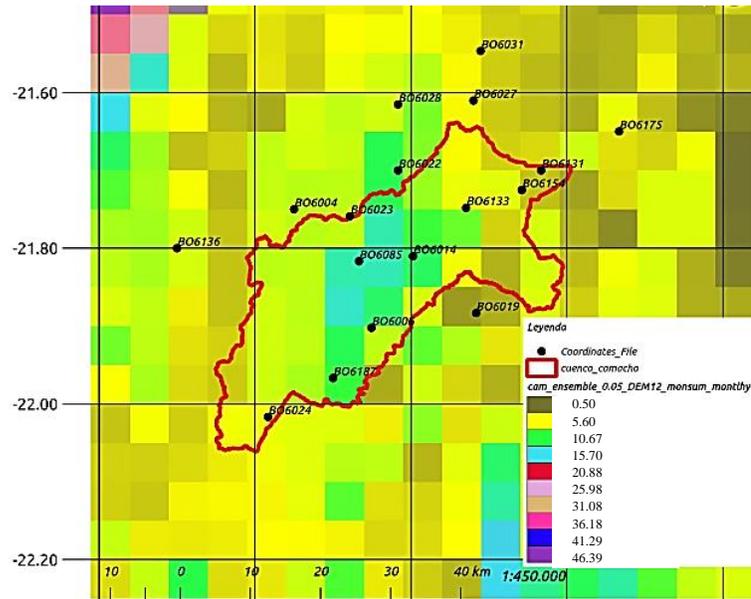
Monsum		
STEP 200	Desde ...Hasta	
DEM 90, resolución espacial 0.05	0.20	18.50
DEM 90, resolución espacial 0.01	0.10	25
DEM 12, resolución espacial 0.05	0.50	31

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2.3. Ensamblas de Precipitación Mensual (monsum)

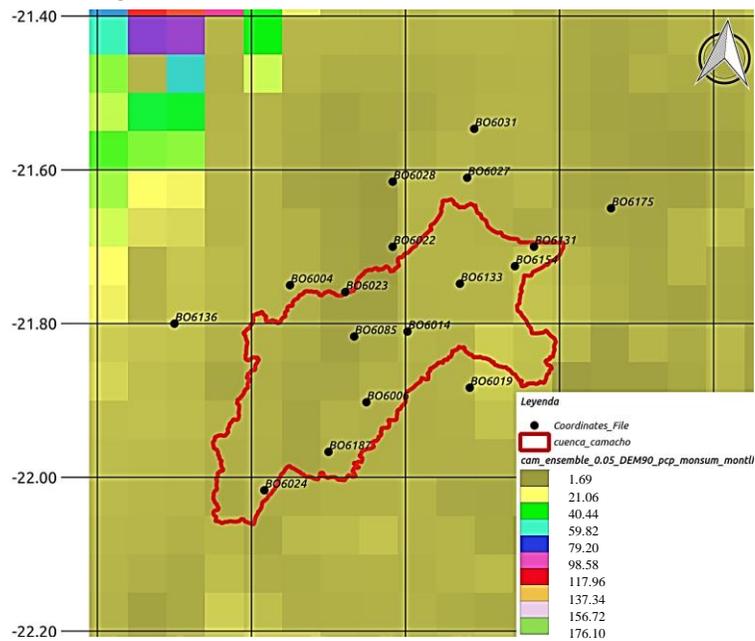
4.1.2.3.1. Step 400 – Abril del 2013 a Diferentes Resoluciones.

Figura 4.30: DEM12 Monsum a 0.05°.



