

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ESTACIONES PARA LA
GENERACIÓN DE LA GRILLA METEOROLÓGICA (GMET) EN LA CUENCA
DEL RÍO GUADALQUIVIR”**

Por:

UNIV. GERALDINE ESTHER MENDOZA PORTAL

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

**“ANÁLISIS DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ESTACIONES PARA LA
GENERACIÓN DE LA GRILLA METEOROLÓGICA (GMET) EN LA CUENCA
DEL RÍO GUADALQUIVIR”**

Por:

UNIV. GERALDINE ESTHER MENDOZA PORTAL

Semestre I 2019

TARIJA – BOLIVIA

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 las mismas únicamente responsabilidad del autor.

DEDICATORIA

A mis padres, Esther y Armando. A mis hermanos, Pamela y Cristhian, por ser fuente de inspiración y de apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por el hermoso don de la vida y por el simple hecho de estar aquí.

A mis padres, por el esfuerzo realizado en los años de estudio siendo ejemplo de amor, fuerza, dedicación y constancia.

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

A la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho y a la carrera de Ingeniería Civil por la oportunidad de realizarme como profesional.

Al Ing. Moisés Perales A., por brindarme su tiempo y ayuda para la elaboración de este trabajo.

A funcionarios del servicio nacional de meteorología e hidrología SENAMHI del departamento de Tarija por su colaboración para la elaboración del presente trabajo.

A mis amigos, por haber compartido momentos gratos y difíciles, una promesa de amistad nos mantendrá siempre unidos pese a las distancias.

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4. HIPÓTESIS A COMPROBAR.....	4
1.5. LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	4
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. MARCO HISTÓRICO.....	6
2.1.1. CUENCA DEL RÍO GUADALQUIVIR.....	6
2.1.1.1. Ámbito geográfico.....	6
2.1.1.2. Topografía.....	8
2.1.2. ESTUDIOS REALIZADOS EN LA CUENCA.....	8
2.1.2.1. Valoración hidrológica de las Cuencas de los Ríos Tolomosa y Victoria	8
2.1.2.2. Balance hídrico integral para la Cuenca del Río Guadalquivir.....	9
2.1.2.3. Plan de manejo integral de la Alta Cuenca del Río Guadalquivir.....	9
2.1.2.4. Diagnóstico Ambiental de la Alta Cuenca del río Guadalquivir.....	12
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	12
2.2.1. COMPLETADO DE DATOS.....	12

2.2.1.1. Métodos univariados.....	13
2.2.1.2. Métodos multivariantes aplicados a una única variable meteorológica....	14
2.2.2. CONTROL DE CALIDAD DE DATOS.....	20
2.2.2.1 Control de Calidad de Datos de lluvia.....	23
2.2.2.2 RCLIMDEX.....	27
2.2.2.3. DECADE.....	34
2.2.3. TEST DE HOMOGENEIZACIÓN.....	36
2.2.3.1. Test del recorrido.....	37
2.2.3.2. Método de los residuales acumulados.....	38
2.2.3.3. Prueba de Helmert.....	40
2.2.3.4. Método de las alternancias.....	41
2.2.4. GRILLA METEOROLÓGICA GMET.....	41
2.2.5. MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN.....	44
2.2.6. DATOS RÁSTER.....	46
CAPÍTULO III.....	50
METODOLOGÍA Y DESARROLLO.....	50
3.1. Recopilación de datos meteorológicos.....	50
3.1.1 Periodo de Registro.....	54
3.2. Control de Calidad.....	63
3.2.1. Análisis de control de calidad: RCLIMDEX.....	63
3.2.2. Análisis de control de calidad: DECADE.....	71
3.3. Criterios de Selección de Estaciones.....	76
3.3.1. Primer Criterio de Selección de Estaciones.....	76

