



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CALIDAD  
DEL AGUA PARA LA CUENCA DEL RIO TOMEBAMBA EN MONAY.”**

TESIS DE GRADO  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERO AMBIENTAL

**AUTORES:**

Edison Fernando Amay Izquierdo  
Esteban Santiago López Puma

**DIRECTOR:**

Ing. Diego Mora Serrano, PhD

**COORDINADOR:**

Ing. Jorge Alejandro García Zumalacarregui, MSc

Cuenca - Ecuador

2015



## RESUMEN

La presente tesis ha sido desarrollada con la finalidad de extender el conocimiento hidrológico referente al estudio de la calidad del agua considerando los efectos del cambio climático en cuencas andinas tropicales. Esto fue posible mediante el desarrollo de un submodelo de calidad de agua obtenido por minería de datos para relacionar parámetros de agua y parámetros hidrometeorológicos. Una base de datos de 27 días fue utilizada para obtener el submodelo en el software Weka. Dicha base está conformada por 7 parámetros fisicoquímicos (DBO, DQO, OD, CT, SST, nitratos y nitritos) y 4 variables hidrometeorológicas (caudal, precipitación, temperatura y ETo) diarias observadas. Las ecuaciones resultantes fueron capaces de modelar satisfactoriamente la carga (kg/día) de los parámetros fisicoquímicos en la cuenca de Tomebamba en Monay. Posteriormente, los resultados de Weka fueron incorporados con los de las predicciones del modelo VHM, obteniendo así predicciones de los 7 parámetros de calidad de agua para los años futuros 2045-2065 para el escenario de cambio climático A1B del Informe especial de la IPCC sobre escenarios de emisiones. La investigación logró cumplir con los objetivos establecidos, evidenciando que para los años futuros se tendría una reducción de la calidad del agua en eventos de inundación, donde se proyecta un incremento superior a los 9409 kg/día de DBO, 357599 kg/día de DQO, 18045 Kg/día de OD y 619 Kg/día de nitratos; mientras que en los eventos de sequía se presentarían reducciones, siendo las más significativas el descenso de  $-2.20E+05$  kg/día de SST y  $-63988.9$  kg/día de DBO.

**Palabras Clave:** Cambio climático, Modelo conceptual, Calidad de agua, Carga de contaminación, Minería de bases de datos.



## ABSTRACT

This thesis has been developed for the purpose to extend the hydrological knowledge concerning to the study of water quality considering climate change impacts with in tropical Andean basins. This was possible through the development of a water quality submodel obtained by data mining to relate water quality parameters versus hydro-meteorological parameters. A database of 27 days was used to obtain a submodel in the Weka software. This database consists of seven physicochemical parameters (BOD, COD, DO, CT, SST, nitrates and nitrites) and 4 hydro-meteorological variables (flow, precipitation, temperature and ETo) daily observed. The resulting equations were able to model successfully the load (kg / day) of physicochemical parameters in relation with the hydro meteorological variables at the Tomebamba in Monay basin. Subsequently, the results of Weka were incorporated with the results of climate models and the results of the VHM model, obtaining predictions of the 7 parameters of water quality for the years 2045 to 2065 for the climate change scenario A1B of Special Report of the IPCC scenarios emissions. The research achievement meet the objectives set, showing that for future years a reduction in water quality, where an increase of 9409 kg / day BOD increase, 357,599 kg / day of COD, 18045 kg / day OD and 619 Kg / day of nitrate is projected; while in the drought events pollutant load reductions are presented, the most significant lowering of  $-2.20E + 05$  kg / day of SST and  $-63988.9$  kg / day BOD.

**Keywords:** Climate change, conceptual model, water quality, pollution load, data base mining.



## CONTENIDO

RESUMEN.....	2
ABSTRACT .....	3
CONTENIDO.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE TABLAS .....	8
CLÁUSULAS DE DERECHOS DE AUTOR.....	9
CLÁUSULAS DE PROPIEDAD INTELECTUAL.....	11
DEDICATORIAS.....	13
AGRADECIMIENTOS.....	15
ACRONIMOS .....	17
CAPITULO 1 .....	19
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	19
1.1. Antecedentes .....	19
1.2. Justificación .....	24
1.3. Objetivos .....	25
1.3.1. Objetivo Universal .....	25
1.3.2. Objetivo General.....	25
1.3.3. Objetivos Específicos.....	25
1.4. Hipótesis .....	26
CAPITULO 2 .....	27
2. REVISION DE LITERATURA .....	27
2.1. Cambio climático .....	27
2.1.1. Que se conoce en el Ecuador .....	31
2.2. Escenarios de cambio climático.....	33
2.3. Modelos climáticos .....	34
2.4. Modelos de calidad de agua.....	35
2.4.1. Calidad del agua en los ríos de la ciudad de Cuenca .....	36
2.4.2. Principios de modelación de calidad de agua.....	38
2.4.3. Modelos simplificados de calidad de agua.....	41



2.4.4. Relación entre los parámetros hidrológicos (caudal-lluvia) vs parámetros de calidad de agua .....	43
2.5. Minería de Datos .....	45
2.5.1. Software WEKA .....	47
2.6. Modelos de lluvia escorrentía .....	47
2.6.1. Modelo conceptual agregado VHM .....	48
2.6.2. Modelación de lluvia escorrentía en la región.....	50
CAPITULO 3 .....	52
3. MATERIALES Y METODOS .....	52
3.1. Área de estudio.....	52
3.2. Monitoreo y recopilación de datos .....	53
3.3. Series de datos futuras.....	55
3.4. Determinación de un submodelo conceptual de la calidad agua mediante minería de datos en WEKA.....	58
3.4.1. <i>Algoritmo Linear Regression</i> .....	59
3.4.2. Algoritmo LeastMedSq .....	59
3.4.3. Algoritmo SMOreg.....	59
3.4.4. Algoritmo M5Base .....	60
3.4.5. Algoritmo M5Rules .....	60
3.5. Calibración y elección del submodelo de calidad de agua obtenido por WEKA	61
3.6. Relación establecida entre los resultados obtenidos por el software Weka y las proyecciones realizadas por el VHM.....	63
3.7. Estimación de la precipitación diaria total sobre el área de estudio considerando la elevación y el método de los polígonos de Thiessen.....	64
3.8. Análisis estadístico .....	66
3.8.1. Representación estadística mediante diagramas de caja .....	66
3.8.2. Comparación entre los parámetros fisicoquímicos modelados 1964-1984 vs modelados 2045-2065 .....	67
3.8.3. Análisis de cambio (delta) y estimación de la calidad del agua futura en base al comportamiento proyectado de los parámetros fisicoquímicos .....	68
CAPITULO 4 .....	70
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	70



---

4.1. Información primaria sobre parámetros de calidad de agua levantada y anexada a datos existentes .....	70
4.2. Bases de datos hidrometeorológicos compiladas .....	72
4.2.1. Datos hidrometeorológicos utilizados para la obtención del submodelo de calidad de agua.....	72
4.2.2. Datos hidrometeorológicos modelados y usados para las proyecciones en el submodelo de calidad de agua .....	76
4.3. Submodelo de calidad de agua establecido mediante WEKA .....	77
4.3.1. Ecuaciones seleccionadas.....	82
4.4. Análisis estadístico de los resultados proyectados.....	87
4.4.1. Análisis de proyecciones considerando el cambio climático en la calidad del agua <sup>92</sup>	
4.4.2. Cambios esperados para el futuro.....	97
CAPITULO 5 .....	99
5.1. Conclusiones.....	99
5.2. Observaciones .....	100
5.3. Recomendaciones.....	101
BIBLIOGRAFÍA.....	103
ANEXOS .....	108



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1:</b> Red de estaciones de monitoreo del Programa de vigilancia de la calidad de agua de los ríos de Cuenca .....	36
<b>Figura 2.2:</b> Tipos de modelos simplificados de calidad de agua.....	42
<b>Figura 2.3:</b> Representación esquemática de la escorrentía en una cuenca hidrográfica.....	44
<b>Figura 2.4:</b> Esquema del funcionamiento del VHM. ....	49
<b>Figura 3.1:</b> Cuenca de Tomebamba en Monay .....	53
<b>Figura 3.2:</b> Ilustración esquemática de los escenarios de emisiones.....	56
<b>Figura 3.3:</b> GCM/RCM corridos para la región del Ecuador. ....	57
<b>Figura 3.4:</b> Proyección de resultados en la interfaz de WEKA .....	61
<b>Figura 3.5:</b> Representación de las ecuaciones propuestas por el software .....	62
<b>Figura 3.6:</b> Representación gráfica de un box plot.....	67
<b>Figura 3.7:</b> Diagrama de caja múltiple, ejemplificación. ....	68
<b>Figura 4.1:</b> Análisis SIG del área de estudio para la obtención del área de influencia de las estaciones meteorológicas de Marianza Alto y Bajo, Promas y Cumbe.....	73
<b>Figura 4.2:</b> Representación gráfica de la concentración y carga observada vs la modelada.....	79
<b>Figura 4.3:</b> Relación de los nitratos en concentración frente a las variables Hidrometeorológicas .....	80
<b>Figura 4.4:</b> Relación de los nitratos en carga frente a las variables Hidrometeorológicas .....	80
<b>Figura 4.5:</b> Relación del caudal registrado con la temperatura, ETo y precipitación registrados.....	81
<b>Figura 4.6:</b> Comparación grafica de algoritmos para DBO.....	84
<b>Figura 4.7:</b> Proyecciones para el OD obtenidas mediante la ecuación establecida por el algoritmo LeastMedSq.....	90
<b>Figura 4.8:</b> Delta proyectado para el escenario A1B referente a la DBO .....	93
<b>Figura 4.9:</b> Delta proyectado para el escenario A1B referente a la DQO .....	94
<b>Figura 4.10:</b> Delta proyectado para el escenario A1B referente a Los nitritos.....	94
<b>Figura 4.11:</b> Delta proyectado para el escenario A1B referente al OD.....	95
<b>Figura 4.12:</b> Delta proyectado para el escenario A1B referente a los SST .....	96
<b>Figura 4.13:</b> Delta proyectado para el escenario A1B referente a los nitratos ....	97



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1:</b> Categorías de índice de calidad de agua de la NFC.....	37
<b>Tabla 3.1:</b> Estaciones meteorológicas y climáticas dentro del área de estudio ...	54
<b>Tabla 3.2:</b> Estación de monitoreo continuo Tomebamba en Monay .....	54
<b>Tabla 3.3:</b> Parámetros físico químicos de interés para la investigación. ....	55
<b>Tabla 3.4:</b> Variables hidrometeorológicas observadas y proyectadas que ingresan en las ecuaciones generadas por Weka para cada parámetro fisicoquímico.....	64
<b>Tabla 3.5:</b> Estaciones meteorológicas con precipitación futura. ....	66
<b>Tabla 4.1:</b> Resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros físico químicos .....	70
<b>Tabla 4.2:</b> Base de datos físico químicos completa .....	70
<b>Tabla 4.3:</b> Áreas de influencia estimadas para cada estación meteorológica .....	74
<b>Tabla 4.4:</b> Precipitación media diaria registrada por estación en mm/día y la total calculada. ....	74
<b>Tabla 4.5:</b> Caudal, evapotranspiración y temperatura registrados para los 27 de días de análisis.....	76
<b>Tabla 4.6:</b> Coeficiente de correlación alcanzados con carga y concentración.....	77
<b>Tabla 4.7:</b> Coeficientes de correlación y error absoluto de los algoritmos empleados para la elección del submodelo de cálida de agua. ....	83
<b>Tabla 4.8:</b> Valores de carga medios proyectados para el periodo de observación y los alcanzados por el mínimo, máximo, mediana y los cuartiles 1 y 3 de los modelos en el escenario A1B.....	88
<b>Tabla 4.9:</b> Rangos hidrometeorológicos definidos para condiciones extremas y normales.....	89
<b>Tabla 4.10:</b> Valores de carga medios proyectados para los deltas alcanzados por el mínimo, máximo, mediana y los cuartiles 1 y 3 considerando el cambio climático. ....	92





## CLÁUSULAS DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, *Edison Fernando Amay Izquierdo*, autor de la tesis “ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CALIDAD DEL AGUA PARA LA CUENCA DEL RIO TOMBAMBA EN MONAY.”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 22 de Abril de 2015

---

Edison Fernando Amay Izquierdo

C.I: 0106628209



Yo, Esteban Santiago López Puma, autor de la tesis " ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CALIDAD DEL AGUA PARA LA CUENCA DEL RIO TOMBAMBA EN MONAY.", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 22 de Abril de 2015

---

Esteban Santiago López Puma

C.I: 0104930730



---

## CLÁUSULAS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Yo, *Edison Fernando Amay Izquierdo*, autor de la tesis “ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CALIDAD DEL AGUA PARA LA CUENCA DEL RIO TOMBAMBA EN MONAY.”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 22 de Abril de 2015

---

Edison Fernando Amay Izquierdo

C.I: 0106628209



---

Yo, Esteban Santiago López Puma, autor de la tesis "ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CALIDAD DEL AGUA PARA LA CUENCA DEL RIO TOMBAMBA EN MONAY.", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 22 de Abril de 2015

---

Esteban Santiago López Puma

C.I: 0104930730



---

## DEDICATORIAS

Le dedico este trabajo a Dios, a quien le atribuyo sacarme adelante e impulsarme a seguir avanzando. A mi madre, Esperanza Izquierdo, la mujer más valiente que conozco, que ha estado a mi lado inculcándome valores y esforzándome a dar siempre lo mejor. A mis hermanos, Gabriel, Guillermo y Juan Carlos que me han motivado y dado su apoyo.

**Edison Fernando Amay Izquierdo**



Dedico este trabajo de investigación a mi abuelita María Valdivieso quien ha sido de gran apoyo e inspiración durante toda mi vida, a mi mama Silvia Puma ya que con su apoyo incondicional siempre he salido adelante, mi hermano Juan López quien me brindó su apoyo constante. Gracias a ellos logre culminar una etapa más de mi vida.

**Esteban Santiago López Puma**



---

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a Dios por todo su apoyo y fortaleza durante toda mi vida, en cada etapa de ella. De verdad gracias por estar allí.

Agradezco a mi madre y hermanos que me han brindado su apoyo y comprensión en el proceso de formación personal y académica.

A mi director de tesis el Ing. Diego Mora Serrano, PhD., por compartir no solo sus conocimientos sino también parte de su valioso tiempo en la conducción de esta investigación.

A mi tutor de tesis el Ing. Jorge Alejandro García Zumalacarregui, MSc., quien a pesar de haber estado en otro país durante las primeras fases de desarrollo de la tesis, brindó valiosas observaciones y comentarios que permitieron mejorar la misma.

Al Programa para el Manejo del Agua y Suelo (PROMAS) que respaldó la investigación al proporcionar información hidrometeorológica vital para la ejecución del estudio.

Al programa VLIROUS que financió las campañas de monitoreo y los análisis de la laboratorio de las muestras recolectadas.

Al Ing. Oscar Morales, por su apoyo en las salidas de campo.

Al Ing. Vicente Iñiguez, MSc., por compartir importante información meteorológica levantada en su tesis de maestría y que fue útil en la realización de esta.

Y por último, a todas las personas que de una u otra forma apoyaron la investigación.

**Edison Fernando Amay Izquierdo**



A mi familia quienes fueron un gran apoyo durante toda mi vida.

A mi director de tesis, Ing. Diego Mora PhD quien compartió su conocimiento y me apoyó durante la realización del presente trabajo, siendo la base fundamental para culminar el mismo.

A mi coordinador, Ing. Jorge García MSc, que a pesar que se encontraba lejos me supo ayudar y guiar de la mejor manera.

Al Ing. Vicente Iñiguez MSc, ya que colaboró indispensablemente con datos necesarios para la realización de este trabajo.

Al Ing. Oscar Morales, el mismo que nos ayudó de la mejor manera en las fechas establecida para los monitoreos.

A la red universitaria VLIR, quien nos brindó su apoyo durante el transcurso de este trabajo.

A PROMAS, quien nos colaboró con las herramientas necesarias y nos apoyó para poder realizar el presente trabajo.

**Esteban Santiago López Puma**





---

## ACRONIMOS

**BMWP:** Biological Monitoring Working Party, por sus siglas en el inglés.

**CC:** Coeficiente de correlación

**CMNUCC o UNFCCC:** La Conservación Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

**CT:** Coliformes totales.

**DBM:** Mecanicista Basado en Datos.

**DBO:** Es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para degradar materia orgánica presente en un cuerpo de agua.

**DBO5:** demanda bioquímica de oxígeno realizada en un periodo de 5 días.

**DQO:** Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles a ser oxidadas por medios químicos, estas pueden estar disueltas o en suspensión.

**EA:** Error absoluto

**ENSO:** El Niño Southern Oscillation (Fenómeno del niño).

**ETAPA EP:** Empresa publica municipal de telecomunicaciones, agua potable, alcantarillado y saneamiento.

**ETo:** Evapotranspiración de referencia.

**GNU:** Licencia publica general, GNU por sus siglas en ingles.

**GLUE:** Generalised Likelihood Uncertainty.

**GEI:** Gases de efecto invernadero.

**INAMHI:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

**INERHI:** Instituto Ecuatoriano de Recursos Hídricos.

**INECELL:** Instituto Ecuatoriano de Electrificación.



---

**IPCC:** Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.

**NAM:** Nedbor-Afstromnings Model.

**NFC:** Fundación Sanitaria Nacional.

**NMM:** Nivel medio del mar.

**OD:** Oxígeno disuelto.

**PROMAS:** Programa para el Manejo del Agua y el Suelo.

**SWAT:** Soil and Water Assessment Tool.

**SVM:** Support Vector Machine, SVM por sus siglas en ingles.

**SST:** Solidos suspendidos totales.

**TSA:** Temperatura superficial del aire.

**TSM:** Temperatura superficial del mar.

**UKCIPO2:** United Kingdom Climate Impacts Programme,

**VHM:** Modelo hidrológico conceptual de lluvia-escorrentía.

**Weka:** Waikato Environment for knowledge Analysis.

**WQI:** Water Quality Index.

**ZCIT:** Zona de convergencia intertropical.



---

## CAPITULO 1

### 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

#### 1.1. Antecedentes

El cambio climático es sin duda uno de los retos más grandes que afronta la humanidad. Sus efectos pueden ser evidenciados en cada rincón del planeta y, de manera muy particular en los ecosistemas andinos tropicales. Cambios observados establecen que ante regímenes de precipitación cambiantes, la respuesta de los ecosistemas andinos gravita en eventos extremos como las sequías o inundaciones. El aumento de la temperatura significaría la intensificación de la evapotranspiración en los cuerpos de agua y posibles cambios en la calidad de los mismos (Herzog, et al., 2011).