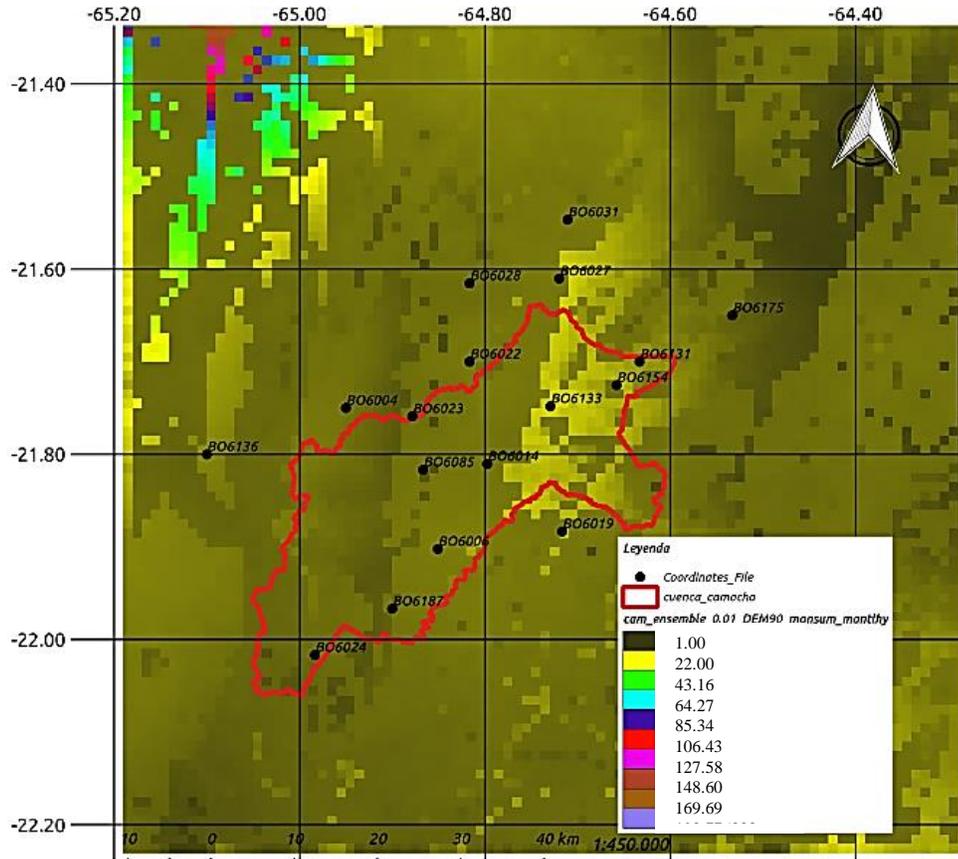
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.31: DEM90 Monsum a 0.05°.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.32: DEM90 Monsum a 0.01°



Fuente: Elaboración Propia.

Para una mejor visualización de los valores obtenidos en las Figuras 4.30, 4.31 y 4.32 se tiene la siguiente tabla:

Tabla 4.20: Resultado de Figuras.

Monsum		
STEP 400	Desde ...Hasta	
DEM 90, resolución espacial 0.05	1	21
DEM 90, resolución espacial 0.01	1	22
DEM 12, resolución espacial 0.05	0.50	15.70

Fuente: Elaboración Propia.

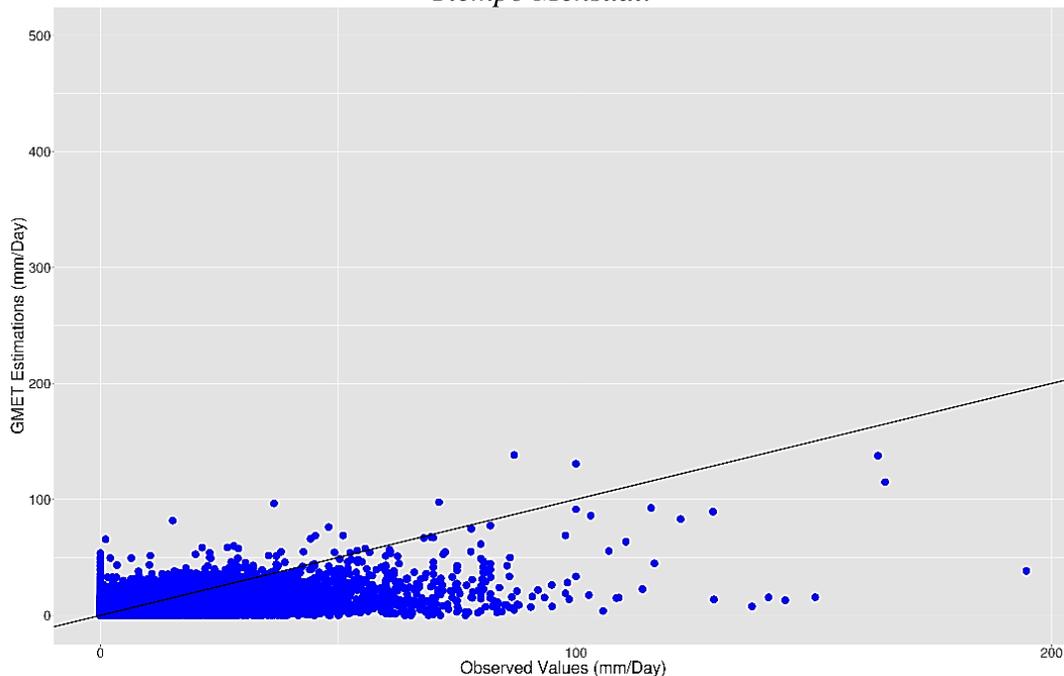
En la cuenca Camacho las precipitaciones tienen un régimen monomodal, las lluvias se inician en diciembre con duración hasta marzo, con precipitaciones máximas en enero y febrero; la estación seca es en invierno, con mínimo de mayo a julio, y dos