3.3.1.1. Relleno de series faltantes.....	78
3.3.1.2. Aplicación de la Grilla Meteorológica GMET.....	80
3.3.1.3. Validación de la Grilla Meteorológica GMET.....	90
3.3.2. Segundo Criterio de Selección de Estaciones.....	94
3.3.2.1. Relleno de series faltantes.....	96
3.3.2.2. Aplicación de la Grilla Meteorológica GMET.....	96
3.3.2.3. Validación de la Grilla Meteorológica GMET.....	101
3.3.3. Tercer Criterio de Selección.....	105
3.3.3.1. Aplicación de la Grilla Meteorológica GMET.....	106
3.3.3.2. Validación de la Grilla Meteorológica GMET.....	111
CAPÍTULO IV.....	116
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	116
CAPÍTULO V.....	134
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	134
5.1. Conclusiones.....	134
5.2. Recomendaciones.....	136
BIBLIOGRAFÍA.....	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1 Cuenca del Río Guadalquivir.....	5
Figura N°2 Ubicación de la cuenca con respecto al Departamento de Tarija.....	7
Figura N°3 Tamaño de la muestra.....	31
Figura N°4 Datos asimétricos.....	31
Figura N° 5 Valores Atípicos	32
Figura N°6 Centros de los grupos.....	33
Figura N°7 Dispersiones de los grupos.....	33
Figura N°8 Diagrama de Caja.....	34
Figura N°9 Datos Ráster.....	47
Figura N°10 Ubicación Geográfica Estaciones Activas.....	52
Figura N°11 Ubicación Geográfica Estaciones Cerradas.....	55
Figura N°12 Campanario Boxes.....	65
Figura N°13 Campanario Boxseries.....	66
Figura N°14 Campanario Rounding.....	68
Figura N°15 Campanario Outliers.....	69
Figura N°16 Campanario_tn_flatline	70
Figura N°17 Campanario_tx_flatline	70
Figura N°18 Campanario_tx_jumps.....	71
Figura N°19 Pointsplots Campanario.....	72
Figura N°20 Decimals Campanario (PCP).....	73
Figura N°21 Missing Campanario (PCP)	74
Figura N°22 Weekly Cycles Campanario (PCP).....	75
Figura N°23 Statistics Campanario (PCP).....	75

Figura N°24 Guadalquivir_monthly_STEP 1.....	81
Figura N°25 Guadalquivir_monthly_STEP 8.....	82
Figura N°26 Guadalquivir_monthly_STEP 61.....	82
Figura N°27 Guadalquivir_monthly_STEP 68.....	83
Figura N°28 Guadalquivir_monthly_STEP 121.....	83
Figura N°29 Guadalquivir_monthly_STEP 128.....	84
Figura N°30 Guadalquivir_monthly_STEP 241.....	84
Figura N°31 Guadalquivir_monthly_STEP 248.....	85
Figura N°32 Guadalquivir_monthly_STEP 361.....	85
Figura N°33 Guadalquivir_monthly_STEP 368.....	86
Figura N°34 Guadalquivir_monthly_STEP 421.....	86
Figura N°35 Guadalquivir_monthly_STEP 428.....	87
Figura N°36 Guadalquivir_Sumyear_STEP 1.....	87
Figura N°37 Guadalquivir_Sumyear_STEP 6.....	88
Figura N°38 Guadalquivir_Sumyear_STEP 11.....	88
Figura N°39 Guadalquivir_Sumyear_STEP 21.....	89
Figura N°40 Guadalquivir_Sumyear_STEP 31.....	89
Figura N°41 Guadalquivir_Sumyear_STEP 35.....	90
Figura N°42 Diagrama de dispersión de GMET vs Valores observados.....	91
Figura N°43 Series Mensuales de GMET vs Estaciones en la Cuenca del Río Guadalquivir.....	92
Figura N°44 Series Anuales de GMET vs Estaciones en la Cuenca del Río Guadalquivir	93
Figura N°45 Componentes del error sistemático y aleatorio.....	94
Figura N°46 Guadalquivir monthly_STEP 1.....	97

