

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**“ELABORACIÓN DE LA GUÍA METODOLÓGICA DE ANÁLISIS Y CRÍTICA DE ESTACIONES TERMOPLUVIOMÉTRICAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA RSTUDIO EN PLATAFORMA LINUX”**

**Por:**

**UNIV. EYNAR SOSSA RUIZ**

Proyecto de Grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

**Semestre I 2019**

**TARIJA – BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y**

**OBRAS SANITARIAS**

**“ELABORACIÓN DE LA GUÍA METODOLÓGICA DE ANÁLISIS Y CRÍTICA  
DE ESTACIONES TERMOPLUVIOMÉTRICAS MEDIANTE LA APLICACIÓN  
DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA RSTUDIO EN PLATAFORMA  
LINUX”**

**Por:**

**UNIV. EYNAR SOSSA RUIZ**

Trabajo de grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
“JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de  
Licenciatura en Ingeniería Civil.

**Semestre I 2019**

**TARIJA – BOLIVIA**

**ADVERTENCIA:**

El docente y tribunal evaluador del presente trabajo, no se solidarizan con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleadas en la elaboración del presente trabajo, siendo la misma únicamente responsabilidad del autor.

**DEDICATORIA:**

A mis padres Epifanio Sossa Soliz y Celia Ruiz Fuentes por ser el pilar fundamental en mi educación, tanto académica como en la vida. Por haberme apoyado en todo momento, ejemplos de perseverancia y constancia

### **AGRADECIMIENTOS:**

A Dios, por haberme dado la vida y darme su bendición, guiándome en mi camino.

A mis padres, por su esfuerzo y dedicación realizada en todos los años de estudio. Por brindarme todo su amor, comprensión, apoyo y la paciencia que me han tenido.

A mis hermanos y seres queridos, por todo el apoyo brindado en todo este tiempo.

A la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”, a la carrera de Ingeniería civil y mis docentes por haber compartido sus conocimientos, brindarme muchas oportunidades que motivaron a desarrollarme como persona y profesional.

Al Ing. Moisés Perales y al Ing. Mario Gamarra, Por brindarme su tiempo, dedicación y apoyo en la elaboración de este trabajo

**Pensamiento:**

Aunque nadie ha podido regresar atrás y hacer un nuevo comienzo, cualquiera puede recomenzar ahora y hacer un nuevo final.

Jonathan García-Allen

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Advertencia	
Dedicatoria	
Agradecimiento	
Pensamiento	
Resumen	

### CAPÍTULO I

#### DISEÑO TEÓRICO

<b>1.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. DISEÑO TEÓRICO</b> .....	<b>3</b>
1.2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.2.2. PROBLEMA.....	3
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>3</b>
1.3.1. Justificación académica .....	3
1.3.2. Justificación técnica .....	4
1.3.3. Justificación social .....	4
1.3.4. Justificación institucional.....	5
<b>1.4. OBJETIVO DEL PROYECTO</b> .....	<b>5</b>
1.4.1. OBJETIVO GENERAL .....	5
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
<b>1.5. HIPÓTESIS</b> .....	<b>6</b>
<b>1.6. ALCANCE DEL ESTUDIO</b> .....	<b>6</b>

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

<b>2.1. BALANCES HÍDRICOS SUPERFICIALES DE BOLIVIA.....</b>	<b>7</b>
2.1.1. BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE BOLIVIA 1968 – 1982 .....	7
2.1.1.1. Metodología general .....	7
2.1.1.2. Metodología de evaluación de las precipitaciones .....	13
2.1.1.3. Análisis de la consistencia de la precipitación.....	13
2.1.1.4. Metodología de evaluación de las temperaturas .....	15
2.1.2. BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE BOLIVIA 1998/99 - 2010/11.....	15
2.1.2.1. Metodología general .....	15
2.1.2.2. Metodología de evaluación de las precipitaciones.....	17
2.1.2.3. Análisis de la consistencia de la precipitación.....	19
2.1.2.4. Crítica de datos de temperatura.....	20
2.1.3. BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE BOLIVIA 1980/81 - 2015/16.....	21
2.1.3.1. Metodología general .....	21
2.1.3.2. Metodología de la precipitación y temperatura.....	21
<b>2.2. ANÁLISIS DE ESTACIONES TERMOPLUVIOMÉTRICAS MEDIANTE</b>	
<b>EL SOFTWARE RSTUDIO .....</b>	<b>27</b>
2.2.1. ANÁLISIS MEDIANTE RCLIMDEX EN RSTUDIO .....	27
2.2.1.1. Introducción a Rclimdex .....	27
2.2.1.2. Formato de entrada de datos en Rclimdex .....	28
2.2.1.3. Ficheros obtenidos en Rclimdex .....	29
2.2.2. ANÁLISIS MEDIANTE DECADE EN RSTUDIO .....	37
2.2.2.1. Introducción a DECADE .....	37
2.2.2.2. Datos y formato requerido .....	37
<b>2.3. INTRODUCCIÓN A LA PLATAFORMA LINUX.....</b>	<b>41</b>
2.3.1. DISTRIBUCIÓN LINUX Ó GNU LINUX .....	41
2.3.2. CARACTERÍSTICAS DE LINUX.....	41