períodos de transición separan estas dos épocas, uno en abril y otro de septiembre a noviembre, en los mapas se puede observar dicha variabilidad. Según los patrones espaciales producidos por GMET (en la parte inferior de la cuenca las precipitaciones anuales son las más elevadas y oscilan entre hasta 1200 mm.).

4.1.3. Validación de la Grilla Meteorológica.

Se usaron las métricas de coeficiente de correlación (CC), error medio del sesgo (MBE), error de la raíz cuadrada (RMSE), coeficiente de variación del RMSE (CV-RMSE) y error medio absoluto (MAE), la Figura 4.33 muestra el gráfico del error sistemático y aleatorio. Donde la estimación o predicción es perfectamente correcto sólo cuando la línea de tendencia de los puntos estimados se alinea (estimados=observados). De otra forma, la diferencia entre la línea de tendencia existente y la línea de perfecto acuerdo demuestran el error sistemático. Por otro lado, el error aleatorio es definido por la distancia entre la ubicación de cada punto y su valor equivalente en la línea de tendencia.

Figura 4.33: Diagrama de Dispersión de GMET vs Valores Observados a Paso de Tiempo Mensual.

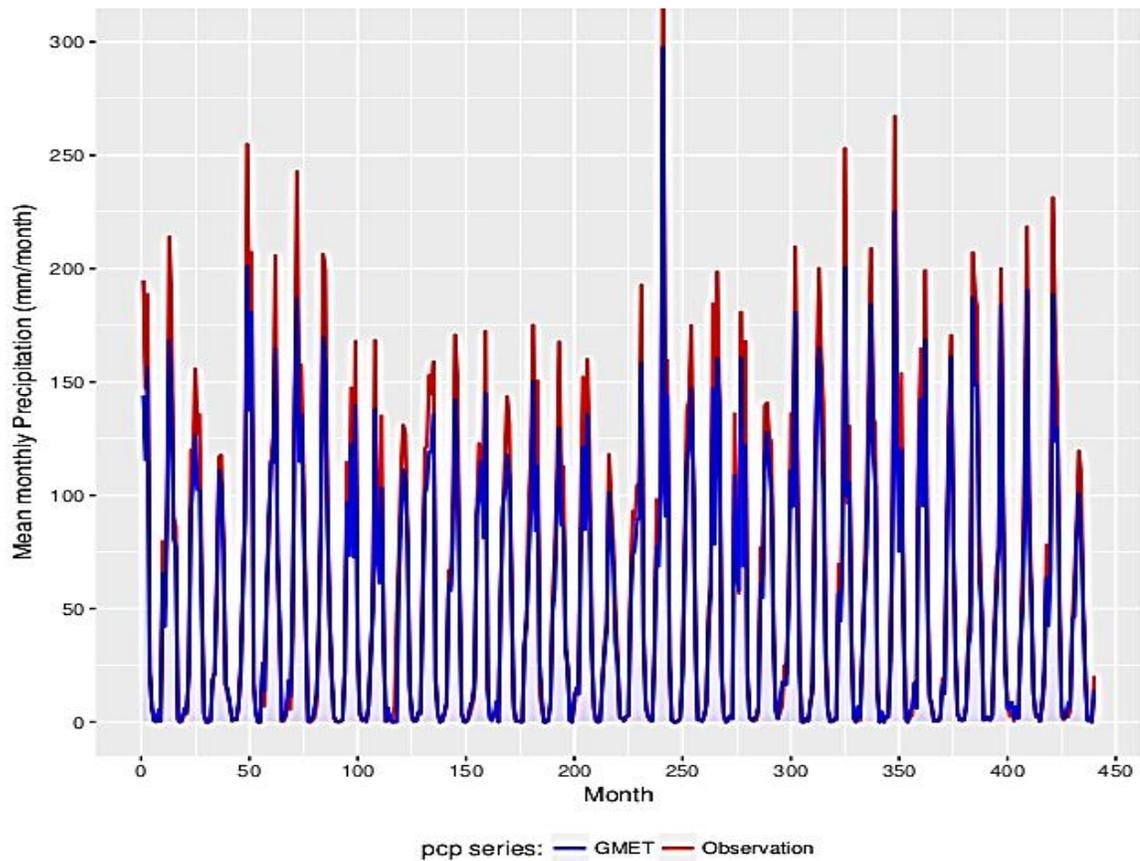


Fuente: Elaboración Propia.

4.1.3.1. Visualización de los Datos

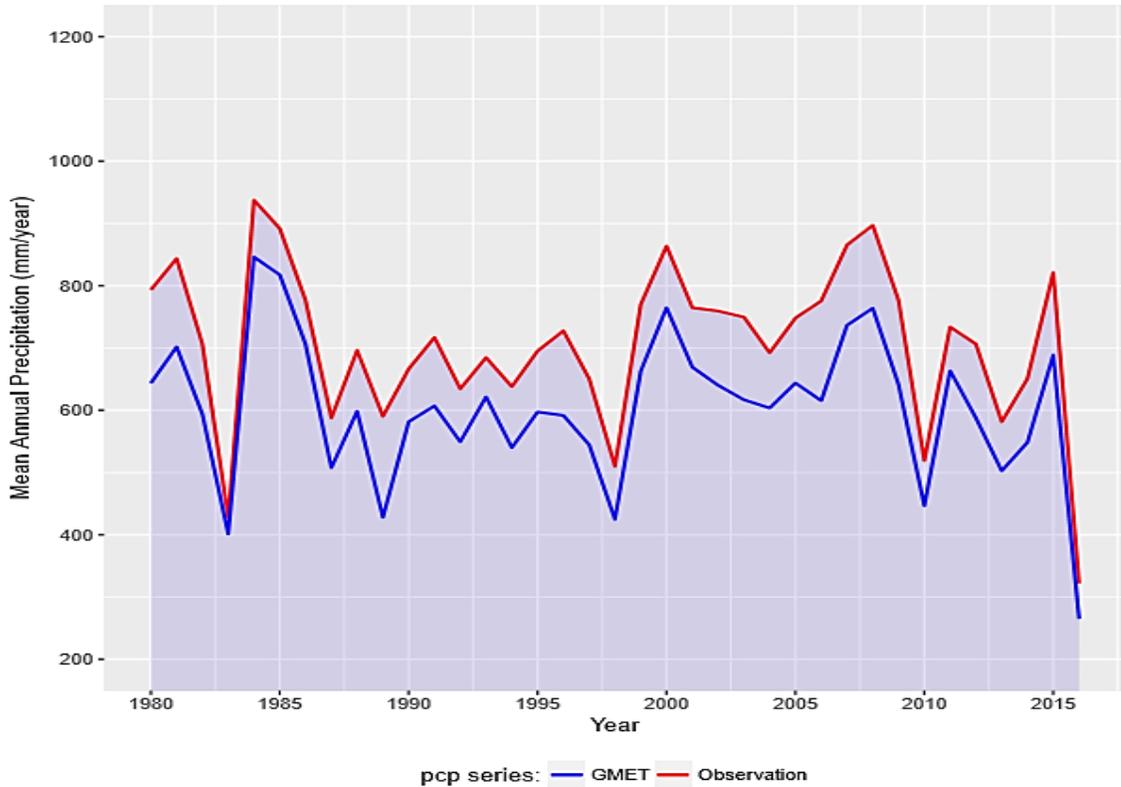
Para la escala temporal mensual y anual se tiene la Figura 4.34 y 4.35, las cuales comparan las series mensuales de GMET y los valores de observación en Camacho, se observa que GMET reproduce de manera satisfactoria los patrones mensuales y anuales de variación local de la red de datos.