El estudio del cambio climático no solo debería estar ligado netamente a los cambios de las condiciones atmosféricas, también deberían ser de prioridad los estudios relacionados a los impactos hidrológicos. Relacionando modelos climáticos e hidrológicos se pueden hacer proyecciones potenciales de inundaciones y sequías (Taye, 2011).

Los modelos hidrológicos son conocidos desde hace mucho tiempo atrás. Heras (1972) los definió como formulaciones matemáticas para simular fenómenos hidrológicos naturales considerándolos procesos o sistemas. Hoy en día, el avance tecnológico referente al potencial computacional sumado al del monitoreo, hacen que los modelos matemáticos sean una herramienta más confiable para acercarnos cada vez más a la realidad en cuanto al modelamiento hidrológico (Fattorelli y Fernández, 2011).

Murdoch, et al., (2000) analizaron los posibles efectos que el cambio climático podría tener en las aguas superficiales en Norte América. Basados en diferentes estudios, prevén que en un clima más caliente y seco, la disminución de escorrentía y el aumento de temperatura pueden alargar los tiempos de residencia de



constituyentes químicos, causando tiempos más largos del lavado de toxinas, especialmente en lagos. Caudales mínimos, implicarían menos volumen de disolución y, por lo tanto, concentraciones más elevadas de contaminantes y el aumento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). En un clima más húmedo, el aumento de volumen de agua (alta escorrentía) debido a un mayor patrón de precipitación, incrementaría la erosión y el transporte de sedimentos. Se movilizaría la materia orgánica almacenada en corredores de ríos, elevando las concentraciones de carbono orgánico disuelto (COD) alterando la calidad de agua. Al ampliarse la extensión espacial de la escorrentía directa a las aguas superficiales, se acarrearía la carga contaminante de fuentes puntuales y difusas hidrológicamente aisladas.

En 2009, Whitehead, et al., efectuaron un análisis semejante en el Reino Unido. Los escenarios UKCIPO2<sup>1</sup>, sugieren que las precipitaciones invernales, en esa parte de Europa, podrían aumentar en un 10 -20 % para escenarios de bajas emisiones y, de 15-35% para un escenario de altas emisiones en la década de 2080. Por otra parte, el patrón de precipitación en el verano disminuiría de un 35% para escenarios de bajas emisiones a un 50% para escenarios de altas emisiones. Las modelaciones efectuadas establecen que para la década del 2020, los flujos de invierno podrían aumentar entre un 4 y 9%, mientras que los de verano se verían reducidos en un promedio de 11%. Para eventos extremos de crecidas e inundaciones, los efectos en la calidad del agua son muy similares a los proyectados en Norte América.

Un estudio realizado en la cuenca del Tarim en China, considera el impacto del cambio climático en las aguas subterráneas de la cuenca y específicamente en los extremos hidrológicos haciendo uso de dos modelos (el modelo conceptual VHM y el modelo espacialmente distribuido MIKE-SHE (DHI, 1998)). Se consideran los escenarios altos, medios y bajos (A1B, A2 y B1) de emisiones de gases de efecto

---

<sup>1</sup>Proporcionan cuatro alternativas de cómo el clima del Reino Unido podría evolucionar en el transcurso del siglo XXI (emisiones bajas , emisiones medio-bajas , nivel de emisiones medio – altas y emisiones altas)



invernadero generados por el IPCC. El estudio señala que el modelo conceptual VHM puede simular con mayor facilidad el efecto de los escenarios de cambio climático (Liu, et al., 2011). En el año 2011 se realizó el estudio del río Nilo, el mismo propone el uso de dos modelos conceptuales diferentes (modelo VHM y modelo NAM), estos analizan el posible cambio de las variables del recurso hidrológico, obteniendo una visión sobre el cambio climático en cuanto a la hidrología y los fenómenos hidrológicos extremos (Taye, 2011).

A nivel local se han efectuado varios estudios sobre los efectos del cambio climático en los recursos hídricos de la región. En 2009, Buytaert, et al., examinaron el impacto de las incertidumbres de los modelos globales de cambio climático en estudios de impacto hidrológico en los Andes tropicales. Se estudiaron las subcuencas de los ríos Matadero en Sayausí (294,6 km<sup>2</sup>), Jadán (292,1 km<sup>2</sup>), Tomebamba en Monay (1250,9 km<sup>2</sup>) y Paute (2460,4 km<sup>2</sup>). El estudio consideró el escenario A1B del IPCC, en el periodo 2011-2030. Entre los resultados de la investigación, se encontró que en corto plazo, el impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos, se da principalmente sobre la evapotranspiración y precipitación. Los investigadores señalan que el desarrollo y aplicación de métodos de reducción de escala en los modelos climáticos e hidrológicos, puede mejorar significativamente la comprensión de los posibles cambios futuros.

En el año 2014, Mora, et al., investigaron los efectos que el cambio climático tiene sobre las variables hidrometeorológicas e hidrológicas de la cuenca del río Paute, al sur de los Andes ecuatorianos. Para el estudio se consideraron las subcuencas de Tomebamba en Monay y Matadero en Sayausí y series de datos observados de lluvia y temperatura en los periodos de 1962- 1964, y 1992-1993. Se realizaron proyecciones para el periodo de 2045-2065, considerando los escenarios de cambio climático de la IPCC A1B, A2 Y B1. Para reducir la escala climática global a una de tipo regional (downscaling) utilizaron un enfoque de perturbación, usado comúnmente para transferir la señal de un sistema climática o uno hidrológico. Además, aplicaron el modelo VHM para la determinación de la escorrentía. Como resultados, se encontró que el cambio de temperatura en la región puede ser de 2,0 °C. Los periodos fríos presentan cambios mayores que los calientes. La



intensidad de la precipitación se incrementa, lo cual produce cambios en las condiciones de escorrentía (extremos). El aumento de temperatura produciría un incremento de la evapotranspiración y por ende una disminución en el número de días húmedos.

En el Ecuador la cuenca del río Paute es una de las cuencas más monitoreadas desde 1963, esto se debe a la importancia de esta para la generación de energía hidroeléctrica, existen varias bases de datos de diferentes instituciones tales como: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Instituto Ecuatoriano de Recursos Hídricos (INERHI) y el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECELL). El análisis de precipitación y temperatura demostraron que la cuenca del río Paute varían según su altitud, régimen hidrológico y la orientación. Según las temperaturas analizadas se observa que durante los años 1968-1973 son más bajas y son más cálidas durante los años 1978-1984 esto tiene una relación directa en cuanto a la elevación y el fenómeno del niño (ENSO), en cuanto al valle interandino son menos significativos y para los meses diciembre, enero y febrero la mayoría de las estaciones presentan una correlación mucho mayor y menor para los meses junio, julio y agosto. Según las variaciones históricas demuestran un comportamiento diverso y de su importancia en cuanto a las anomalías y que su correlación con el clima a gran escala es menos clara. En la actualidad el INAMHI es el encargado de la red hidrometeorológica del país, se tiene alrededor de 25 estaciones pluviométricas. Este estudio es muy importante para enriquecer los conocimientos en cuanto a la variabilidad climática local, esta correlación entre clima e influencias externas nos indica que son más simples para la temperatura y más complejas para las precipitaciones abriendo así la posibilidad de una investigación más allá de los periodos estudiados ya que este estudio se realizó en un periodo de 30 años lo cual se necesita de más estudios para tener una idea más clara de la cuenca del río Paute (Mora y Willems, 2011).

Pocos estudios se han llevado a cabo en el ámbito de la modelación hidrológica conceptual en el austro del país y, ninguno que considere los efectos del cambio climático sobre la calidad del agua. En el año 2010 se efectuó la evaluación de un modelo hidrológico para la simulación de escorrentía en las subcuencas de



Matadero y Tomebamba ubicadas en la cuenca del Paute al sur de los Andes Ecuatorianos, para lo cual se hizo uso del modelo conceptual agregado VHM. Este modelo, puede ser adaptado utilizando varios parámetros al mismo tiempo, permitiendo extraer información útil a partir de las series de tiempo de descarga observada. La investigación señala que el VHM permite obtener un modelo operacional robusto para el estudio de la región. (Céleri, et al., 2010). El modelo VHM ha tenido varios avances, es decir ha sido modificado continuamente (Willems et al, 2014). En 2010, se llevó a cabo la modelación hidrológica de la microcuenca alto andina, correspondiente al curso fluvial de Zhurucay alto, ubicada en el Austro del Ecuador, al oeste de la ciudad de Cuenca, haciendo uso del modelo agredo Nedbor-Afstromnings Model (NAM), obteniéndose predicciones de modelación numérica aceptables adaptadas a la región. (Vázquez, 2010). Un estudio más reciente en nuestro medio trata sobre la aplicabilidad de los modelos NAM y el Mecanicista Basado en Datos (DBM) para la estimación de los caudales de las zonas de Tomebamba en Matadero y la otra en Zhurucay alto, ubicadas en las cuencas del Paute y Jubones respectivamente; en este, las predicciones obtenidas con el modelo DBM presentaron superioridad en relación con el NAM, debido a la dificultad de calibrar y que requiere de una menor experiencia hidrológica que la necesaria para calibrar el NAM; sumado a esto, el estudio señala que la estructura del modelo NAM, se vio afectada por una sobre-sensibilidad a los datos de evapotranspiración, por lo que produjo predicciones desfavorables. (Quichimbo, et al., 2013), A pesar de los esfuerzos en determinar un modelo hidrológico que simule adecuadamente los procesos de lluvia-escorrentía, la experiencia en la simulación de variables de calidad de agua es escasa.

Pese a que se han efectuado varios esfuerzos en determinar un modelo hidrológico que simule adecuadamente los procesos de lluvia-esocorrentía en sistemas andinos, la experiencia en la simulación de variables de calidad de agua y su relación con las variables climáticas e hidrológicas, en estos sistemas, es escasa.

Monitoreos de la calidad de agua de los ríos de Cuenca, realizados por ETAPA EP en el periodo 2005 -2009, demostraron que la calidad del agua disminuye en las



zonas urbanas. Usando los índices WQI/NSF<sup>2</sup> evaluaron la calidad del agua en los ríos Tomebamba, Yanuncay, Tarqui y Machangara en tramos aguas arriba de la ciudad de Cuenca y en tramos que corren atravesándola. Los resultados obtenidos revelaron que los índices de calidad desciende desde una clasificación excelente-buena, para tramos altos, a una buena-media en tramos bajos. Los índices biológicos BMWP<sup>3</sup> clasifican como aguas contaminadas a los tramos que atraviezan la urbe de Cuenca (Gonzalez, 2011).

## 1.2. Justificación

El cambio climático produce diversas respuestas en diferentes regiones, entre ellas el desequilibrio meteorológico como la alteración de la precipitación, la temperatura y la evapotranspiración. Este desequilibrio puede tener consecuencias considerables sobre los patrones hidrológicos de las cuencas. La contaminación generada por fuentes puntuales y difusas dentro de la subcuenca Tomebamba perteneciente a la cuenca del Paute, ubicada en el austro ecuatoriano, tiene el potencial de alterar la composición tanto química como biológica de los ríos en los cuales desemboca. En nuestro medio, si bien se han llevado a cabo estudios sobre la aplicabilidad de distintos modelos hidrológicos en las cuencas andinas, no se han calibrado ni validado modelos hidrológicos que integren los parámetros de la calidad de agua con proyecciones de escenarios de cambio climático.

Es necesario centrar nuestra atención en los posibles impactos futuros donde los potenciales cambios acelerados en el clima, podrían afectar gravemente el ecosistema andino y la calidad y cantidad del recurso hídrico. Es por esto que la presente investigación está enfocada en modelar el posible comportamiento que tendría la calidad de agua frente al cambio climático futuro. La misma presentará un importante aporte científico para la región, referente al estado actual y futuro de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua en los ríos de las cuencas alto

---

<sup>2</sup>Water Quality Index, Índice desarrollado por "The National Sanitation Foundation, NSF" en 1970. Evalúa la calidad del agua basado en parámetros fisicoquímicos.

<sup>3</sup> Biological monitoring Working Party, establecido en Inglaterra el año 1970. Evalúa la calidad del agua usando macro invertebrados como bioindicadores.





andinas; ayudará también a conocer los potenciales problemas que deben ser afrontados para así, emprender proyectos encaminados hacia la mitigación de los principales impactos del cambio climático.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo Universal**

- Extender el conocimiento hidrológico referente al cambio climático con el estudio de calidad de agua en cuencas andinas tropicales.

#### **1.3.2. Objetivo General**

- Analizar el impacto del cambio climático en la calidad del agua para escenarios futuros mediante la determinación de relaciones entre variables climáticas y variables de calidad del agua.

#### **1.3.3. Objetivos Específicos**

- Monitorear las variables de calidad de agua de la cuenca Tomebamba en Monay, con el fin de aportar información a la base de datos existente.
- Recopilar una base de datos con parámetros hidrológicos presentes y futuros y otra con datos sobre los parámetros físico-químicos de calidad de agua presentes de la subcuenca de análisis.
- Incorporación de un submodelo conceptual de calidad de agua a los resultados obtenidos previamente por el modelo VHM. (Mora et al, 2014).
  - Determinar un submodelo conceptual de la calidad agua mediante minería de datos en el software WEKA.
- Modelar el comportamiento de las variables de calidad de agua respecto a las hidrológicas con datos futuros.
- Efectuar un análisis comparativo de la calidad de agua entre el escenario presente y futuro (A1B).



#### 1.4. Hipótesis

- **Hipótesis general:** El cambio climático está influenciando los parámetros de calidad de agua referidos a eventos extremos (sequías e inundaciones) en la subcuenca Tomebamba en Monay.
- **Hipótesis universal:** El cambio climático está influenciando directamente los parámetros hidrológicos.
- **Hipótesis alternativa:** El cambio climático no influencia los parámetros de calidad de agua en la subcuenca Tomebamba en Monay.
- **Hipótesis específica:** El software a emplear (WEKA) es aceptado, observando una simulación aceptable.



---

## CAPITULO 2

### 2. REVISION DE LITERATURA

El cambio climático es una realidad que hoy en día se puede percibir, el notable aumento de la temperatura atmosférica desde hace un siglo, a pesar de que este cambio sea minúsculo, las consecuencias son muy variables y podríamos imaginar los cambios que podríamos tener a futuro.

Los cambios hidrológicos podrían influir de varias maneras en las especies, esto dependerá de los eventos próximos. Un ejemplo claro son las sequías, si este evento ocurriría con gran fuerza podría ocasionar la disminución de calidad del agua y las necesidades humanas en zonas aledañas al cauce. La evapotranspiración es un aspecto muy importante en el balance hídrico, teniendo en cuenta que, el cambio climático repercutirá en el cambio de estructura sus funciones biológicas.

Las variables de calidad de agua podrían verse afectadas por el aumento de temperatura del aire y la precipitación, las mismas que son promotores del cambio climático. El cambio climático podría inducir un descenso sobre la calidad del agua. No obstante, conviene tener en cuenta que, no hay estudios concretos en cuanto a las variables de calidad del agua con respecto al cambio climático.

#### 2.1. Cambio climático

Durante los últimos dos siglos se puede observar un incremento exponencial de la población, este incremento genera una dependencia de los recursos naturales, así también un deterioro de las condiciones normales del planeta, todo esto debido a un desarrollo tecnológico, produciéndose impactos globales como el aumento de los gases de efecto invernadero (GEI).



El conocido cambio climático es todo un reto que la humanidad debe enfrentar en los próximos siglos. Existen dos características principales que hacen que el cambio climático este asociado a la historia del planeta: primero, la rapidez de este cambio que son notables en espacios cortos de tiempo como son las décadas. Segundo, que la especie humana es el precursor de todos estos cambios, de tal modo se emplea el termino antropoceno que hace referencia a la etapa o una nueva era geológica donde la especie humana ha sido capaz de cambiar los procesos de la biosfera (Duarte, et al., 2006).

Todos los procesos que se dan en nuestro planeta ocurren por acción de la energía del sol; esta energía es transmitida hacia la tierra en forma de radiación electromagnética, sin embargo el clima se determina por diferentes razones, ya sean internas o externas al planeta tierra, las mismas que ocasionan un cambio en el tiempo y por esta razón hace que el clima cada vez se ajuste causando cambios en las variables climáticas. Este ajuste climático no debe ser inalterable y por esta razón el clima en la actualidad no es el mismo que en el pasado y no será el mismo para el futuro (Duarte, et al., 2006).

Los rayos solares que ingresan a la tierra son reflejados o absorbidos por diferentes cuerpos como: las nubes y gases que están en la atmosfera. La radiación terrestre queda atrapada en su mayor parte en la atmosfera, sin embargo la radiación que logra pasar es denominada ventana de radiación. La atmosfera actúa como un vidrio, esto hace que la temperatura de la superficie de la tierra sea mucho mayor que la que podría ser si no existiera la atmosfera.

El albedo nos da la idea de cuanta radiación solar la tierra absorbe y refleja nuevamente hacia el espacio o dispersada como calor. El albedo planetario depende de las condiciones del planeta, entre estos están la cantidad de nubes, condiciones del océano y aerosoles presentes en la atmosfera. Es importante recalcar que superficies claras como la nieve tienen un albedo de entre 20 y 80%; esto hace que no exista una transferencia de calor significativa entre el océano y la atmosfera. La vegetación proporciona un albedo de un 10% y las nubes proporcionan un albedo de un 30% (Duarte, et al., 2006).