Figura N°47 Guadalquivir monthly_STEP 8.....	97
Figura N°48 Guadalquivir monthly_STEP 61.....	98
Figura N°49 Guadalquivir monthly_STEP 68.....	98
Figura N°50 Guadalquivir monthly_STEP 121.....	99
Figura N°51 Guadalquivir monthly_STEP 128.....	99
Figura N°52 Guadalquivir_Sumyear_STEP 1.....	100
Figura N°53 Guadalquivir_Sumyear_STEP 6.....	100
Figura N°54 Guadalquivir_Sumyear_STEP 11.....	101
Figura N°55 Diagrama de dispersión de GMET vs Valores observados.....	102
Figura N°56 Series Mensuales de GMET vs Estaciones en la Cuenca del Río Guadalquivir.....	103
Figura N°57 Series Anuales de GMET vs Estaciones en la Cuenca del Río Guadalquivir.....	104
Figura N°58 Componentes del error sistemático y aleatorio.....	105
Figura N°59 Guadalquivir monthly_STEP 1.....	107
Figura N°60 Guadalquivir monthly_STEP 8.....	107
Figura N°61 Guadalquivir monthly_STEP 61.....	108
Figura N°62 Guadalquivir monthly_STEP 68.....	108
Figura N°63 Guadalquivir monthly_STEP 121.....	109
Figura N°64 Guadalquivir monthly_STEP 128.....	109
Figura N°65 Guadalquivir sumyear_STEP 1.....	110
Figura N°66 Guadalquivir sumyear_STEP 6.....	110
Figura N°67 Guadalquivir sumyear_STEP 11.....	111
Figura N°68 Diagrama de dispersión de GMET vs Valores observados.....	112

Figura N°69 Series Mensuales de GMET vs Estaciones en la Cuenca del Río	
Guadalquivir.....	113
Figura N°70 Series Anuales de GMET vs Estaciones en la Cuenca del Río	
Guadalquivir.....	114
Figura N°71 Componentes del error sistemático y aleatorio.....	115
Figura N°72 Resultados Enero 1980.....	118
Figura N°73 Resultados Agosto 1980.....	120
Figura N°74 Resultados Enero 1985.....	122
Figura N°75 Resultados Agosto 1985.....	124
Figura N°76 Resultados Enero 1990.....	126
Figura N°77 Resultados Agosto 1990.....	127
Figura N°78 Resultados 1980.....	129
Figura N°79 Resultados 1985.....	131
Figura N°80 Resultados 1990.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Limitaciones del Estudio	4
Tabla N° 2 Criterio de Doorembos.....	38
Tabla N° 3 Estaciones Activas.....	50
Tabla N° 4 Estaciones Cerradas.....	53
Tabla N° 5 Periodo de Registro de Precipitación Diaria- Estaciones Abiertas.....	57
Tabla N° 6 Periodo de Registro de Temperatura Máxima Diaria- Estaciones Abiertas.....	58
Tabla N° 7 Periodo de Registro de Temperatura Mínima Diaria- Estaciones Abiertas.....	59
Tabla N° 8 Periodo de Registro de Precipitación Diaria- Estaciones Cerradas.....	60
Tabla N° 9 Periodo de Registro de Temperatura Máxima Diaria- Estaciones Cerradas.....	61
Tabla N° 10 Periodo de Registro de Temperatura Mínima Diaria- Estaciones Cerradas.....	62
Tabla N° 11 Porcentaje de Completitud de datos.....	76
Tabla N° 12 Estaciones empleadas (1980-2016).....	78
Tabla N° 13 Estaciones Rellenadas (1980-2016).....	79
Tabla N° 14 Estaciones Empleadas (1980-1992).....	94
Tabla N° 15 Estaciones Rellenadas (1980-1992).....	96
Tabla N° 16 Estaciones que pasaron el Análisis de Homogeneidad.....	105