Figura 4.34: Series Mensuales de GMET vs Estaciones



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.0.10: Series Anuales de GMET vs Estaciones.



Fuente: Elaboración Propia.

4.1.3.2. Medidas estadísticas

Para la evaluación diaria, los datos se resumen en la Tabla 4.21, en la cual se puede observar el MBE se halla hasta 52.81%. Los valores de RMSE varía entre 1.40 y 7.76 con un promedio 4.45 para todos los pixeles, si se divide el RMSE por el promedio de las observaciones de cada pixel, el CV-RMSE es una métrica normalizada del RMSE, y el MAE están cambiando desde un mínimo 0.44 hasta un máximo de 2.89 con un promedio de 1.68 mm/día; esto significa que en promedio la estimación de GMET presenta 1.68 mm/día de diferencia con respecto a las observaciones.

Tabla 4.21: Métricas Estadísticas de la Precipitación en GMET a la Escala de Tiempo Diaria.

	Min	Prom	Max
MBE (%)	-107.83	2.2.2	52.81
Correlación	0.45	0.68	0.95
RMSE	1.40	4.45	7.76
CV-RMSE	1.27	2.31	3.04
MAE (mm/día)	0.44	1.68	2.89

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.22: Error de las Estaciones.

Corel	MBE	RMSE	CVRMSE	MAE	
0.58	11.54	5.08	2.53	2.08	BO6014
0.45	47.17	6.68	2.08	2.89	BO6024
0.74	-0.95	3.93	2.39	1.30	BO6027
0.77	-9.23	3.57	2.23	1.20	BO6031
0.73	9.47	3.97	2.20	1.40	BO6133
0.74	-19.76	3.10	2.53	1.08	BO6154
0.62	18.77	5.08	2.34	2.08	BO6085
0.71	-40.73	2.62	2.70	0.85	BO6131
0.63	52.81	7.76	2.27	2.78	BO6004
0.54	10.55	5.02	2.57	2.10	BO6006
0.76	-107.83	2.67	3.04	1.08	BO6136
0.95	-21.20	1.40	1.27	0.44	BO6175
0.57	25.74	5.55	2.30	2.22	BO6022
0.60	5.49	4.44	2.43	1.86	BO6187
0.61	36.34	6.94	2.30	2.50	BO6028
0.85	17.37	3.43	1.71	1.11	BO6019

Fuente: Elaboración Propia.

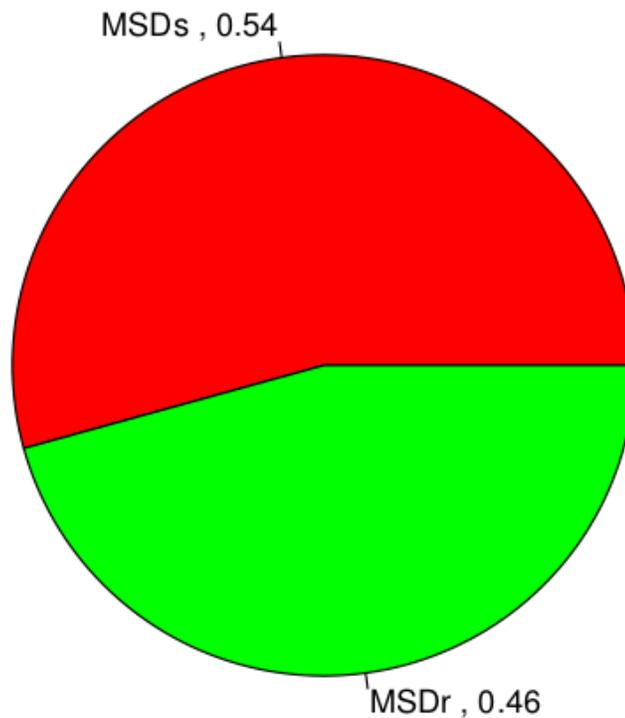
El MAE muestra que en el sector norte de la Cuenca se presentan valores con bajo desempeño y el coeficiente de correlación muestra que la parte del sur de la Cuenca