La combustión de hidrocarburos fósiles desde la revolución industrial son generadoras de emisiones de GEI causada por origen humano (antropogénico). Un punto muy importante es que los océanos, suelos y la biosfera absorben gran cantidad de GEI, pero, todos estos que no son absorbidos y que se encuentran en la atmósfera y estos a su vez son perjudiciales para el planeta. En los últimos 150 años aumento 30% los GEI, estas concentraciones hacen que el sistema climático también se ajuste a dichas variaciones pudiendo estos cambios ser observados en varias décadas.

Cuando hablamos de cambio climático no solo debemos enfocarnos a la temperatura, también debemos tener en cuenta diversas variables como son: la precipitación, el viento, la humedad, la evapotranspiración, entre otros. Estos que también influyen directamente a este problema.

Se conoce que la temperatura promedio ha aumentado en un  $0.6^{\circ}\text{C}$  en los últimos 150 años, esto lo podemos observar en la reducción de los glaciares y el aumento de la temperatura del océano. La temperatura nocturna se ve más afectada que la diurna lo que evidencia que es una causa del cambio climático (Barros, 2005).

La relación que existe entre clima e hidrología es importante en cuanto al manejo de los recursos hídricos, así los cambios producidos en uno de ellos se ven afectados directa o indirectamente. Los cambios en las variables climáticas producen impactos en los procesos hidrológicos y adicionalmente con la influencia de las actividades humanas (embalses, sobreexplotación de acuíferos) influyen en el manejo del recurso hídrico. A su vez, los cambios en los procesos hidrológicos y añadido a la influencia de las actividades humanas, afectan también a los procesos climáticos.

El cambio en el ciclo hidrológico está por los extremos hidrológicos que pueden magnificarse, lo más probable es que se deba a la vulnerabilidad existente en dicho sistema.

El consumo de agua superficial y subterránea podría incrementarse en el futuro; este consumo causaría la disminución de los recursos hídricos tales como: lagos,



ríos y humedales. Estimaciones aseguran que es necesario un porcentaje de mantener un caudal medio anual entre el 20 y 50% para mantener un balance óptimo. Se espera que la mayor frecuencia de cambio se observe como sequías y crecidas afectando directamente a los ecosistemas. Entre 1960 y 2006 más del 75% de desastres en el mundo son causados por origen climático.

Aproximadamente el 50% de  $\text{CO}_2$  es incorporado en el océano (el océano actúa como sumidero) y la vegetación terrestre. Los movimientos de  $\text{CO}_2$  en el mar se dan por una interfaz entre océano y atmosfera. Debe haber un equilibrio entre la atmosfera y océano, un aumento en la atmosfera hace que exista una fuerza del flujo hacia el océano, también las temperaturas influencia este transporte, aguas más frías absorben más  $\text{CO}_2$  que las cálidas. La circulación termohalina funciona como un transporte de agua y  $\text{CO}_2$  por todo el océano (Duarte, et al., 2006).

El recorrido de la circulación termohalina comienza en las formaciones de aguas profundas (Atlántico norte) que en invierno se enfrían y recorren hacia el sur uniéndose con aguas profundas recién formadas (Antártico), estas aguas llegan al océano Indico y Pacifico donde retornan al norte y a la superficie y al lugar de inicio donde iniciara nuevamente; este periodo de retorno dura unos 1000 años. Este ciclo también transporta el  $\text{CO}_2$  y también teniendo aportes de diferentes océanos por la descomposición biológica (Duarte, et al., 2006).

Para tener una idea de cómo se distribuirá el impacto climático geográficamente es necesario el uso de herramientas numéricas. Dichas herramientas o modelos climáticos son el instrumento fundamental y válido para hacer predicciones futuras. Es necesario el uso de distintos escenarios posibles referidos a los GEI. Los modelos son representaciones que mediante el uso de procesos matemáticos nos permiten simular condiciones físicas de la atmosfera, el mar, el suelo, entre otros. Dependiendo del modelo a escoger y teniendo en cuenta la posibilidad de que se ajuste a las condiciones locales de análisis podremos tener predicciones temporales con el uso de computadoras diseñadas para este fin.

Durante el siglo pasado mediante modelos globales empleados, a la vez con pronósticos de GEI habla sobre un aumento de 2 a 3°C para el año 2060 cuando



se duplican las concentraciones de CO<sub>2</sub>, produciendo mayores aumentos en latitudes altas especialmente en invierno. Para el siglo XXI el aumento podría ser mayor, teniendo en cuenta el aumento futuro de las emisiones de GEI como las condiciones climáticas locales, ya que el calentamiento no es uniforme teniendo así de esta manera un gradiente de temperatura, también afectando a las corrientes de aire, las precipitaciones e incluso las corrientes marinas (Barros, 2005).

### **2.1.1. Que se conoce en el Ecuador**

En cuanto a clima, el Ecuador continental presenta una alta variabilidad climática tanto espacial como temporal (Célleri, 2007; Mora et al., 2011) debido a su topografía accidentada y a la influencia de corrientes marinas y factores oceanográficos. La topografía ecuatoriana está atravesada por la cordillera de los Andes, alcanzando alturas de hasta 6 300 msnm., dividiendo al país en tres regiones: la región litoral, la región andina y la región oriental.

El Ecuador está influenciado por la zona de convergencia intertropical (ZCIT) la cual se encuentra ligeramente hacia el norte. La influencia de los alisios, que son más fuertes en el verano boreal, desplaza la ZCIT más hacia su posición septentrional, pero cuando llega el invierno boreal los alisios tienen menor fuerza ocasionando que la ZCIT se desplace hacia el Ecuador. Estos desplazamientos dan como resultado los periodos de lluvia o sequía mediante la influencia de masas de aire con características variables (temperatura y humedad).

En la región Andina la temperatura está influenciada por la altura que varía de 1500 a unos 3000 m.s.n.m, los valores promedio de la temperatura están entre 8 y 20°C, para valores máximos y mínimos absolutos son de 30-22°C y 5 a -4°C respectivamente. Para los flancos de la cordillera se tienen valores correspondientes a un gradiente de temperatura que son debidos a la altura que existe, los resultados nos dan a conocer que presenta un descenso de temperatura de 6.5°C por cada 1000 metros de altura.

Para las regiones Litoral y Galápagos se tiene una media anual de 24-25°C y los extremos que pocas veces son superados a 38°C y con descensos de 13°C.



La temperatura es muy variable en todo el Ecuador, se puede decir que existen variaciones desde 0 a más de 26°C. Las precipitaciones varían notablemente a lo largo del país ya que podemos tener valores de 100 mm a 6000 mm (Porrut, et al., 1995).

La región Amazónica y el norte de la región Litoral son los lugares con mayor precipitación ya que sus totales anuales sobrepasan los 3000 mm, las lluvias son uniformes con excepción de diciembre a enero.

Para la región Litoral las precipitaciones son irregulares debido a los relieves existentes, los valores mínimos son de 200 mm, los periodos lluvioso son entre diciembre y abril superando los 3000 mm, el resto del año es una estación seca.

La región Andina está marcada por la influencia de las masas de aire que vienen de zona amazónica y oceánica, por esta razón tenemos estaciones lluviosa de febrero a mayo y de octubre a noviembre. En zonas superiores a 3500 m.s.n.m existe un periodo de 800 y 1500 mm pero presenta lluvias largas de poca intensidad.

El cambio climático es un desafío ya que puede afectar negativamente a todo el Ecuador tanto en aspectos económicos, ambientales y sociales. Los impactos más probables que podrían ocurrir son: Intensificación de eventos climáticos extremos (fenómeno del niño), incremento del nivel del mar, deshielo de glaciares, disminución de la escorrentía y por ende las influencias sociales y económicas inmersas en estos cambios: incremento en la zona de transición del dengue y enfermedades netamente tropicales, expansión de especies invasoras en ecosistemas sensibles y extinción de especies, entre otras. Las estimaciones para el 2045 nos dicen que se podría tener pérdidas monetarias por las razones anteriormente señaladas, estas son un impacto directamente relacionado con el cambio climático.

El Ecuador es parte de La Conservación Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC o UNFCCC en inglés) desde el 1994 y se ratificó en





1999 para el protocolo de Kioto, El Ministerio del Ambiente promueve estas iniciativas internacionales.

El desarrollo agroindustrial es un problema muy importante, el mismo que aumenta cada vez más y como consecuencia existe una considerable reducción de ecosistemas tales como: páramos, manglares, montañas, bosques secos entre otros. Estos ecosistemas no están en condiciones de soportar una agricultura intensa y cada vez se sigue degradando gracias a la expansión de la frontera agrícola (Noboa y Jiménez, 2010).

Según Nieto, et al., (2002), datos referentes a 27 años de serie de tiempo oceanográficos y meteorológicos de estaciones que se encuentran distribuidas en la costa ecuatoriana fueron analizados para tener una idea real del cambio climático en el país utilizando una serie de tiempos de temperatura superficial del aire (TSA) y temperatura superficial del mar (TSM) de las estaciones que se encuentran en: Esmeraldas, Manta, Guayaquil, Pto. Bolívar y series de nivel medio del mar (NMM) de la estación de Libertad.

El resultado evidencia que la tendencia promedio para TSM es  $0.0273\text{ }^{\circ}\text{C/año}$  y para TSA  $0.0075\text{ }^{\circ}\text{C/año}$ , con estos resultados y teniendo en cuenta que de mantenerse de esta manera por un periodo de 100 años se esperaría: para NMM -  $0.004\text{cm}$ , TSA  $+0.75\text{ }^{\circ}\text{C}$ , TSM  $+2.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teniendo un promedio de TSM  $0.82\text{ }^{\circ}\text{C}$  y TSA  $0.23\text{ }^{\circ}\text{C}$ , al hacer una comparación de las estaciones a nivel global y según el estudio podemos observar que el aumento es similar de entre  $1 - 3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  que nos dan como resultado del calentamiento global (Nieto, et al., 2002).

## **2.2. Escenarios de cambio climático**

Los escenarios son representaciones climáticas futuras, estos escenarios nos muestran cómo podría cambiar el sistema climático de la tierra en años pronosticados hacia el futuro. Cada escenario tiene su propia metodología para su cálculo, teniendo en cuenta las condiciones climáticas presentes, por esta razón cada escenario tiene diferentes pronósticos teniendo en cuenta los cambios en el clima y las emisiones de GEI, sin olvidar los contaminantes que pudieren influenciar



en el clima futuro. Entre los usos podemos encontrar: Enriquecer el conocimiento climático de la zona de estudio, proyectar las potenciales consecuencias del cambio climático, Prevenir eventos extremos y políticas de control de emisiones (IPCC, 2001).

### **2.3. Modelos climáticos**

Los modelos son simulaciones que usando sistemas de ecuaciones de las leyes y principios de la física, que gobiernan los procesos de cada componente del sistema y los intercambios de energía y masa entre sí; son capaces de reproducir el comportamiento del clima a largo plazo. Estos modelos son imprescindibles a la hora de pronosticar y de tal modo conocer cuál será el cambio o la evolución de un sistema el cual se estudia.

Los componentes principales del sistema climático y consecuencias en el presente siglo son: La atmosfera, los océanos, los glaciares, la biosfera y la superficie terrestre. Estos componentes son representados matemáticamente basándose en leyes físicas como: Conservación de la energía, conservación de la masa y la conservación del momento. Con la simulación de ecuaciones de fluidos y de la termodinámica se consigue asemejarse a la realidad del transporte de la materia y energía; las cuales son importantes ya que se encuentra presente el intercambio de calor y a su vez con los cambios de estado.

Para lograr la simulación del clima es necesaria la ayuda de grandes computadoras que son muy potentes y puedan conseguir dichos propósitos, sin embargo la cantidad de los datos es demasiado extensa aun para los grandes ordenadores; y es por esto que se usan simplificaciones para poder adaptar a los recursos disponibles.

Las simplificaciones consisten en reducir la cantidad de información, se puede dividir a la tierra en celdas relativamente pequeñas y esto depende de los modelos a usar (para modelos globales 250x250 km), también se puede modelar lo más



complejo, como el caso del océano y atmosfera, con modelos simples donde se pueda lograr una simplificación notable en las leyes de fluidos y termodinámica, También se puede implementar dos dimensiones en vez de las tres dimensiones espaciales.

El objetivo de la modelación no es simplemente predecir el futuro ya que los modelos nos proporcionan situaciones posibles que se denominan escenarios, con la ayuda de los escenarios se puede conseguir diagnósticos o pronósticos meteorológicos y de tal manera poder estar preparados para las posibles situaciones, las cuales pudieran causar daños extremos o no del lugar a estudiar, y poder mitigar y estar preparados para las amenazas climáticas (Harvey, et al., 1997).

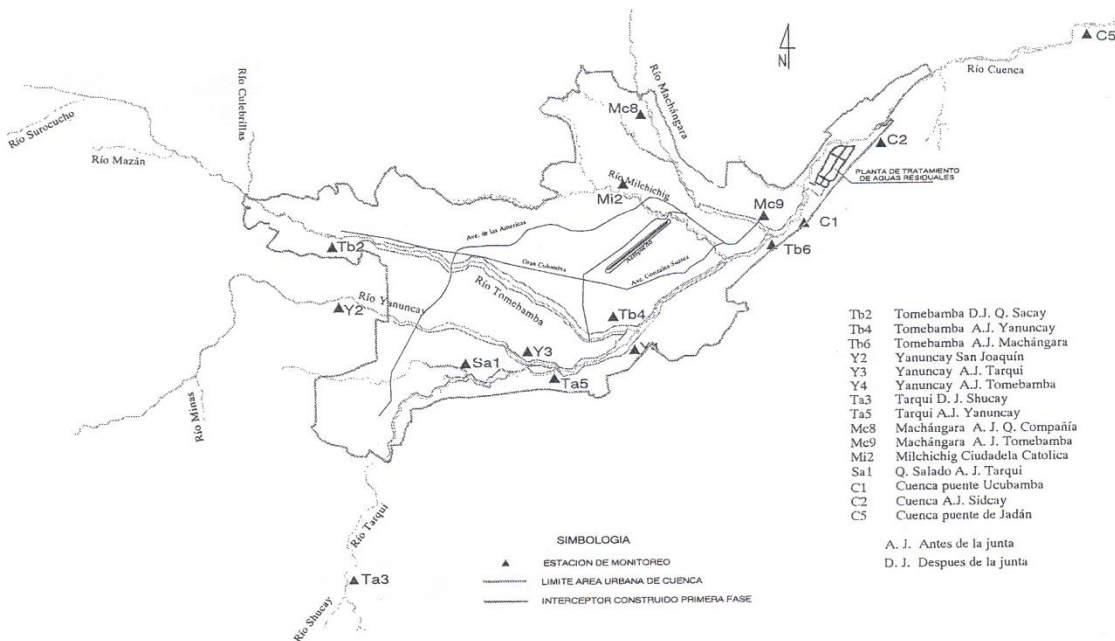
#### **2.4. Modelos de calidad de agua**

El desarrollo de los modelos de calidad de agua parte de la necesidad de estimar la calidad del agua en un efluente de descarga. Esto en función de la carga residual que esta tendría luego que pasar a través de un proceso de tratamiento antes de ir a parar hacia aguas receptoras tales como un río. Disponer con un modelo que permite predecir el comportamiento que la calidad del agua que tendrá luego de un determinado proceso, brindan las pautas de diseño de las plantas de tratamiento, de tal forma que estas se acoplen a las exigencias legales en cuanto a la carga contaminante en descargas de efluentes residuales, como las municipales. De este modo los modelos de calidad de agua desempeñan un papel clave a la hora de construir una planta de tratamiento de agua. De manera general, un modelo de calidad de agua predice la concentración en función de las cargas (Chapra, 2008).

El campo de la modelación de la calidad del agua se ha extendido. En la actualidad no solo se consideran las fuentes puntuales como las industrias, sino que además, se puede estudiar las fuentes no puntuales como la escorrentía agrícola.

### 2.4.1. Calidad del agua en los ríos de la ciudad de Cuenca

A partir del año 1991, la Empresa Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ETAPA EP) implementó el *Programa de Vigilancia de la Calidad de Agua de los ríos de Cuenca*, aunque ya en el periodo de 1984-1989, la empresa realizó estudios de contaminación en estos ríos. Entre los objetivos del programa se encuentra el de desarrollar criterios y parámetros para modelos de calidad de agua y también, el de simular condiciones futuras. ETAPA EP, cuenta hasta el momento con 15 estaciones de monitoreo distribuidas en toda la ciudad de Cuenca, su distribución se puede observar en el Mapa N°1.



**Figura 2.1:** Red de estaciones de monitoreo del Programa de vigilancia de la calidad de agua de los ríos de Cuenca

Fuente: ETAPA EP, 2014

Los monitoreos tienen una frecuencia mensual o trimestral. La empresa acoge los 9 parámetros establecidos por la Fundación Sanitaria Nacional (NFC, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos, los cuales son: oxígeno disuelto, temperatura, pH, DBO5, turbiedad, coliformes, nitratos, fósforo total, sólidos totales y



conductividad; y teniendo como referencia los siguientes rangos de clasificación de la calidad del agua, según los índices de calidad WQI establecidos por la NFC:

**Tabla 2.1:** *Categorías de índice de calidad de agua de la NFC*

INDICE DE CALIDAD	CLASIFICACIÓN
91- 100	Excelente
71 – 90	Buena
51 – 70	Media
26 – 50	Mala
0 – 2	Muy mala

Según los estudios del periodo 1984-1989, la calidad de agua de los ríos de Cuenca estaba afectada principalmente en los parámetros de coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), esto indica que la contaminación mayormente era de origen doméstico. Los monitoreos realizados luego del primer periodo, demuestran que la calidad de agua en los ríos mejoró tras la construcción de las obras enmarcadas en el Plan Maestro 1 (ampliación de cobertura de alcantarillado, reposición de colectores antiguos, interceptores que recolectan las aguas residuales generadas en la ciudad, emisario final y planta de tratamiento de aguas residuales), que intercepta las aguas residuales generadas por la ciudad y las traslada a la planta de tratamiento Ucubamba (entró en funcionamiento en 1999).