2.3.2.1. Software libre .....	41
2.3.2.2. Multiplataforma .....	42
2.3.2.3. Multitarea .....	42
2.3.2.4. Multiusuario .....	42
2.3.3. UBUNTU LA DISTRIBUCIÓN MÁS GRANDE DE LINUX .....	42
2.3.3.1. Requisitos Mínimos para la Instalación de Ubuntu .....	43
2.3.3.2. Ventajas y Desventajas de Linux y Windows.....	44
<b>2.4. INTRODUCCIÓN A LA HERRAMIENTA RSTUDIO (R) .....</b>	<b>45</b>
2.4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL .....	45
2.4.2. CARACTERÍSTICAS DE R .....	46
2.4.3. TIPOS DE DATOS.....	47

### CAPÍTULO III

#### INSTALACIÓN DE RSTUDIO

#### Y SUS LIBRERÍAS

<b>3.1. PREPARACIÓN DEL ENTORNO LINUX .....</b>	<b>48</b>
3.1.1. INSTALACIÓN DEL COMPILADOR GFORTRAN.....	48
3.1.2. INSTALACIÓN DE LAS LIBRERÍAS NETCDF .....	51
3.1.2.1. Librería netcdf-bin .....	51
3.1.2.2. Librería libnetcdf-dev .....	54
3.1.2.3. Librería libnetcdf-dev .....	55
3.1.3. OTRAS VERIFICACIONES PARA TRABAJAR CON ARCHIVOS NETCDF CON GFORTRAN .....	55
3.1.4. INSTALACIÓN DE GDAL.....	55
<b>3.2. INSTALACIÓN DE RSTUDIO .....</b>	<b>57</b>
<b>3.3. INSTALACIÓN DE LIBRERIAS DE RSTUDIO .....</b>	<b>64</b>

<b>3.4. PROBLEMAS EN LA INSTALACIÓN DE ALGUNAS LIBRERÍAS DE RSTUDIO.....</b>	<b>66</b>
3.4.1. PAQUETE RGEOS .....	66
3.4.2. PAQUETE RNETCDF .....	68
3.4.3. PAQUETE XLSX .....	69
3.4.4. PAQUETE KABLEEXTRA .....	70
3.4.5. PAQUETE RGDAL.....	71
<b>3.5. INSTALACIÓN DE QGIS .....</b>	<b>73</b>

## CAPÍTULO IV

### APLICACIÓN DE GMET

<b>4.1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>76</b>
<b>4.2. FLUJO DE TRABAJO .....</b>	<b>77</b>
<b>4.3. PRE-PROCESAMIENTO EN R .....</b>	<b>79</b>
4.3.1. SERIES DE TIEMPO METEOROLÓGICAS A PARTIR DE ESTACIONES.....	79
4.3.1.1. Formateo de Datos .....	80
4.3.1.1.1. Formateo de Datos PCP .....	82
4.3.1.1.2. Formateo de Datos TX .....	85
4.3.1.1.3. Formateo de Datos TN .....	86
4.3.1.2. Unión de Estaciones Formateadas .....	87
4.3.2. ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD .....	90
4.3.2.1. RClimdex .....	90
4.3.2.2. DECADE .....	93
4.3.2.3. Ejemplo de análisis de la estación Cañas (BO6006) .....	96
4.3.3. FORMATEO DE DATOS A GMET .....	101
4.3.3.1. Formateo de datos PCP a GMET .....	101
4.3.3.2. Formateo de datos TN y TX a GMET .....	104

4.3.4. CORTE DEM.....	105
4.3.5. SLOPE.....	109
4.3.5.1. Creación del Coordinates_File.....	109
4.3.5.2. Creación de Slope en Coordinates_File .....	114
<b>4.4. EJECUCIÓN DE GMET.....</b>	<b>117</b>
4.4.1. ARCHIVOS Y CARPETAS REQUERIDOS PARA LA EJECUCIÓN DE GMET .....	117
4.4.2. GENERAR PARÁMETROS DE REGRESIÓN .....	121
4.4.3. GENERACIÓN DE LOS ENSAMBLES DIARIOS DE LA REJILLA DE GMET.....	125
<b>4.5. POST-PROCESAMIENTO DE GMET .....</b>	<b>128</b>
4.5.1. COMANDOS DE TRANSFORMACIÓN .....	128
4.5.1.1. Cálculo del ensamble promedio diario a partir de todos los ensambles generados .....	128
4.5.1.2. Cálculo del ensamble de la precipitación acumulada mensual .....	129
4.5.1.3. Cálculo del ensamble de la precipitación media anual .....	130
4.5.2. GEORREFERENCIACIÓN.....	130
4.5.2.1. Georreferenciación del ensamble promedio diario de la precipitación.....	132
4.5.2.2. Georreferenciación del ensamble de la precipitación acumulada mensual	133
4.5.2.3. Georreferenciación del ensamble de la precipitación media anual.....	137
<b>4.6. VALIDACIÓN DE LA GRILLA.....</b>	<b>141</b>
4.6.1. ARCHIVOS Y CARPETAS REQUERIDOS PARA LA VALIDACIÓN DE LA GRILLA .....	141
4.6.2. EJECUCIÓN DE LA VALIDACIÓN DE LA GRILLA .....	143
4.6.3. ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN DE LA GRILLA. ....	145