con menos estaciones presentan valores bajos de correlación; esta representación se observa en la Tabla 4.22.

4.1.3.3. Descomposición del error

Los resultados indican que en general, el 54% del error asociado con GMET es causado por situaciones del sistema de estimación y que el 46% es causado por errores aleatorios. (componente sistemático MSD_s y un componente aleatorio MSD_r)

Figura 4.36: Descomposición del Error

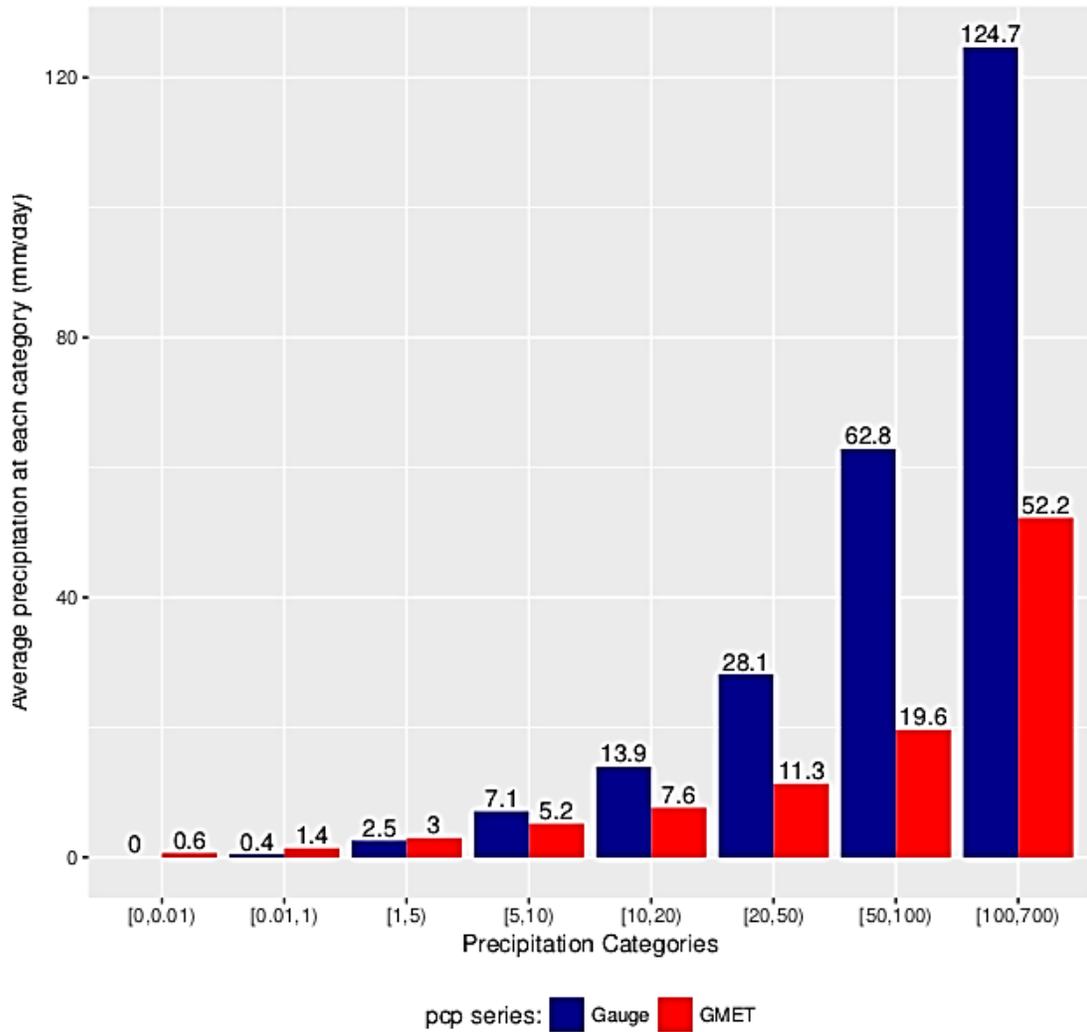


Fuente: Elaboración Propia.