Monitoreos más recientes (periodo 2005 -2009) de la calidad de agua de los ríos de Cuenca, realizados por ETAPA EP, demostraron que la calidad del agua disminuye en las zonas urbanas. Usando los índices WQI/NSF<sup>4</sup> evaluaron la calidad del agua en los ríos Tomebamba, Yanuncay, Tarqui y Machángara en tramos aguas arriba de la ciudad de Cuenca y en tramos que corren atravesándola. Los resultados obtenidos revelaron que los índices de calidad desciende desde una clasificación excelente-buena, para tramos altos, a una buena-media en tramos

<sup>4</sup>Water Quality Index, Índice desarrollado por “The National Sanitation Foundation, NSF” en 1970. Evalúa la calidad del agua basado en parámetros fisicoquímicos.



bajos. Los índices biológicos BMWP<sup>5</sup> califican como aguas contaminadas a los tramos que atraviesan la urbe de Cuenca. (González, 2011)

Desde el año 2000 el Programa para el Manejo del Agua y el Suelo (PROMAS), cuenta con una red de monitoreo hidrometeorológico conformada por aproximadamente 100 estaciones distribuidas en las provincias de Azuay, Cañar y Chimborazo. Con ella, se monitorean permanentemente la cuenca alta de los ríos Machángara, Tomebamba y Tárqui, esto, con propósitos investigativos como la modelación de la calidad de agua en zonas intervenidas, cambio climático, modelización hidrológica, manejo integral y planificación de los recursos hídricos.

#### 2.4.2. Principios de modelación de calidad de agua

Un modelo matemático puede definirse como una formulación idealizada que representa la respuesta de un sistema físico a diferentes estímulos, una representación de los aspectos esenciales de un sistema existente, un lenguaje matemático que intenta describir el comportamiento de un determinado sistema. (Chapra, 2008; Manivanan, 2008). Un modelo de calidad de agua podría entonces definirse como un modelo matemático que simula el comportamiento de parámetros físicos, químicos o biológicos que determinan la calidad de un sistema de tipo acuático (efluente o cuerpo receptor).

Para poder entender de manera muy general los principios de modelación Chapra (2008), establece que un modelo de calidad de agua necesita calcular la respuesta de un sistema en función del efluente descargado. Representó esta relación en una sencilla ecuación:

$$c = f(W; \text{físicos, químicos, biológicos}) \quad \text{Ec. 2.1}$$

---

<sup>5</sup> Biological monitoring Working Party, establecido en Inglaterra el año 1970. Evalúa la calidad del agua usando macroinvertebrados como bioindicadores.



Donde  $c$  representa la concentración de la masa, definida en modelación como la relación entre la masa y volumen ( $m/V$ );  $W$  representa la tasa de carga de masa, dada por la masa  $m$  de contaminación en un periodo de tiempo  $t$ , es decir  $W=m/t$ .

La ecuación 2.1 quiere decir que la relación causa-efecto entre la carga y la concentración depende de las características físicas, químicas y biológicas del agua receptora; matemáticamente 2.1 puede representarse como:

$$c = (1/a)*W \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$W = a*c \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$a = W/c \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde  $a$  es un factor de asimilación y representa la física, química y biología del cuerpo receptor en unidades de volumen sobre tiempo.

La ecuación 2.2 simula la respuesta de un sistema (concentración) en función de un estímulo (carga) y las características de dicho sistema (factor de asimilación). Ec. 2.3 hace referencia a la capacidad asimilativa, permite estimar la carga requerida para conocer el nivel de concentración deseable. Por último, Ec. 2.4 representa la carga que el ambiente recibiría para poder lograr la concentración deseada. La efectividad de los modelos dados depende de la caracterización exacta del factor de asimilación.

Para estimar el factor de asimilación es necesario recurrir a ley de la conservación de masa, en modelación el principio es expresado como una ecuación del balance de masa que da cuenta de la transferencia de materia a través de los límites del sistema y de las transformaciones que ocurren dentro del sistema. Puede expresarse como:

$$\text{Acumulación} = \text{cargas} \pm \text{transporte} \pm \text{reacciones} \quad \text{Ec. 2.5}$$



Los modelos de calidad de agua integran una gran cantidad de ecuaciones referidas a cada parámetro a ser modelado, tales como el pH, anoxia, oxígeno disuelto, carbono orgánico, la demanda bioquímica y biológica de oxígeno. Con el avance investigativo sobre la modelación de la calidad del agua, tales ecuaciones han sido ya desarrolladas. Empleando métodos numéricos, las ecuaciones permiten integrar las herramientas computacionales a la simulación, esto agiliza el análisis, y en dependencia del modelo usado, se podrían evaluar varios parámetros al mismo tiempo.

Palmer (2001), menciona 4 características claves a tener en cuenta dentro de la estructura y los procesos de modelación: las espaciales, temporales, las fuentes no puntuales y los requerimientos del monitoreo de la calidad del agua.

La primera hace referencia a que un modelo puede abarcar 3 dimensiones: una dimensión para análisis de un río corriente arriba o abajo; dos para uno con variación lateral y vertical (ríos anchos y lagos someros); tres para ríos extensos y lagos profundos. Además de esto un modelo puede ser de estado estacionario o dinámico. Sin duda incluir al tiempo en las ecuaciones incrementa la complejidad del mismo y la necesidad de disponer de datos específicos del lugar de estudio para la calibración. El periodo de tiempo establecido debe necesariamente estar acorde a los objetivos de la modelación de la calidad del agua.

Es de suma importancia tener en cuenta las fuentes no puntuales. Al ser descargas de área, determinar la magnitud de su carga se dificulta. Se hace por ello necesario utilizar balances de masa, calculados para el agua receptora haciendo uso de mediciones de la calidad de agua en puntos de descarga. Los resultados del balance pueden diferir significativamente, sin embargo esto puede asumirse por ser cargas de fuentes no puntuales. Hay que mencionar que incluir a estas fuentes como un factor hace que disminuya la precisión de predicción de un modelo, esto se debe a las incertidumbres ligadas a la cuantificación de las cargas no puntuales.



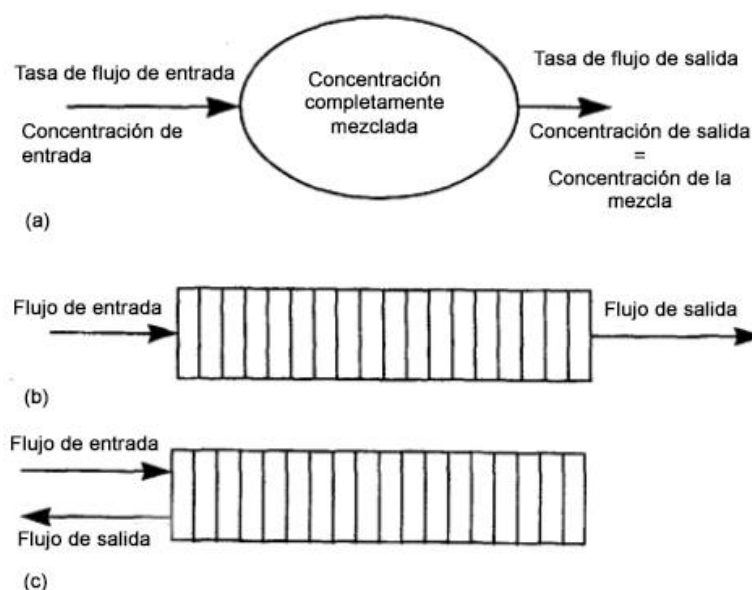


Por último las acciones de monitoreo son requeridas para obtener datos específicos del sitio de estudio. Estos datos son requeridos para la correcta calibración y validación del modelo. A mayor disposición de datos específicos del sitio, mayor será la precisión alcanzada en la calibración y validación del modelo.

### **2.4.3. Modelos simplificados de calidad de agua**

Son considerados como representaciones conceptuales (describen el comportamiento de un sistema) del mundo real. Comúnmente se los denomina modelos de “caja negra” o modelos de entra-salida, esto se debe a que tratan al sistema físico como una “caja negra”, y establecen relaciones entre las entradas y salidas del sistema. Por lo general, estas relaciones son de tipo estadístico o empírico, y representan los procesos físicos reales en un sistema de una manera altamente conceptual. La aplicación exitosa de estos modelos depende en gran parte de los datos disponibles o de la experiencia en su manejo (Grayman, 1999).

Grayman (1999) menciona que existen tres modelos de sistemas elementales: el modelo de flujo mixto, el modelo de flujo pistón y el modelo de corto circuito. El primero hace referencia a que en un tanque o embalse existe siempre una mezcla completa e instantánea, lo que causa que la concentración del flujo de salida sea igual a la concentración de la mezcla en el interior del sistema. El segundo, asume que la “primera agua” en entrar al embalse es la primera en salir de él. El último modelo, considera que existe una conexión directa entre la entrada y salida, es decir que el flujo que ingresa en última instancia es el primero en salir del sistema. Estos modelos pueden ser combinados para desarrollar un modelo comprensivo que simule un embalse como una serie de compartimientos conceptuales (Clement, et al., 2005).



**Figura 2.2:** Tipos de modelos simplificados de calidad de agua. (a) Representación esquemática del modelo de flujo mixto. (b) Representación del modelo de flujo pistón (lo primero en entrar es lo primero en salir). (c) Modelo de corto circuito.

Fuente: Grayman, 1999 (Modificación)

Los modelos simplificados son atractivos por su adaptabilidad y velocidad. Pueden probar varios parámetros en pocas horas, de tal modo que se determinan rápidamente los mejores valores de ajuste para el modelo. Quizá una de sus limitaciones más importantes, sea la parametrización del modelo, esto debido a que los parámetros del modelo no son medidos directamente en el campo, sino que son derivados de realizar análisis que tengan un mejor ajuste en un conjunto de medidas de concentraciones de entrada y salida. Es por esto que estos modelos no son efectivos al aplicarlos al estudio de reservorios antes de construirlos, son usados más bien para verificar situaciones parecidas.



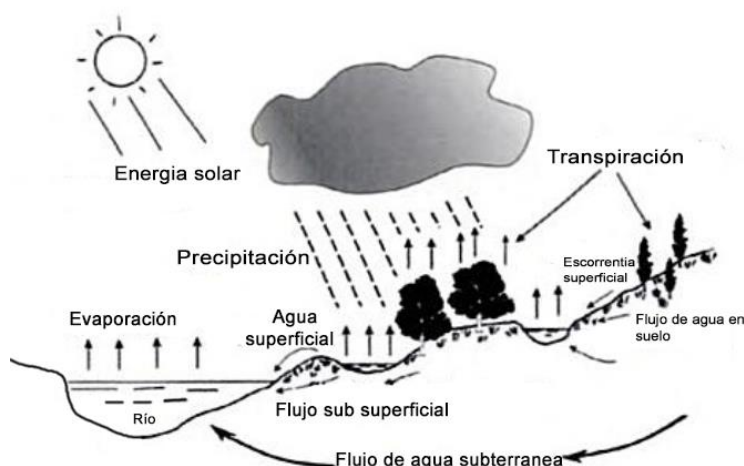
#### 2.4.4. Relación entre los parámetros hidrológicos (caudal-lluvia) vs parámetros de calidad de agua

En el desarrollo de la civilización los cuerpos de agua naturales como los ríos, lagos, estuarios, entre otros, han sido el destino de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas. En consecuencia, la calidad del agua receptora se altera provocando el desequilibrio del sistema acuático, tanto a nivel biótico como abiótico. El impacto que causen las aguas residuales, estará dado por la concentración de sustancias o elementos contaminantes en la carga contaminante del efluente. Sumado a esto, los parámetros hidrológicos, como la escorrentía, desempeñan un papel fundamental; así por ejemplo, el caudal que presente un río puede diluir, en menor o mayor magnitud, la carga contaminante de un efluente residual y, por ende, la concentración de un determinado contaminante en el cuerpo de agua.

La calidad del agua está influenciada también por procesos naturales. La composición del agua superficial depende de factores naturales, como los geológicos, topográficos e hidrológicos, que influyen la cuenca de drenaje. Varía además, con los volúmenes de escorrentía estacional, que influyen el nivel de agua (caudal) y las condiciones climáticas (Bartram y Ballance, 1996). Es por estos factores, humanos y naturales, que es complicado valorar el futuro de la calidad del agua. El cambio climático afectará cada factor y, de forma directa, la calidad del agua (Dam, 2003).

Para comprender de mejor manera la relación que existiría entre la precipitación y el caudal de un cauce con su calidad de agua, es necesario establecer el comportamiento del caudal de un flujo al ser influenciado por eventos de precipitación. Novotny (2003) en su libro *Calidad del agua: Contaminación Difusa y Manejo de Cuencas Hidrográficas*, menciona que la escorrentía generada por la precipitación tiene tres componentes:

1. Escorrentía superficial: referida a la parte residual de la precipitación. Antes de llegar a un cauce, el agua proveniente de la precipitación presenta pérdidas. Estas pérdidas se producen por procesos como la evaporación, infiltración, encharcamiento, evapotranspiración, entre otras. Luego de que se han satisfecho todas las pérdidas, la cantidad de precipitación que llega a un cauce se conoce como escorrentía superficial.
2. Interflujo: definida como el agua infiltrada en el suelo que se mueve en sentido horizontal en zonas de baja permeabilidad, y que llega finalmente al cauce.
3. Flujo base: conocido también como escorrentía o flujo de agua subterránea, se refiere a la contribución de escorrentía originada por pozos o manantiales. En tiempos de sequía prolongada, puede ser el único aporte al cauce de un cuerpo de agua.



**Figura 2.3:** Representación esquemática de la escorrentía en una cuenca hidrográfica.

Fuente: Novotny, 2003 (Modificación)

Basados en estas consideraciones, lluvias de alta intensidad podrían acarrear, hacia un cuerpo de agua, contaminantes presentes en la superficie del suelo (Novotny, 2003), como residuos orgánicos, pesticidas y otros. En zonas de alta



humedad, la escorrentía superficial podría desbordar pozos de contención de residuos provenientes de actividades como la minería, o simplemente pozos sépticos o letrinas en áreas rurales; eventualmente todos estos desechos terminarían en los cuerpos de agua más cercanos. Dependiendo del tiempo de residencia que tengan estos desechos, que sería mucho mayor en lagos que en ríos de montaña, la calidad del agua se vería afectada en mayor o menor grado. La escorrentía superficial lleva consigo el arrastre de sedimentos, que incrementan la turbidez en el agua, al incrementarse la cantidad de sólidos suspendidos. Murdoch, et al., (2000) señalan que en eventos de alta escorrentía, causados por un mayor patrón de precipitación, se movilizaría la materia orgánica almacenada en corredores de ríos, incrementando las concentraciones de carbono orgánico disuelto, lo que altera la calidad del agua. En contra parte, la disminución del caudal en un río, por efecto de regímenes menores de precipitación en temporadas secas, significa que existe menos volumen de dilución. En consecuencia, se presentan concentraciones más elevadas de contaminantes, incrementando la demanda bioquímica de oxígeno.

El flujo Interflujo favorece el movimiento de sustancias químicas que se infiltran en el suelo, tales como pesticidas y fertilizantes. Sustancias que tienen la capacidad de alterar la composición normal del agua en un río o lago. Residuos agrícolas, pueden literalmente aumentar la concentración de fósforo y potasio. Sustancias trazas pueden cambiar el nivel de pH, dureza, color y temperatura de un cuerpo de agua. La contaminación del flujo base e Interflujo está ligada fuertemente a la contaminación del suelo (Novotny, 2003).

## **2.5. Minería de Datos**

La minería de datos pretende procesar, clasificar/organizar y presentar información, de una manera más clara según las necesidades del usuario. Según la descripción de Vallegos (2006) la minería de datos reúne ventajas de diferentes áreas como la estadística, la inteligencia artificial y la computación gráfica. La materia prima es la base de datos.



La minería de datos logra producir cinco tipos de información dependiendo de las necesidades del usuario: relaciones, secuencias, clasificaciones, agrupaciones, pronósticos y también existe la posibilidad de trabajar con estas conjuntamente.

Los pasos a seguir son: La filtración de datos, selección de variables a usar, extracción de la información que se desea y por último la interpretación de esta información obtenida. Estos pasos no varían según el método o propósito que se tenga en cuenta.

Vallegos (2006) describe a cada paso de la siguiente manera.

- **Filtro de datos:** La mayoría de veces no se puede usar algoritmos en cuanto a la minería de datos con respecto a los datos en bruto, incluso tampoco es recomendable trabajar de esta manera. Este paso es importante ya que se eliminan datos que son erróneos, los que no son válidos e incluso datos desconocidos. Todo esto va a depender de las necesidades del minero y el algoritmo a usar.
- **Selección de variables:** Después del paso anterior es probable que aún se tenga una gran cantidad de datos. Con la selección de variables se puede reducir aún más estos datos y sin perder la calidad del resultado. Así que se debe tener muy en cuenta dos situaciones, la primera es la elección de las mejores variables según el problema, la segunda es buscar variables independientes.
- **Algoritmos de extracción de la información:** Mediante la minería se obtiene lo buscado y usando las características o combinación de las anteriormente dichas.
- **Interpretación:** una vez que se obtenga el modelo se debe validar al mismo, de tal manera que los resultados deben ser satisfactorios. Si se usan varias características se obtendrán varios modelos los cuales debemos validarlos, esto se logra buscando el que más se ajuste al problema.