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

<b>5.1. CONCLUSIONES .....</b>	<b>149</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>151</b>

## BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

### **ANEXOS:**

#### **ANEXOS I. PRE-PROCESAMIENTO EN R**

1.1 SERIES DE TIEMPO METEOROLÓGICAS A PARTIR DE ESTACIONES

1.2 ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD

1.3 FORMATEO DE DATOS A GMET

1.4 CORTE DEM

1.5 SLOPE

#### **ANEXOS II. EJECUCIÓN DE GMET**

2.1 ARCHIVOS REQUERIDOS PARA LA EJECUCIÓN DE GMET

2.2 GENERAR PARÁMETROS DE REGRESIÓN

2.3 GENERACIÓN DE LOS ENSAMBLES DIARIOS DE LA REJILLA DE GMET.

#### **ANEXOS III. POST-PROCESAMIENTO DE GMET**

3.1 GEORREFERENCIACIÓN

3.2 ENSAMBLES GENERADOS

#### **ANEXOS IV. VALIDACIÓN DE LA GRILLA**

4.1 CÓDIGO PARA LA VALIDACIÓN DE LA GRILLA

4.2 GRÁFICAS Y FIGURAS GENERADAS DE LA VALIDACIÓN DE LA GRILLA

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 2.1. Tabla de cálculo del Análisis de doble masa.....15

Tabla 2.2. Número de Unidades Hidrográficas de niveles inferiores, dentro del

territorio boliviano.....	16
Tabla 2.3. Resumen de estaciones pluviométricas seleccionadas.....	19
Tabla 2.4. Datos de entrada.....	37

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Carta de isoyetas de la precipitación media anual de Bolivia a escala 1: 5000000.....	10
Figura 2.2. Carta de isoyetas de la temperatura media anual de Bolivia a escala 1: 5000000.....	11
Figura 2.3. Carta de isoyetas de las cuencas hidrográficas de Bolivia a escala 1: 5000000.....	12
Figura 2.4. Análisis de doble masa.....	14
Figura 2.5. Proceso metodológico (Flujograma) para el tratamiento de precipitaciones.....	18
Figura 2.6. Ejemplo de dos ensambles de enero 1981 con su promedio y desviación estándar.....	24
Figura 2.7. Estaciones de validación de GMET dentro y fuera de Bolivia, incluyendo el muestreo de CHIRPS.....	25
Figura 2.8. Ficheros obtenidos en RClimdex.....	29
Figura 2.9. Ficheros obtenidos en DECADE.....	37
Figura 2.10. Archivos de datos faltantes.....	40
Figura 2.11. Pantalla de inicio.....	43

Figura 2.12. Ensamblados grillados de Bolivia.....	76
Figura 2.13. Flujo de GMET.....	78
Figura 2.14. DEM90 Monsum Step 100-Abril del 2018 (0.05°).....	137
Figura 2.15. DEM90 Sumyear Step 1-1980 (0.05°).....	141
Figura 2.16. Componentes de error sistemático y aleatorio para las series de tiempo diarias.....	148

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 2.1. Métricas estadísticas estacionales calculadas usando GMET sobre las estimaciones de píxeles en todas las 515 estaciones en Bolivia. ....	27
Gráfica 2.2. Diagramas box-plot mensuales.....	30
Gráfica 2.3. Diagrama de cajas de series anuales.....	31
Gráfica 2.4. Gráfico de redondeo.....	32
Gráfica 2.5. Puntos de las series temporales.....	38
Gráfica 2.6. Histograma de decimales de la serie de datos.....	38
Gráfica 2.7. Histograma de datos faltantes.....	39
Gráfica 2.8. Diagrama de días probables indicadores de ciclos semanales.....	39
Gráfica 2.9. Diagrama de días probables indicadores de ciclos semanales para cada año de la serie.....	40
Gráfica 2.10. Diagrama Diagramas box-plot mensuales estación Cañas.....	96
Gráfica 2.11. Diagrama de cajas de series anuales estación Cañas.....	97
Gráfica 2.12. Gráfico de redondeo estación Cañas.....	98

Gráfica 2.13. Diagrama de dispersión de GMET vs valores observados a paso de tiempo mensual.....	146
Gráfica 2.14. Series mensuales de GMET vs estaciones.....	147
Gráfica 2.15. Series anuales de GMET vs estaciones.....	147