4.1.5.4. Evaluación categórica de los datos de precipitación de GMET.

Se puede observar en la gráfica que GMET tiene la capacidad de capturar el patrón de cambio general de la precipitación observada en las estaciones.

Figura 4.37: Evaluación del Desempeño de GMET en Diferentes Categorías de Precipitación (mm/día).



Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La presente investigación usó la grilla meteorológica GMET (Gridded Meteorological Ensemble Tool); que es una importante herramienta que estudia la interpolación probabilística; el estudio se ha dedicado principalmente al análisis de la grilla en la cuenca del río Camacho en la que se empleó información climatológica para la estimación de las variables dentro de la validación del modelo climatológico; a su vez la comparativa de resultados del modelo con datos observados a nivel diario de temperatura y precipitación en la zona para el periodo 1980-2016, realizada en la validación de la grilla meteorológica aplicada en el Balance Hídrico Superficial de Bolivia sean de uso en planes de aprovechamiento hídrico local.

Con los resultados obtenidos y el análisis de los mismos, para el mejoramiento del balance hídrico de la cuenca y/o la representación climática de la misma, se emiten las siguientes conclusiones y recomendaciones.

5.1. CONCLUSIONES

Para construir un ensamble meteorológico:

- De acuerdo a la información climatológica obtenida, se deben usar los datos de las 17 estaciones que se encuentran dentro y fuera de los límites de la Cuenca; y adicionar estaciones sintéticas para apoyar el sector sur-este de la Cuenca ya que en el sector nor-oeste y parte central de la misma cuenta con mayor número de estaciones.
- Generar un control de calidad más riguroso en las estaciones de BO6187 (Rincón Cañas), BO6019 (Padcaya) y BO6085 (Alizos), debido a que es un proceso previo ineludible para asegurar que los resultados obtenidos en la grilla sean de manera óptima; usar diferentes metodologías aparte de RCLIMDEX o DECADE.

Para la validación de la grilla:

- Las grillas meteorológicas a diferentes pasos de tiempo, ya sea mensual y/o anual, así también a diferentes resoluciones espaciales, ya sea a 0.01° y/o 0.05°

nos muestran que GMET tiene un buen desempeño en la parte norte y media de la cuenca, ya que desarrolla una mejor interpolación en las zonas donde hay mayor densidad de estaciones, a diferencia de zonas donde las estaciones son pocas entonces GMET permite que sucedan eventos más extremos que las observaciones en secciones de la grilla donde no hay observaciones, lo cual no siempre es correcto y más aún en terrenos con bastante influencia orográfica.

- El error sistemático y aleatorio descompuesto prueba la aplicabilidad del algoritmo de GMET que permite identificar que tanto el mismo está capturando el proceso físico de la precipitación en la región, al tener el 54% del error sistemático significa que GMET debe ser ajustado basado en los patrones hidrológicos de la cuenca en estudio.
- En general, en la validación de la grilla se encontró que el producto del estimado de precipitación en GMET fue evaluado usando diferentes estadísticas a paso de tiempo diario, mensual y anual, donde los resultados muestran un desempeño moderado de GMET al paso de tiempo diario con alrededor de 30% de correlación y un 10% de sobreestimación.
- Sin embargo, la evaluación mensual presenta resultados más promisorios con altos valores de coeficiente de correlación alrededor del 0,85 y valores bajos de sesgo alrededor del 3.7% de sobre estimación. Por lo tanto, el error sistemático y aleatorio descompuesto prueba la aplicabilidad del algoritmo de GMET con menos del 25% del error sistemático, demostrando que el algoritmo está capturando los valores mensuales de precipitación para el lugar de estudio.
- Las incertidumbres inherentes de los productos de interpolación de precipitación y temperatura son generadas por los vacíos temporales y espaciales en las mediciones climáticas históricas en la cuenca; de igual forma en relación a los datos satelitales actualmente disponibles y que eventualmente pueden ser combinados con los datos terrenos. Además de la calidad de los datos de insumo para producir la información climática distribuida necesaria para informar el balance.