Una técnica muy importante y necesaria para lograr un mejor entendimiento de las relaciones que se obtienen es el árbol de decisiones. El árbol de decisiones se representa mediante una estructura jerárquica, este funciona como un conjunto de



decisiones donde, desde la raíz hacia las hojas, nos representan posibles decisiones a tomar.

### **2.5.1. Software WEKA**

Weka (Waikato Environment for knowledge Analysis) es un software especializado, el cual nos brinda ayuda para la toma de decisiones y para la interpretación de resultados matemáticamente y estadísticamente. La minería se usa mediante diferentes tipos de reglas y clasificación de datos, entre estos podemos considerar: el pre-procesamiento, clasificación, regresión, agrupación, reglas de asociación y visualización de datos. Es un software de código abierto con licencia GNU<sup>6</sup> (The University of Waikato, 2014).

Este software, mediante su cómoda interfaz gráfica, está contenido por una serie de algoritmos para el análisis de datos, el mismo que nos permite llegar a obtener una modelación predictiva de los datos. Es necesario el uso de este software para poder encontrar las relaciones de los parámetros hidrometeorológicos con respecto a los fisicoquímicos, así estas relaciones son representadas con ecuaciones las mismas que serán usadas posteriormente para un análisis más exhaustivo, dicho análisis es la esencia o punto clave de este trabajo.

### **2.6. Modelos de lluvia escorrentía**

Un modelo de lluvia escorrentía es una representación del ciclo hidrológico de una cuenca, el objetivo principal de estos modelos es tratar de estudiar la hidrología de un lugar determinado y poder predecir sus cambios y salidas que presenten. Los modelos son simplificaciones de los fenómenos que ocurren en el ciclo hidrológico como son: precipitación, transpiración, evapotranspiración, escorrentía entre otros. La utilización de ecuaciones es importante ya que se hace relación de las entradas y salidas obteniendo un balance en el sistema (Rodríguez, 2004).

---

<sup>6</sup> Licencia publica general, GNU por sus siglas en ingles.



Durante las última décadas estos modelos se han basados únicamente en leyes físicas y cuantiosamente complejos y en ocasiones no se obtenía lo esperado, esto debido a la complejidad que representa los procesos naturales y la relación entre los procesos modelados. Se debe tener en cuenta que la cantidad de datos es considerable y que no siempre está disponible, debido a esto el avance científico nos ha proporcionado modelos simplificados capaces de lograr grandes resultados con un menor número de parámetros, Estos modelos facilitan la identificación de parámetros, un factor muy importante es la necesidad de información de serie de tiempos y que estos datos sean interpretados en términos físicos (Rojasa, et al.,2011).

### **2.6.1. Modelo conceptual agregado VHM**

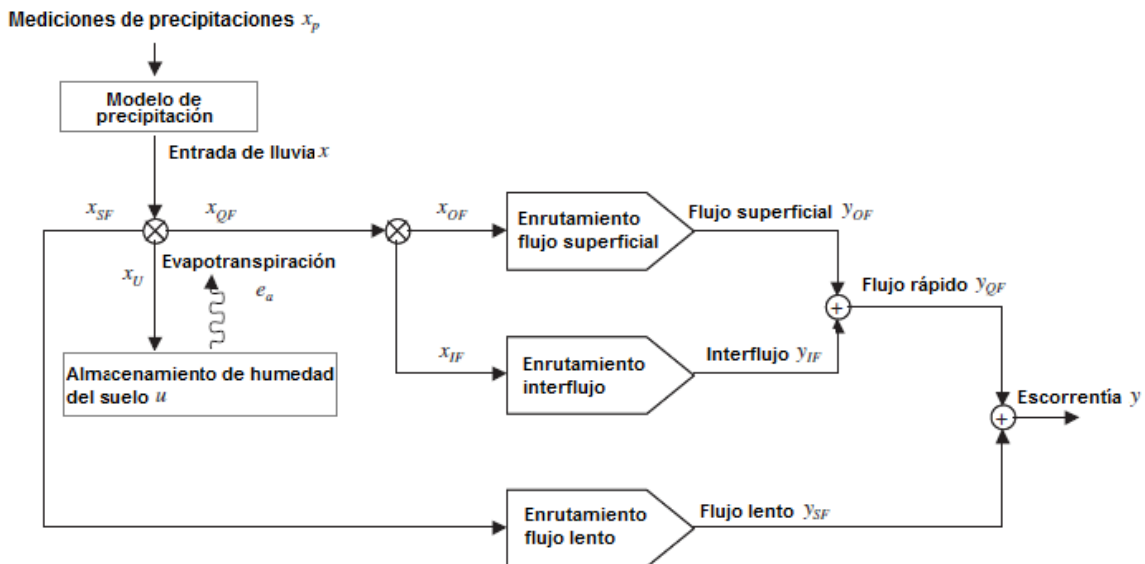
El VHM es un modelo hidrológico conceptual agregado de lluvia-escorrentía basado en un proceso multipaso de calibración y validación. Es capaz de acoplar a su estructura varios submodelos, los cuales, constituyen ecuaciones matemáticas que representan el comportamiento de los procesos identificados en la estructura del modelo (Willems, 2014).

El modelo VHM ha sido desarrollado para simular procesos de lluvia-escorrentía de cuencas hidrográficas. El modelo hace referencia a los procesos del suelo y diferentes parámetros que deben ser delimitados para el estudio. La simulación pretende modelar el comportamiento del agua que se encuentra en la superficie, en la zona no saturada y posteriormente dirigida a la zona subterránea. Los componentes son muy similares entre sí, siendo estos: flujo superficial, interflujo y flujo lento, los mismos que son los subflujos de escorrentía. Siendo esta la manera que normalmente se debe seguir o tener en cuenta, pero se puede considerar otras formas de interpretación para el análisis como los subflujos de percolación e infiltración.

Un problema que se debe tener muy en cuenta es la sobreparametrización (esto ocurre cuando se tiene una gran cantidad de datos) es que no siempre es necesaria una gran cantidad de datos, ya que estos podrían conducir a conflictos entre las



relaciones que queremos encontrar. Lo primordial es tener bien definidos los parámetros a ser ingresados en el modelo y simplificar los datos para una mayor optimización al momento de la calibración del modelo.



**Figura 2.4:** Esquema del funcionamiento del VHM.

Fuente: Willems, 2014 (Modificación)

La figura 2.4 representa un esquema de cómo funciona el modelo VHM, donde  $x$  hace referencia a la serie de precipitación de entrada y esta se dividirá en las diferentes fracciones. Esta entrada se divide en diferentes fracciones y estas contribuyen a los diferentes subflujos representados.  $x_{QF}$  fracción de lluvia que contribuye al flujo rápido la misma que se puede fragmentar en  $x_{OF}$  que es el flujo superficial y  $x_{IF}$  que es el interflujo.  $x_{SF}$  es la parte que aporta al flujo lento, y  $x_U$  es la precipitación que se almacena como humedad en el suelo.  $x_{TF}$  es la sumatoria de la precipitación en cuanto a la suma del flujo rápido y lento.

Después de calcular los promedios de los diferentes subflujos se obtiene una continuidad del agua de lluvia. Dependiendo del área de estudio, se podrá tomar todas o algunas de las fracciones descritas, así también dependerá de los subflujos identificados.



### 2.6.2. Modelación de lluvia escorrentía en la región

En el año 2010, Vázquez llevo a cabo el estudio llamado “*Modelación Hidrológica de una microcuenca Alto andina ubicada en el Austro Ecuatoriano*”. La zona de estudio comprendió la microcuenca Zhuruca y alto, ubicada al suroeste de la ciudad de Cuenca, esta posee un área aproximada de 1,34 Km<sup>2</sup>. Los resultados del estudio fueron aceptables, por ello la posibilidad de emplear el NAM para la modelación de otras cuencas andinas es de interés. A demás, la investigación reveló la presencia de “equifinalidad”, debido a que no se pudo identificar un juego de parámetros óptimos para el modelo numérico de la microcuenca. Esto se contrapone a la suposición de que es siempre factible identificar un solo conjunto de parámetros óptimos para un modelo conceptual agregado del mismo tipo que el empleado en el estudio. Se encontró también, que los límites de predicción muestran en general que las predicciones del modelo numérico pueden ser aceptables dependiendo del conjunto de parámetros empleados, observándose de manera general una simulación en exceso del flujo base.

Quichimbo, et al., (2013) efectuaron una investigación sobre la aplicabilidad de los modelos NAM y DBM (Modelo Mecanicista Basado en Datos) para estimar caudales en subcuencas alto andinas de Ecuador. Las subcuencas estudiadas fueron la microcuenca de Tomebamba en Matadero (aproximadamente 1275,4 Km<sup>2</sup> de área) y la microcuenca de Zhuruca y alto (aproximadamente 1,34 km<sup>2</sup>), las cuales se localizan en los Andes australes del Ecuador y pertenecen a la parte alta de la cuenca de los ríos Paute y Jubones respectivamente. Los investigadores sometieron a los modelos DBM y NAM a un proceso de evaluación de su capacidad para predecir. Como resultado las predicciones estimadas por el modelo DBM presentaron resultados favorables, con lo que se llegó a la conclusión de que el modelo es capaz de adaptarse a los datos de las cuencas de estudio permitiendo además una interpretación física. Por otra parte, la estructura del modelo NAM se vio afectada por una sobreestimación de los datos de la evapotranspiración potencial, por lo cual produce predicciones desfavorables en comparación al



modelo DBM. El estudio confirmó la validez de los métodos gráficos, como una herramienta para la evaluación de las predicciones de los modelos analizados.

En el año 2010, Céleri, et al., efectuaron la evaluación del modelo hidrológico conceptual VHM con el enfoque de Willems (2000) para la simulación de escorrentía en las subcuencas de Matadero y Tomebamba ubicadas en la cuenca del Paute al sur de los Andes Ecuatorianos. La investigación señala que el VHM con el mencionado permite, obtener un modelo operacional robusto para el estudio de la región.

En un estudio más reciente publicado en febrero de 2014, Mora, et al., investigaron los efectos que el cambio climático tiene sobre las variables hidrometeorológicas de la cuenca del río Paute, al sur de los Andes Ecuatorianos. El estudio consideró las subcuencas de Tomebamba en Monay y Matadero en Sayausí y series de datos observados de lluvia y temperatura en los periodos de 1962- 1964, y 1992-1993. Se realizaron proyecciones para el periodo de 2045-2065, considerando los escenarios de cambio climático de la IPCC A1B, A2 Y B1. Para reducir la escala climática global a una de tipo regional (downscaling) utilizaron un enfoque de perturbación, usado comúnmente para transferir la señal de un sistema climático o uno hidrológico. Además, aplicaron el modelo VHM previamente calibrado y validado para las cuencas de Tomebamba en Monay y Matadero en Sayausí (Céleri, et al., 2010) para la determinación de la escorrentía. Como resultados, se encontró que el cambio de temperatura en la región puede ser de 2,0 ° C. Los periodos fríos presentan cambios mayores que los calientes. La intensidad de la precipitación se incrementa, lo cual produce cambios en las condiciones de escorrentía (extremos), presentando incrementos altos en condiciones de alta escorrentía y fuertes descensos en flujos de baja escorrentía. El aumento de temperatura produciría un incremento de la evapotranspiración y por ende una disminución en el número de días húmedos.



---

## CAPITULO 3

### 3. MATERIALES Y METODOS

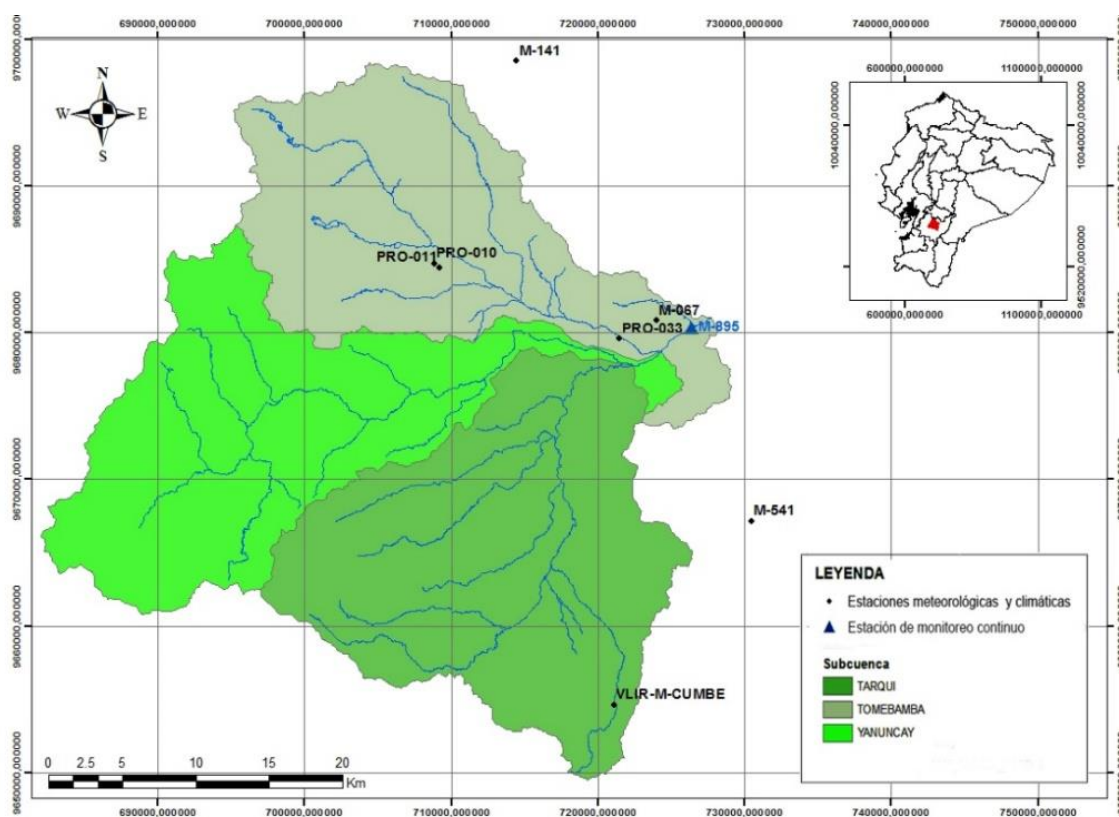
#### 3.1. Área de estudio

La cuenca objeto de la investigación es conocida como Tomebamba en Monay, esta se encuentra localizada en la cordillera de los Andes al sur de Ecuador, en la provincia del Azuay, perteneciente a la cuenca del río Paute. Tomebamba tiene una extensión de 1275, 4 Km<sup>2</sup>; se trata de una zona accidentada con una elevación que va desde los 2440 hasta los 4420 msnm.

La cuenca del Tomebamba es de gran importancia ya que en esta nacen microcuencas, y en las cuales se genera la captación de agua para tratamiento y abastecimiento de agua potable para la ciudad de Cuenca.

El área de estudio integra las subcuencas de Tarqui, Yanuncay y Tomebamba ya que todo el flujo hídrico registrado en la estación de monitoreo continuo en Monay es aporte de estas tres subcuencas.

La superficie hidrográfica de la cuenca del río Tomebamba está comprendida desde el sector de Monay y dentro de esta la subcuenca del río Matadero, así mismo la microcuenca del río Llaviuco. La cuenca del río Paute forma parte de la cuenca Santiago-Namangoza y esta se integra a la cuenca del río Amazonas.



**Figura 3.1:** Cuenca de Tomebamba en Monay

### 3.2. Monitoreo y recopilación de datos

Desde septiembre de 2010 hasta mayo de 2011, se realizaron, por parte del PROMAS, 25 campañas de monitoreo en el marco de la Determinación de la Contaminación Difusa en la Cuenca del río Tomebamba en Monay. Tales campañas produjeron una base de datos referida a los análisis de laboratorio de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua y otra sobre datos de campo (pH, oxígeno disuelto y temperatura del agua) y caudal.

A fin de aportar a la base de datos antes mencionada se llevaron a cabo 2 campañas de monitoreo cada una en el mes de julio y septiembre del año 2014; con estas se logró aportar al conocimiento previo, en cuanto a los eventos de sequías, que se tenían en la base de datos existente.

La presente investigación contempla la recopilación de datos de precipitación diaria correspondientes a 4 estaciones meteorológicas (Tabla 3.1.), además de esto se



obtuvo información de la temperatura media diaria de la estación de monitoreo climático del Aeropuerto Mariscar Lamar de Cuenca. También se compilaron los niveles de agua registrados en las estación de monitoreo continuo de Tomebamba en Monay que cuenta con sensores, sumado a esto, se han establecido para la misma, curvas de descarga que permiten establecer el caudal en ella (Tabla 3.2.). Todos estos datos referidos a los 27 días en los que se efectuaron las campañas de monitoreo.

Datos de evapotranspiración de referencia mensual para la cuenca de estudio fueron proporcionados por PROMAS U-CUENCA.

**Tabla 3.1:** Estaciones meteorológicas y climáticas dentro del área de estudio

Estación	Tipo	UTM x	UTM y	Cota	Código
Marianza Alto	MT-CL	709221	9684392	3622	PRO-011-PG
Marianza Bajo	MT	708862	9684686	3439	PRO-010-PG
PROMAS	MT	721470	9679550	2610	PRO-033-PG
CUMBE	MT-CL	721098	9654607	2874	VLIR-M-CUMBE
Aeropuerto	MT-CL	723699	9680346	2530	M-067

Proyección UTM WGS 84.

Leyenda: MT, estación meteorológica. CL, estación climática.

Haciendo una mención especial, los datos de la estación de Cumbe fueron proporcionados por Iñiguez, et al (2010-2015). Corresponden a precipitación y temperatura media diaria.

**Tabla 3.2:** Estación de monitoreo continuo Tomebamba en Monay

Estación	UTM X	UTM Y	Código	Ecuación
Tomebamba en Monay	726401,76	9680351,67	M-895	$Q = 49.08 H^{2.166}$ Ec. 3.1

Proyección UTM WGS 84

Leyenda: Q, caudal del efluente para una H determinada. H, nivel de agua registrado por el sensor.



Los análisis de laboratorio de las muestras procedentes de las estaciones de monitoreo continuo, detalladas anteriormente, fueron efectuados en el Laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Cuenca. Los parámetros analizados, de nuestro interés (7 en total), se muestran en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3:** Parámetros físico químicos de interés para la investigación.

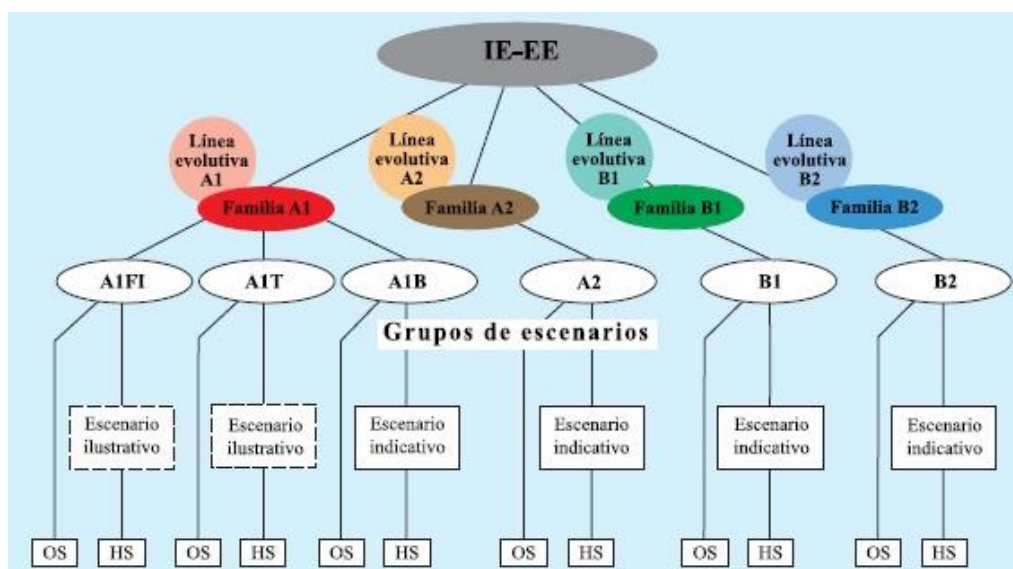
PARAMETRO	Unidades
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l
NITRITOS	ug/l
NITRATOS	mg/l
OXIGENO DISUELTO	mg/l
DEMANDA BIOQUIMICA	mg/l
DEMANDA QUIMICA	mg/l
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 ML

Los parámetros fisicoquímicos (tabla 3.3) se establecieron en acuerdo conjunto con el grupo de trabajo, teniendo en cuenta las capacidades del laboratorio en el cual se efectuaron los análisis.

### 3.3. Series de datos futuras

El informe especial sobre escenarios de emisiones (IE-EE) presenta cuatro líneas evolutivas que a su vez proporciona cuatro familias y de estas familias derivan seis equipos de modelizadores (IPCC, 2000).

El presente trabajo de investigación centra su atención en el escenario A1B que deriva de la línea evolutiva A1 y la familia A1 y finalmente el equipo A1B, el mismo que es caracterizado por asumir un equilibrio entre la utilización de combustibles fósiles y de combustibles de origen no fósil, estos se encuentran marcados con letras HS (armonizados) u OS (exploran fuerzas más allá de los armonizados). Las fuerzas exploradas o estudiadas hacen referencia al producto interno bruto y la energía final sobre la población mundial. La representación gráfica la podemos apreciar en la figura 3.2.



**Figura 3.2:** Ilustración esquemática de los escenarios de emisiones

Fuente: IPCC, 2000

Según el IPCC (2001), la característica del escenario A1B proyecta un crecimiento económico y poblacional rápido en un mundo globalizado de fuerte interacción y convergencia entre países, que implementa nuevas tecnologías más eficientes y un uso balanceado de los recursos.

El periodo de 2045 a 2065 fue tomado en cuenta con el fin de obtener predicciones más cercanas y considerando que el cambio climático es un aspecto de análisis urgente, así podríamos tomar medidas y acciones las mismas que nos ayudarían a contrarrestar o disminuir el impacto hacia la zona de estudio en el periodo establecido. Así también dicho periodo fue determinado en la investigación realizada por Mora, et al., (2014).

Estas series corresponden a valores de precipitación y caudal diarios así como de temperatura y evapotranspiración media mensual (se distribuyeron en una escala diaria), obtenidos por Mora, et al., (2014) que constituyen proyecciones para los años 2045-2065 en la cuenca de Tomebamba en Monay. Para su estudio ellos consideraron los modelos GCM-RCM disponibles para el control y simulación que cubren el Ecuador, estos se detallan en la figura 3.2.





Model run	Center	Country
1. cccr_bcm2_0	Bjerknes Centre for Climate Research	Norway
2. cccma_cgcm3_1	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	Canada
3. cccma_cgcm3_1_t63		
4. crm_cm3		
5. csiro_mk3_0	Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization	Australia
6. csiro_mk3_5		
7. gfdl_cm2_0	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	USA
8. gfdl_cm2_1		
9. giss_aom	Goddard Institute for Space Studies	USA
10. giss_model_e_r		
11. iap_fggoals1_0_g	Institute of Atmospheric Physics	China
12. ingv_echam4	National Institute of Geophysics and Volcanology	Italy
13. inmcm3_0	Institute for Numerical Mathematics	Russia
14. ipsl_cm4	Institute Pierre Simon Laplace	France
15. miroc3_2_hires	Meteorological Research Institute, Japan	Japan
16. miroc3_2_medres		
17. miub_echo_g	Meteorological Institute, University of Bonn	Germany
18. mpi_echam5	Max-Planck Institute for Meteorology	Germany
19. mri_cgcm2_3_2a	National Institute for Environmental Studies	Japan
20. ncar_ccsm3_0	National Centre for Atmospheric Research	USA
21. ncar_pcm1		
22. Precis Hadley	Hadley Center	UK
23. Precis Echam	Hadley Center/Max-Planck Institute for Meteorology	UK/Germany

**Figura 3.3:** GCM/RCM corridos para la región del Ecuador.

Fuente: Mora, et al., 2014

En su investigación (Mora, et al., 2014), las simulaciones de emisiones futuras de gases de efecto invernadero están basadas en el informe especial sobre los escenarios de emisión (SRES) de la IPCC para los escenarios A1B, A2 y B1 (Nakicenovic et al., 2000; Salomon, et al., 2007). Se contempla las proyecciones obtenidas únicamente referentes al escenario A1B.

Usando un enfoque de perturbación obtuvieron la temperatura y precipitación futura; dicha temperatura se introdujo en la ecuación de Penman–Monteith (Penman, 1948; Monteith, 1965) para estimar la evapotranspiración potencial futura (ET<sub>p</sub>). Consideraron como constantes a las demás variables de la ecuación como la radiación.



Las proyecciones usadas en tal estudio, dadas por los GCM/RCM sobre la temperatura y precipitación diaria para la zona de M067, presentan un rango de coeficiente de correlación de 0.81–0.99 y 0.62-0.99 respectivamente. Esto quiere decir que se encuentran en un rango aceptable y muy bueno de ajuste. Se pueden encontrar más detalles sobre la calidad estadística de estas proyecciones en Mora, et al. (2012).

Para modelar el caudal en la cuenca de Tomebamba en Monay, usaron el programa de lluvia escurrentía VHM anteriormente calibrado por Céleri, et al., (2010) y previamente aplicado para analizar el impacto de la variabilidad climática hidrológica (Taye et al., 2011; Liu et al., 2011; Van Steenberg and Willems, 2012; Taye and Willems, 2013).

En 2010, Céleri, et al., evaluaron la calidad del VHM para modelar los procesos hidrológico de la cuenca de Tomebamba. El modelo obtuvo un coeficiente de eficiencia EF ((Nash y Sutcliffe, 1970) de 0.7 en la etapa de calibración y 0.64 en la etapa de validación, lo que indica que tiene un nivel aceptable de ajuste.

### **3.4. Determinación de un submodelo conceptual de la calidad agua mediante minería de datos en WEKA**

El programa, descrito anteriormente en el punto 2.5.1, divide los datos en atributos e instancias, los atributos hacen referencia a los parámetros como el pH, caudal, temperatura, etc., y las instancias corresponden al número de elementos encontrados dentro de cada atributo. Weka, en su herramienta *Classify*, permite realizar la minería de datos con respecto a un atributo elegido por el usuario, el cual llega a ser la variable dependiente, con respecto a los demás atributos, que corresponden a las variables independientes.

Para nuestro estudio, analizaremos las series de datos a través de 5 algoritmos elegidos por su capacidad de generar modelos de predicción los cuales se describen a continuación.



### 3.4.1. Algoritmo Linear Regression

Weka permite realizar clasificación de datos mediante una regresión lineal basada en el criterio de información Akaike (Akaike, 1974). Este criterio combina la teoría de máxima verosimilitud, la información teórica y la entropía de la información (Arahal, et al., 2006)

Al aplicar el análisis de funciones *LinearRegression*, automáticamente se genera un modelo de regresión lineal de predicción. La precisión del modelo generado depende en gran manera de la cantidad de datos que se manejen, así, la exactitud de la predicción es directamente proporcional al número de datos disponibles.

El resultado es una combinación lineal de atributos (ecuación 4.2) en donde los pesos ( $w$ ) son calculados desde una serie de formación de datos. Suponiendo que cada instancia está extendida con un atributo constante de valor 1, el valor pronosticado para la primera instancia de formación de una instancia ( $a$ )<sup>1</sup> estaría representado por la ecuación 4.3 (Witten, et al., 2011).

$$x = w_0 + w_1 a_1 + w_2 a_2 + \dots + w_k a_k \quad \text{Ec. 4.2}$$

$$w_0 a_0^{(1)} + w_1 a_1^{(1)} + w_2 a_2^{(1)} + \dots + w_k a_k^{(1)} = \sum_{j=0}^k w_j a_j^{(1)} \quad \text{Ec. 4.3}$$

### 3.4.2. Algoritmo LeastMedSq

Implementa una regresión lineal cuadrada de menor mediana utilizando la clase de Regresión lineal Weka para formar predicciones. Las funciones de regresión de menor cuadrado son generadas a partir de sub ejemplos al azar de los datos, siendo elegida como el modelo final aquella con el menor error cuadrático (Hamed y Rao, 1999).

### 3.4.3. Algoritmo SMOreg

Implementa el soporte de máquina de vector para regresión (SVM, por sus siglas en ingles). Los parámetros pueden ser ilustrados usando varios algoritmos. El algoritmo es seleccionado por el ajuste RegOptimizer. Es una implementación del algoritmo de optimización de secuencia mínima para formar un modelo de soporte de regresión de vectores, sus principales características son tratar con los valores



perdidos y transformar atributos nominales en binarios. Los principios y estructura del algoritmo pueden ser encontrados en Shevade, et al., 2000. El SMOreg constituye un avance del SMO (Schölkopf, et al., 1999).

#### **3.4.4. Algoritmo M5Base**

Implementa rutinas bases para generar reglas y árboles de Modelos M5. M5 es un sistema para modelos de aprendizaje que predicen valores, este construye modelos basados en árboles, los mismos que pueden tener modelos lineales multivariados, por lo tanto son funciones lineales análogas por tramos. M5 aprende eficientemente y puede abarcar tareas con muy alta dimensionalidad de hasta cientos de atributos.

Un modelo lineal multivariado es construido para los casos (suponiendo T casos) en cada nodo del árbol modelo, usando técnicas de regresión estándar. Sin embargo, en lugar de usar todos los atributos, este modelo está restringido a los atributos que están referenciados por pruebas o modelos lineales en algún lugar en un subárbol. M5 calculará la precisión del modelo lineal con la precisión del subárbol, esto asegura la igualdad de condiciones referente a la información utilizada (Quinlan, 1992).

#### **3.4.5. Algoritmo M5Rules**

Genera una lista de decisión por problemas usando el principio de “divide y vencerás”. En cada iteración este construye un modelo de árbol usando M5 y hace el mejor acercamiento dentro de una regla. Funciona de la siguiente manera: un árbol de aprendizaje es aplicado a todo el conjunto de datos y un árbol de poda se aprende, luego la mejor hoja se convierte en una regla y el árbol es descartado. Todas las instancias cubiertas por la regla son removidas del conjunto de datos. El proceso es aplicado recurrentemente para las instancias restantes y termina cuando todas las instancias son cubiertas por una o más reglas (Holmes, et al., 1999).

### 3.5. Calibración y elección del submodelo de calidad de agua obtenido por WEKA

Con el software se pretende encontrar las relaciones existentes entre los diferentes parámetros ingresados (Caudal, precipitación, evapotranspiración y temperatura) con respecto a la variable ingresada (ver tabla C3.2.3). Mediante una serie de algoritmos usados (descritos anteriormente) se buscará el algoritmo que presente un mejor coeficiente de correlación (CC); este coeficiente nos da a conocer si las predicciones son aceptables. El coeficiente se encuentra en un rango de 0 a 1, siendo 1 la condición más óptima. De la misma manera tenemos que tener en cuenta el error absoluto (EA). El resultado es una o varias ecuaciones, las mismas que nos permitirán estimar el comportamiento de las variables fisicoquímicas con respecto a las variables hidrometeorológicas futuras. A continuación un claro ejemplo del funcionamiento del software.

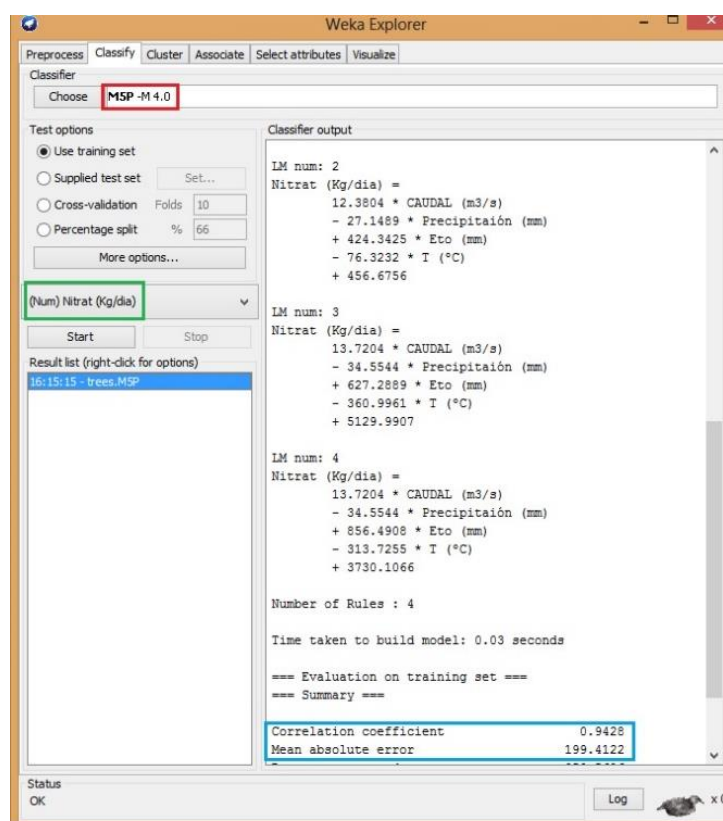


Figura 3.4: Proyección de resultados en la interfaz de WEKA



En la figura 3.3 podemos observar que se ingresaron datos de Nitratos (como se puede observar en el recuadro verde). El algoritmo que más se ajustó fue M5P (recuadro rojo). La razón por lo que se usó dicho algoritmo fue por presentar un coeficiente de correlación alto y un bajo error absoluto (recuadro celeste).

```

M5 pruned model tree:
(using smoothed linear models)

CAUDAL (m3/s) <= 36.515 :
| CAUDAL (m3/s) <= 4.625 : LM1 (9/2.183%)
| CAUDAL (m3/s) > 4.625 : LM2 (10/9.571%)
CAUDAL (m3/s) > 36.515 :
| T (°C) <= 14.65 : LM3 (2/60.011%)
| T (°C) > 14.65 : LM4 (6/23.561%)

LM num: 1
Nitrat (Kg/dia) =
  12.5096 * CAUDAL (m3/s)
  - 23.375 * Precipitación (mm)
  + 424.3425 * Eto (mm)
  - 76.3232 * T (°C)
  + 405.1223

LM num: 2
Nitrat (Kg/dia) =
  12.3804 * CAUDAL (m3/s)
  - 27.1489 * Precipitación (mm)
  + 424.3425 * Eto (mm)
  - 76.3232 * T (°C)
  + 456.6756

LM num: 3
Nitrat (Kg/dia) =
  13.7204 * CAUDAL (m3/s)
  - 34.5544 * Precipitación (mm)
  + 627.2889 * Eto (mm)
  - 360.9961 * T (°C)
  + 5129.9907

LM num: 4
Nitrat (Kg/dia) =
  13.7204 * CAUDAL (m3/s)
  - 34.5544 * Precipitación (mm)
  + 856.4908 * Eto (mm)
  - 313.7255 * T (°C)
  + 3730.1066

Number of Rules : 4

```

**Figura 3.5:** Representación de las ecuaciones propuestas por el software



En la figura 3.4 podemos observar las ecuaciones generadas por el software, se han obtenido casos diferentes que dependen directamente del caudal y la temperatura, según las condiciones en las que estas se encuentren, se debe usar las diferentes fórmulas propuestas.

Para la elección del modelo más óptimo se procedió a un análisis comparativo entre los diferentes algoritmos descritos anteriormente, la comparación se realizó mediante la gráfica de las estimaciones obtenidas con los diferentes algoritmos con respecto a la observada. De esta manera podemos comparar gráficamente el ajuste de cada modelo, teniendo en cuenta el coeficiente de correlación y el error absoluto.