- Los resultados obtenidos en el presente proyecto generan un set de datos en GMET para su posterior integración en WEAP, que permite cálculos precisos de balance de agua, y proceda a la generación de alternativas para la intervención de un PAHL (Planes de Aprovechamiento Hídrico Local).

5.2. RECOMENDACIONES

- Continuar explorando la posibilidad de realizar la transferencia tecnológica de GMET.
- Actualizaciones futuras de GMET deberán enfocarse en:
 - Aumentar la cantidad de estaciones de datos de entrada.
 - Estudiar los periodos de 1980-2003 y 2003-2016 que cuenten con mejor calidad y número de estaciones, tanto dentro como fuera de los límites de la cuenca en estudio.
 - Explorar aplicaciones de GMET a nivel regional.
 - En alimentar GMET con datos satelitales validados, por ejemplo, mediante CHIRPS.
- Generar un campo espacial del ensamble para un periodo de 1980-1994 y 1994-2016 que cuenten con mejor calidad y número de estaciones, puesto que las estaciones BO6187 (Rincón Cañas), BO6019 (Padcaya), BO6085 (Alizos), BO6136 (Copacabana Taxara) fueron descartadas en el periodo 1980-2016 debido al control de calidad mediante RCLIMDEX y DECADE, la correlación y porcentaje de completitud baja.
- Conocer el nivel inherente de incertidumbre en las observaciones locales (estaciones de la Cuenca del Camacho) al nivel de los pixeles de GMET. Esto es importante por dos razones:
 - La primera razón es que los datos base y de entrada a GMET son las observaciones de las estaciones. Por lo tanto, las incertidumbres e inconsistencias de este set de datos locales causarán errores en las salidas estimadas por GMET.
 - La segunda razón tiene que ver con que la comparación de datos de grilla espaciales con respecto a observaciones puntuales ha sido siempre considerada una fuente de error e incertidumbre en la literatura de este

campo de la ciencia. En otras palabras, cuando se compara un producto de grilla con un set de datos puntuales, siempre se debe mantener en mente que existen fluctuaciones regionales y geográficas en la cantidad de lluvia que alcanza el suelo en las diferentes partes de los píxeles. Por lo tanto, tener más de una estación en cada píxel aumenta la precisión de esta comparación, lo que no ocurre con frecuencia en un producto de alta resolución como GMET (0.05 grados).

- Además, realizar un análisis de la incertidumbre de GMET en zonas hidrográficas y correlacionar esta incertidumbre con la densidad de estaciones climáticas. Este análisis puede guiar la instalación de estaciones climatológicas en el futuro, debido a la escasez de estaciones de observación climática existen vacíos de datos de entrada de precipitación y temperatura, y sin embargo los datos de caudal pueden ayudar a corregir los datos de precipitación en las subcuencas con baja densidad de estaciones. Se recomienda entonces definir un procedimiento válido, ya sea basado en literatura o en experimentos numéricos ejecutados sobre el BHSB existente, y definir rangos y componentes que permitan ajustar los datos de precipitación con datos de caudal.
- Se deben instalar estaciones meteorológicas en áreas donde las estaciones de la Cuenca han sido anuladas con respecto a información disponible en el presente estudio.
- Realizar un estudio en que se avance en la comparación de datos satelitales con datos de estaciones y con aquellos obtenidos de GMET. Un esfuerzo sobre el que se puede capitalizar es la aplicación local realizada en el uso de GSMAP en la zona baja y media de la cuenca. Así también, realizar una comparación entre GMET y GSMAP en la región donde estos datos ya estén validados, y explorar opciones de alimentar futuras corridas de GMET con datos satelitales de tipo ajustados.