### **3.6. Relación establecida entre los resultados obtenidos por el software Weka y las proyecciones realizadas por el VHM**

Una vez obtenidas y seleccionadas las ecuaciones del submodelo de calidad de agua, estas son utilizadas para modelar el comportamiento de los parámetros físico químicos del agua con respecto a las variables hidrometeorológicas. Estas últimas corresponden a valores de precipitación y caudal diarios así como de temperatura y evapotranspiración media mensual (se distribuyeron en una escala diaria), en dos periodos, el primero y considerado como condición histórica 1964-1984, y el segundo o condición futura hace referencia a los datos obtenidos por Mora, et al., (2014) que constituyen proyecciones para los años 2045-2065 en la cuenca de Tomebamba en Monay. Para su estudio ellos consideraron los modelos GCM-RCM disponibles para el control y simulación que cubren el Ecuador, estos se detallan en la sección 3.3.

En definitiva, las variables hidrometeorológicas que ingresarán a las ecuaciones (7 en total, una para cada variable fisicoquímica) del modelo de calidad de agua, establecido por medio de Weka, se detallan en la Tabla 3.4.



**Tabla 3.4:** Variables hidrometeorológicas observadas y proyectadas que ingresan en las ecuaciones generadas por Weka para cada parámetro fisicoquímico

Periodo	Variables hidrometeorológicas	Submodelo generado por Weka
1964-1984 (Observado)	Temperatura (°C)	Demanda bioquímica de oxígeno
	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Demanda química de oxígeno
	ETo (mm/día)	Oxígeno disuelto
2045-2065 (Proyecciones A1B)	Precipitación (mm/día)	Sólidos suspendidos totales
		Nitratos
		Nitritos
		Coliformes totales

Los rangos hidrometeorológicos, considerados como condiciones normales y extremas, fueron definidos en base a las proyecciones de caudal, temperatura, precipitación y ETo obtenidas por Mora, et al., (2014). Para esto, se realizó un análisis general de las proyecciones generadas por los modelos (ver figura 3.2) para el periodo 2045-2065, obteniendo así los valores correspondientes a los mínimos, los cuartiles 1 y 3, las medianas y los máximos para cada parámetro hidrometeorológico.

Se definieron a los rangos mínimos y máximos como condiciones extremas de sequía e inundación, mientras que para las condiciones normales se estableció un rango que abarca los cuartiles 1,3 y la mediana.

### **3.7. Estimación de la precipitación diaria total sobre el área de estudio considerando la elevación y el método de los polígonos de Thiessen**

Si bien el método de Thiessen es uno de los más usados en cuanto al cálculo de la precipitación media que cae sobre una cuenca, este no considera la topografía del área. En este aspecto, el uso de herramientas SIG da la posibilidad de estimar un área de influencia de cada estación meteorológica, considerando la elevación a las que estas se encuentran instaladas.





Considerando que las zonas alto-andinas poseen una topografía muy variable, un análisis mixto entre el método de Thiessen y cálculo de áreas según la elevación, supone una propuesta interesante a la hora de estimar un área de influencia alrededor de cada estación, a fin de calcular la precipitación media diaria en dicha zona.

El cálculo de la precipitación media diaria sobre la cuenca se realiza en función de la siguiente ecuación:

$$Pm = \frac{\sum_{i=1}^n Pi * Ai}{\sum Ai} \quad \text{Ec.4.4}$$

En donde  $Pm$  representa la precipitación media que cae sobre la cuenca,  $Pi$  la precipitación registrada en una estación dentro de la cuenca y  $Ai$  el área definida alrededor de dicha estación.

Debido a que la estación de Marianza Bajo no registró información referente a 5 días, debido a problemas técnicos, se utilizó un algoritmo de relleno de WEKA, el LeastMedSq, descrito anteriormente. El programa encontró la relación entre la precipitación registrada en las estaciones de Marianza Alto, PROMAS y Marianza Bajo (dada su proximidad), obteniendo la ecuación 4.5.

$$PPRO-10 = 0.7426 * PPRO-33 + 0.9535 * PRO-11 + 0.0617 \quad \text{Ec. 4.5}$$

Dada la cercanía de las estaciones de Marianza Alto y Marianza Bajo, y que finalmente se definió una única área alrededor de estas, se consideró una precipitación promedio para realizar el cálculo de la precipitación media total sobre la cuenca con la ecuación 4.4.

La estimación de la precipitación total sobre la cuenca se realizó tanto para los días usados en la calibración del submodelo conceptual (27 días) como para los datos de precipitación usados por Mora et al, 2014 (1964-1984, 2045-2065), para este último se utilizaron las mismas tres áreas de influencia obtenidas; de este modo se empataron las estaciones de Labrado, Cochapamba y Cuenca Aeropuerto con las estaciones de Marianza Alto y Bajo, Cumbe y Promas respectivamente. Esto último pudo realizarse considerando que las estaciones antes mencionadas se



encuentran en regiones con los mismos regímenes de precipitación (Mora, et al., 2014).

**Tabla 3.5:** Estaciones meteorológicas con precipitación futura.

Estación	UTM x	UTM y	Cota	Código
Cochapamba	731094.27	9667787.9	2710	M-541
Labrado	692483.76	9684842.1	3440	M-141
Aeropuerto	723699.26	9680345.9	2530	M-067

Proyección UTM WGS 84.

Los resúmenes de las bases de datos referentes a estas estaciones se encuentran en los anexos C3.1, C3.2 y C3.3.

### 3.8. Análisis estadístico

Se utilizó estadística descriptiva de dispersión basada en el método del diagrama de caja múltiple o box-plot. Esto debido a que es una técnica gráfica que nos permite analizar de una manera rápida y concisa el comportamiento de los datos en una escala específica. El método además permite comparar varios parámetros a la vez, agilitando el proceso de análisis.

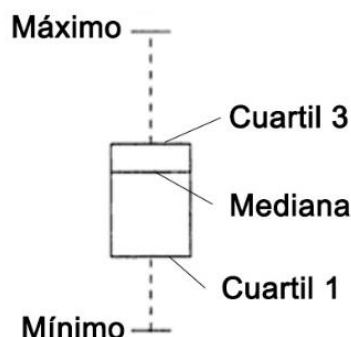
El análisis se divide en dos partes. Una comparación entre los parámetros modelados en el periodo 1964-1985 y 2045-2065, y el cambio (delta) que cada parámetro tendrá considerando el cambio climático.

#### 3.8.1. Representación estadística mediante diagramas de caja

El diagrama de caja es una representación del cuartil 1, la mediana y el cuartil 3; los mismos que forman una caja con una línea que la divide, no de forma necesariamente simétrica. Esta línea divisora, que es la mediana, representa hacia donde se encuentra la distribución de los datos; mientras que los cuartiles son las líneas paralelas a la mediana (Luceño y Gonzáles, 2006).

Generalmente los bigotes definen los límites superior e inferior basados en el cálculo del rango intercuartílico. Sin embargo por tratarse de proyecciones futuras

y no de valores observados solamente, para el análisis se consideraran como el final de los bigotes superior e inferior al máximo y al mínimo.



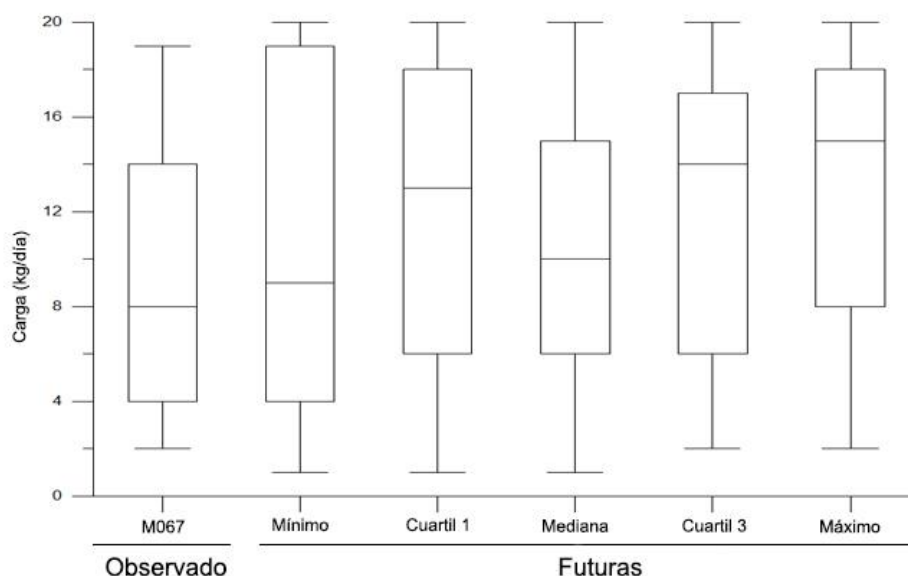
**Figura 3.6:** Representación gráfica de un box plot

Obtenidos los datos proyectados de calidad de agua para los modelos, de acuerdo a los 7 parámetros, (para el periodo 2045-2065) se realizó un análisis estadístico, el mismo que consiga obtener los datos necesarios y concretos, tales como son los máximos, mínimos, Cuartiles (1,3) y su mediana, esto para cada modelo. Con estos datos se construyeron tablas resumen (anexos C4.20-C4.33) donde las mismas son la parte fundamental para hacer el análisis estadístico, y con ayuda de estas se demuestre de manera gráfica los resultados obtenidos en este estudio.

### **3.8.2. Comparación entre los parámetros fisicoquímicos modelados 1964-1984 vs modelados 2045-2065**

En primer lugar se analizan los parámetros fisicoquímicos modelados con los datos hidrometeorológicos observados (1964-1984) frente a los proyectados con los datos hidrometeorológicos futuros modelados por los GMC/RMC para el periodo 2045-2065.

Ya que el propósito de la investigación es estimar de manera general el comportamiento futuro de los parámetros fisicoquímicos y así la calidad del agua, se obtuvieron, para las proyecciones futuras de todos los modelos, 5 diagramas de caja generales correspondientes al mínimo, cuartil 1, mediana, cuartil 3 y el máximo.



**Figura 3.7:** Diagrama de caja múltiple, ejemplificación.

Con el propósito de mantener la referencia, M067 representará el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos modelados con las condiciones hidrometeorológicas observadas.

### 3.8.3. Análisis de cambio (delta) y estimación de la calidad del agua futura en base al comportamiento proyectado de los parámetros fisicoquímicos

Finalmente se consideraron los valores del cambio (deltas). Los deltas hacen referencia al cambio positivo o negativo que presentaran los parámetros fisicoquímicos considerando ya el cambio climático en el escenario A1B en el periodo 2045-2065. Básicamente se procedieron a restar los datos modelados para el periodo observado de las proyecciones dadas por los modelos GCM/RCM para el periodo futuro. Esta acción puede esquematizarse con la siguiente formula:

$$\Delta P = P_f - P_o \quad \text{Ec. 4.6}$$

Donde:

$\Delta P$ : Es el delta de cada parámetro que representa el valor del cambio.

$P_f$ : Representa el valor modelado futuro de cada parámetro.

$P_o$ : Representa el valor modelado observado de cada parámetro.



---

A estos resultados, de la misma manera anterior, se calcula el máximo, mínimo y la mediana, obteniendo así otros diagramas de caja donde la representación de estos datos nos hace referencia al cambio climático con relación a los parámetros de calidad del agua. Estos diagramas (valores delta) son la clara representación del presente trabajo, de tal forma que son la parte primordial de demostrar gráficamente los resultados obtenidos en este estudio.



## CAPITULO 4

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se describen los resultados obtenidos por la aplicación de la metodología antes descrita, los datos utilizados en cada etapa de la investigación, tablas, gráficos y mapas elaborados y finalmente el análisis estadístico correspondiente a la modelación de los parámetros de calidad de agua especificados.

#### 4.1. Información primaria sobre parámetros de calidad de agua levantada y anexada a datos existentes

Como resultado de los monitores mencionados en el punto 3.2 del capítulo 3, correspondiente a los días 23 de julio y 27 de septiembre de 2014, se obtuvieron los análisis de laboratorio de los 7 parámetros fisicoquímicos DBO, DQO, OD, Sólidos Suspendidos Totales, Nitratos, Nitritos y Coliformes Totales. Estos se detallan en la tabla 4.1.

**Tabla 4.1:** Resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros fisicoquímicos

Fecha dd/mm/aaaa	SST (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	Nitritos (ug/l)	Nitratos (mg/l)	Coliformes totales (NMP/100ML)
23/07/2014	5.00	8.70	3.00	9.96	25.16	0.22	5.4E+05
25/09/2014	12.00	6.91	1.90	39.14	65.15	0.41	5.4E+05

Adicionalmente a los resultados mostrados en la tabla 4.1 se incluyen los obtenidos en los 25 monitoreos anteriores (PROMAS). De esta manera se cuenta con una base de datos con 27 días, tabla 4.2. Esta base de datos es de gran importancia para los análisis próximos.

**Tabla 4.2:** Base de datos fisicoquímicos completa

Fecha dd/mm/aaaa	SST (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	Nitritos (ug/l)	Nitratos (mg/l)	Coliformes totales (NMP/100ML)
15/09/2010	69.00	6.26	5.05	42.00	168.20	0.77	5.4E+05
27/09/2010	41.00	7.80	8.50	36.00	158.10	0.74	1.7E+06
06/10/2010	48.00	6.89	5.51	19.68	251.05	0.51	2.8E+05
15/10/2010	39.00	7.82	8.86	25.27	82.85	1.10	7.0E+05
27/10/2010	45.00	8.03	4.74	15.94	103.55	0.57	2.8E+05
10/11/2010	17.00	8.61	4.82	25.38	244.45	1.05	1.7E+05
22/11/2010	21.00	7.04	5.50	21.82	124.00	0.40	4.9E+05
01/12/2010	37.00	7.21	5.49	21.82	85.40	0.57	5.4E+05
05/01/2011	8.00	7.74	5.69	10.00	58.60	0.16	7.0E+05
12/01/2011	9.00	8.18	3.04	44.76	29.93	0.20	3.4E+05
31/01/2011	22.00	7.64	5.17	37.32	51.31	0.37	3.5E+05
09/02/2011	43.00	7.62	5.77	29.94	3.23	0.17	4.6E+05
14/02/2011	42.00	7.90	1.99	21.96	2.02	0.20	2.1E+06
28/02/2011	11.00	7.30	2.90	29.40	16.96	0.36	2.5E+05
10/03/2011	4.00	7.74	2.04	13.38	120.77	0.44	9.2E+05
24/03/2011	23.00	6.97	2.04	43.50	86.06	0.39	1.6E+07
06/04/2011	141.00	13.80	9.49	50.65	29.49	0.24	3.3E+06
13/04/2011	27.00	7.55	8.28	22.00	19.39	0.27	1.6E+07
20/04/2011	52.00	8.04	5.79	28.00	17.78	0.44	9.2E+06
04/05/2011	16.00	7.83	3.55	21.41	22.62	0.23	2.2E+06
18/05/2011	12.00	7.28	5.97	4.93	83.33	0.12	2.8E+06
01/06/2011	20.00	8.23	2.36	22.70	8.18	0.05	1.6E+06
14/06/2011	12.00	7.95	6.25	13.92	36.47	0.28	1.6E+07
29/06/2011	22.00	7.63	2.65	8.00	22.30	0.06	1.7E+05
13/07/2011	46.00	8.42	2.35	37.39	9.80	0.26	3.9E+05
23/07/2014	5.00	8.70	3.00	9.96	25.16	0.22	5.4E+05
25/09/2014	12.00	6.91	1.90	39.14	65.15	0.41	5.4E+05

Las muestras correspondientes a los monitoreos anteriores fueron recolectadas en horas específicas, sin embargo, en el estudio se consideran como medias diarias.



Como se puede apreciar en la tabla 4.2 se obtuvieron valores bajos de SST y esto se debe a condiciones de caudales bajos, corroborando así condiciones similares de las campañas anteriores como la campaña de enero del 2011. Los valores de caudales los podemos observar y comparar en la tabla 4.5, los otros parámetros igualmente presenta similitud en fechas anteriores. Esto nos da a conocer que los niveles de contaminación son variables y no se podría determinar niveles fijos en fechas establecidas. Hay que considerar que la base de datos correspondiente a la tabla 4.2 se usó únicamente con el propósito de establecer el submodelo de calidad de agua, mas no el de realizar un análisis comparativo con los resultados obtenidos en esta investigación.

Los valores de los parámetros fisicoquímicos se recopilaron de bases de datos mostradas en los anexos C4.1, C4.2 y C4.3

#### **4.2. Bases de datos hidrometeorológicas compiladas**

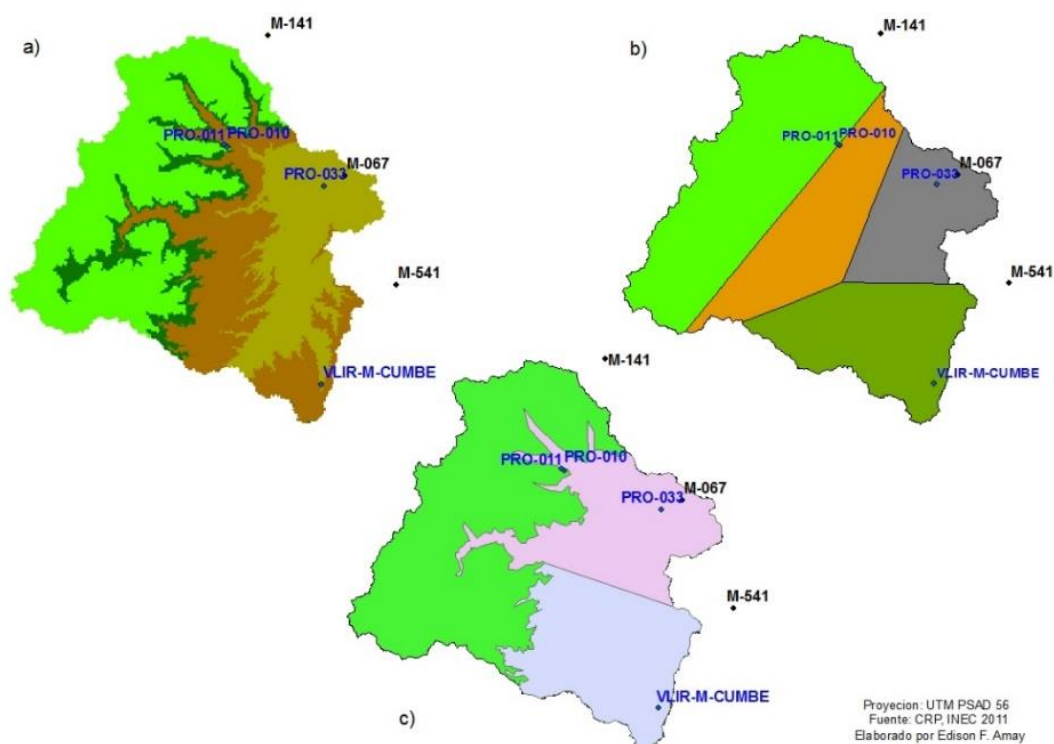
Para este punto se elaboró una base de datos considerando información hidrometeorológica de las fuentes mencionadas en la sección 3.2 para ser relacionadas con las series de parámetros de calidad de agua. La obtención del submodelo se lo hizo mediante WEKA (27 días) y otra referente a los necesarios para la modelación presente y futura (1964-1984, 2045-2065 correspondientemente)

##### **4.2.1. Datos hidrometeorológicos utilizados para la obtención del submodelo de calidad de agua**

###### **a) Precipitación diaria**

Siguiendo la metodología establecida en el punto 3.7 del capítulo 3, se obtuvieron los siguientes mapas.





**Figura 4.1:** Análisis SIG del área de estudio para la obtención del área de influencia de las estaciones meteorológicas de Marianza Alto y Bajo, Promas y Cumbe.

En la figura 4.1 a) esquematiza la división de la cuenca según la cota de cada estación, b) los polígonos de Thiessen generados a partir de un análisis SIG, y c) considera, por su proximidad, a las estaciones de PRO-010 y PRO-011 como una sola, definiendo para estas dos una área de influencia que se encuentra superior a 3439 m.s.n.m. Para las estaciones de PRO-033 y VLIR-M-CUMBE, se definen polígonos basados en los generados por Thiessen, el ajuste se realiza a consideración propia, tomando en cuenta la ubicación de cada estación.

De esta manera se obtuvieron 3 áreas de influencia, las cuales se introdujeron en la fórmula C3.X (capítulo 3), para la estimación de la precipitación diaria sobre el área de estudio.



**Tabla 4.3:** Áreas de influencia estimadas para cada estación meteorológica

Estación	Área (km <sup>2</sup> )
PRO-033	307.99
PRO-010 y 011	645.67
VLIR-M-CUMBE	322.03

Los datos de precipitación registrada en los 27 días de monitoreo, se obtuvieron de bases de datos proporcionadas por la Red Hidrometeorológica del PROMAS, las mismas se muestran en los anexos C4.4 y C4.5. Con respecto a los datos de las estaciones de Marianza alto y bajo, por considerarse como una sola para la obtención de las áreas de influencia, se realizó una media aritmética de las precipitaciones registradas por ambas estaciones en los 27 días que se llevaron a cabo los monitoreos.

**Tabla 4.4:** Precipitación media diaria registrada por estación en mm/día y la total calculada.

Fecha dd/mm/aaaa	PROMAS	Marianza Alto	Marianza Bajo	Media Aritmética Marianza Alto y Bajo	Cumbe	Precipitación media total sobre la cuenca
15/09/2010	1.00	8.80	8.40	8.60	6.35	6.20
27/09/2010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
06/10/2010	0.00	0.20	0.40	0.30	0.00	0.15
15/10/2010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27/10/2010	0.00	0.60	0.60	0.60	0.76	0.50
10/11/2010	0.00	0.00	0.60	0.30	0.00	0.15
22/11/2010	0.00	2.20	2.20*	2.20	0.00	1.10
01/12/2010	0.00	1.20	1.20*	1.20	1.52	0.99
05/01/2011	3.40	17.80	19.50*	18.65	0.00	10.27
12/01/2011	0.00	0.00	0.10*	0.05	0.00	0.01




---

31/01/2011	2.80	3.40	5.40*	4.40	3.05	3.67
09/02/2011	0.20	1.40	1.60	1.50	1.27	1.13
14/02/2011	2.00	1.40	1.80	1.60	6.10	2.83
28/02/2011	0.00	1.60	1.00	1.30	0.51	0.79
10/03/2011	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24/03/2011	4.80	0.00	0.00	0.00	0.76	1.35
06/04/2011	4.60	10.00	13.00	11.50	5.59	8.34
13/04/2011	6.60	8.20	12.80	10.50	0.51	7.04
20/04/2011	2.00	3.20	4.60	3.90	2.54	3.10
04/05/2011	0.00	0.00	0.20	0.10	0.00	0.05
18/05/2011	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/06/2011	0.40	11.60	14.40	13.00	0.76	6.87
14/06/2011	1.20	1.80	2.60	2.20	5.08	2.69
29/06/2011	2.40	9.80	9.00	9.40	1.78	5.79
13/07/2011	4.20	6.00	5.60	5.80	5.59	5.36
23/07/2014	0.00	0.60	0.60	0.60	0.00	0.30
25/09/2014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

---

Los valores \* representan aquellos rellenados por el uso del algoritmo LeastMedSq.

#### **b) Caudal, temperatura y evapotranspiración de referencia diarias**

Se recopiló el caudal medio diario registrado por la estación de monitoreo continuo de Tomebamba en Monay, así como la temperatura registrada por la estación climática del Aeropuerto Mariscal Lamar de Cuenca. En cuanto a la evapotranspiración de referencia, se utilizaron los valores mensuales empleados en la investigación de Mora, et al (2014), los mismos fueron distribuidos en los 27 días en los que se llevó a cabo el monitoreo.

Las bases de datos de las cuales se extrajeron los datos se muestran en los anexos C4.6, C4.7 y C4.8.



**Tabla 4.5:** Caudal, evapotranspiración y temperatura registrados para los 27 días de análisis.

Fecha dd/mm/aaaa	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	ET <sub>o</sub> (mm)	T (°C)
15/09/2010	1.20	2.34	14.8
27/09/2010	1.34	2.34	17.5
06/10/2010	1.20	2.46	18.8
15/10/2010	1.06	2.46	17.7
27/10/2010	1.20	2.46	17.5
10/11/2010	0.93	2.53	17.9
22/11/2010	3.88	2.53	16.2
01/12/2010	2.03	2.50	17
05/01/2011	11.42	2.39	15.6
12/01/2011	22.67	2.39	17.9
31/01/2011	5.70	2.39	16.9
09/02/2011	78.21	2.34	16.5
14/02/2011	83.78	2.34	16.8
28/02/2011	13.98	2.34	17.2
10/03/2011	5.37	2.31	15.2
24/03/2011	13.44	2.31	17.8
06/04/2011	67.69	2.20	15.1
13/04/2011	68.96	2.20	16.7
20/04/2011	89.55	2.20	14.2
04/05/2011	41.94	2.08	17.1
18/05/2011	13.44	2.08	15.8
01/06/2011	100.16	1.95	15.2
14/06/2011	13.44	1.95	14.5
29/06/2011	31.09	1.95	17.3
13/07/2011	208.51	1.96	13.3
23/07/2014	3.62	1.96	16.4
25/09/2014	8.70	2.34	18.5

#### 4.2.2. Datos hidrometeorológicas modelados y usados para las proyecciones en el submodelo de calidad de agua

Se recopilaron y adecuaron 4 bases de datos correspondientes al caudal, la temperatura, la ET<sub>o</sub> y la precipitación; para esta última se utilizaron tres bases de datos referentes a la precipitación observada y modelada en las estaciones M-141, M-524 y M-067, esto, para calcular la precipitación media diaria sobre la cuenca



siguiendo el procedimiento citado en el punto 3.7 de la metodología. Con estos datos y con las ecuaciones seleccionadas previamente es posible la elaboración de las predicciones (periodos 2045-2065) en cuanto a la calidad de agua, para esto son necesarias las predicciones empleadas en la investigación de Mora, et al (2014).

Debido a su extensión, los resúmenes de las bases se encuentran en los anexos C.4.9, C.4.10, C.4.11 y C.4.12.

#### 4.3. Submodelo de calidad de agua establecido mediante WEKA

Con el propósito de conseguir mejores resultados en cuanto a las proyecciones, la concentración (unidad de masa/ volumen) fue llevada a carga (unidad de masa/tiempo), esto, debido a que Weka, con sus algoritmos, modeló de mejor manera la segunda. Al realizar esta transformación, el CC se incrementó considerablemente, esto se debe a que la carga lleva implícita al caudal observado. En la tabla 4.6 se muestran el CC alcanzado en carga (sombreado) y en concentración, para cada parámetro fisicoquímico.

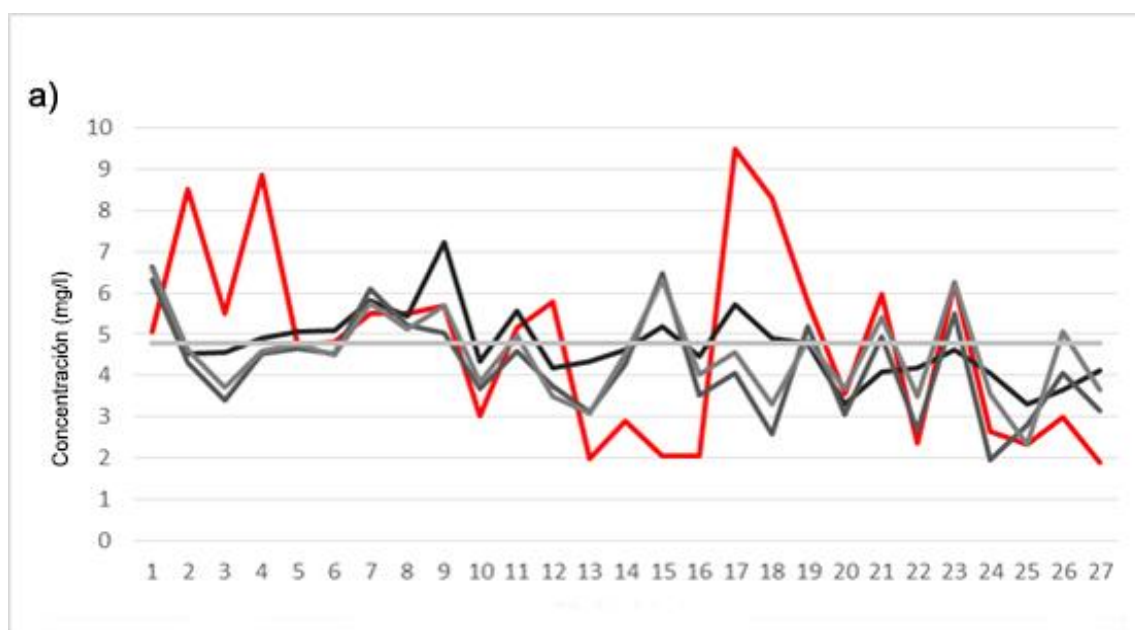
**Tabla 4.6:** Coeficiente de correlación alcanzados con carga y concentración

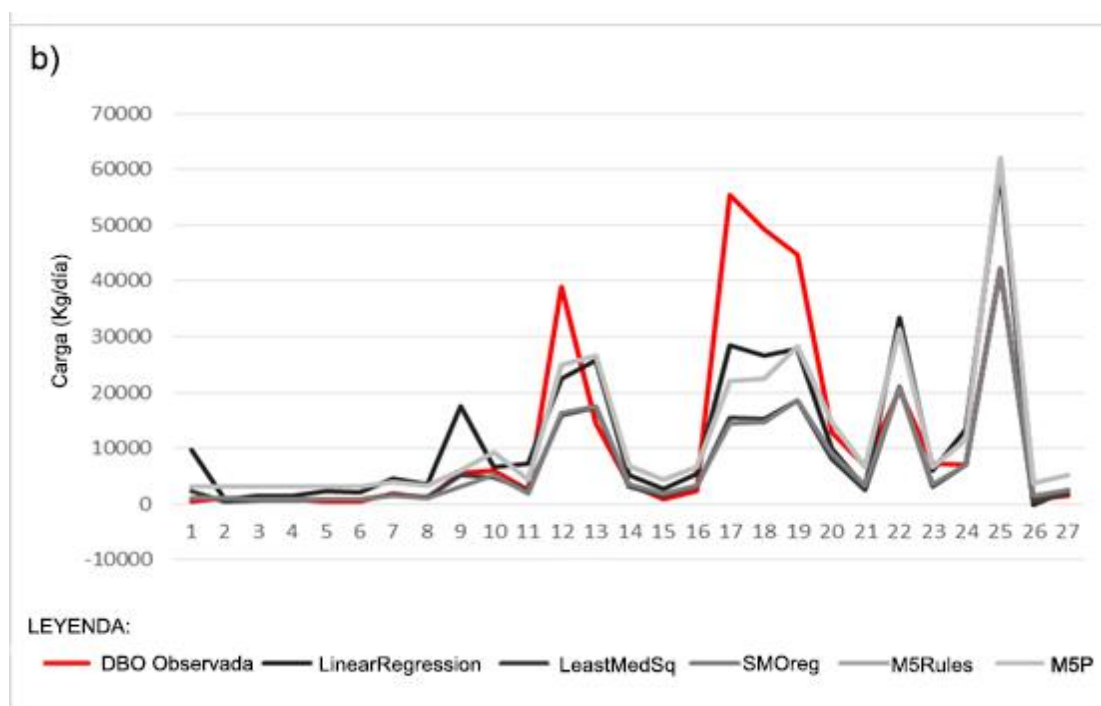
Parámetro	CC	Linear Regression	LeastMedSq	SMOreg	M5Rules	M5P
DBO	Carga	0.804	0.790	0.778	0.776	0.776
	Concentración	0.401	0.255	0.259	0.000	0.000
DQO	Carga	0.964	0.957	0.959	0.959	0.959
	Concentración	0.460	0.205	0.206	0.449	0.449
OD	Carga	0.985	0.983	0.983	0.983	0.983
	Concentración	0.378	0.331	0.319	0.339	0.339
CT*	Carga	0.431	0.378	0.000	0.376	0.376
	Concentración	0.306	0.072	0.099	0.000	0.000
Nitritos	Carga	0.717	0.665	0.698	0.890	0.855
	Concentración	0.641	0.600	0.542	0.903	0.799
SST	Carga	0.862	0.843	0.842	0.842	0.842
	Concentración	0.500	0.332	0.175	0.371	0.371
Nitratos	Carga	0.921	0.898	0.899	0.944	0.943
	Concentración	0.661	0.611	0.630	0.926	0.820

Leyenda: \* por su naturaleza, sus unidades de concentración (NMP/100ml) fueron transformadas a NMP/día.

Es por esta razón que los algoritmos M5Rules y M5P, al ser algoritmos que encuentran relaciones específicas, relacionan mayormente a los parámetros fisicoquímicos con el caudal. Teniendo en cuenta que al trabajar con carga se puede apreciar de mejor manera la contaminación que existe en la zona de estudio. Esto se debe a que la concentración puede ser vertida en un determinado caudal, donde si el caudal es más alto se podría aparentar una contaminación pobre, mientras que si el caudal es bajo la contaminación es más evidente. La carga es mucho más representativa cuando se realizan análisis de contaminación hídrica ya que involucra al caudal vertido (CIGAE, 1998).

La figura 4.2 muestra un ejemplo del DBO observado versus el DBO modelado utilizando a) concentraciones de DBO y b) carga de DBO. Se aprecia que los algoritmos modelan de mejor manera la carga que la concentración.

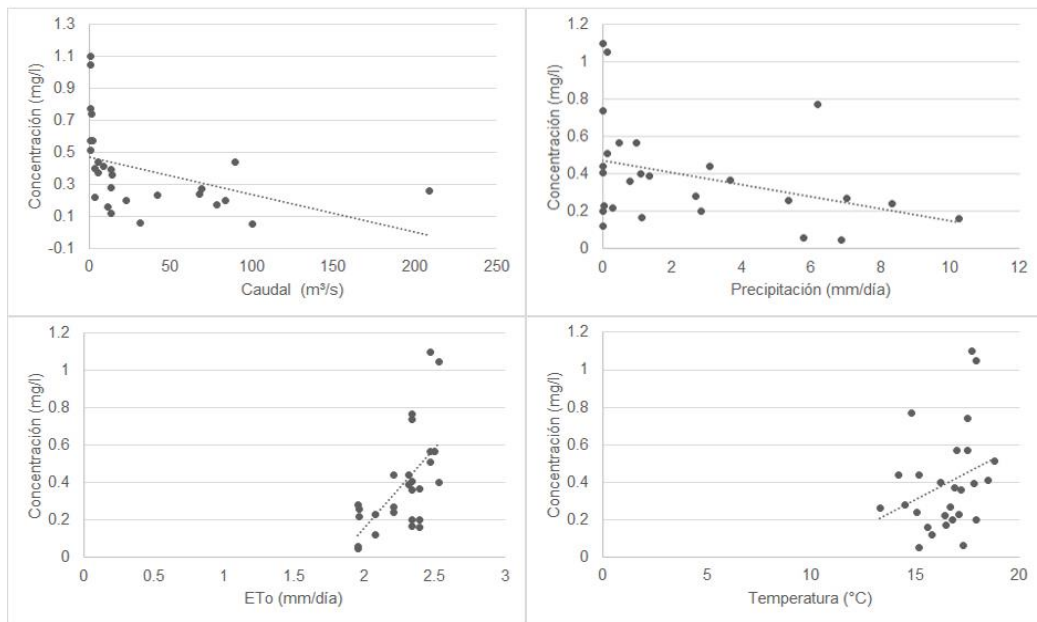




**Figura 4.2:** Representación gráfica de la concentración y carga observada vs la modelada.

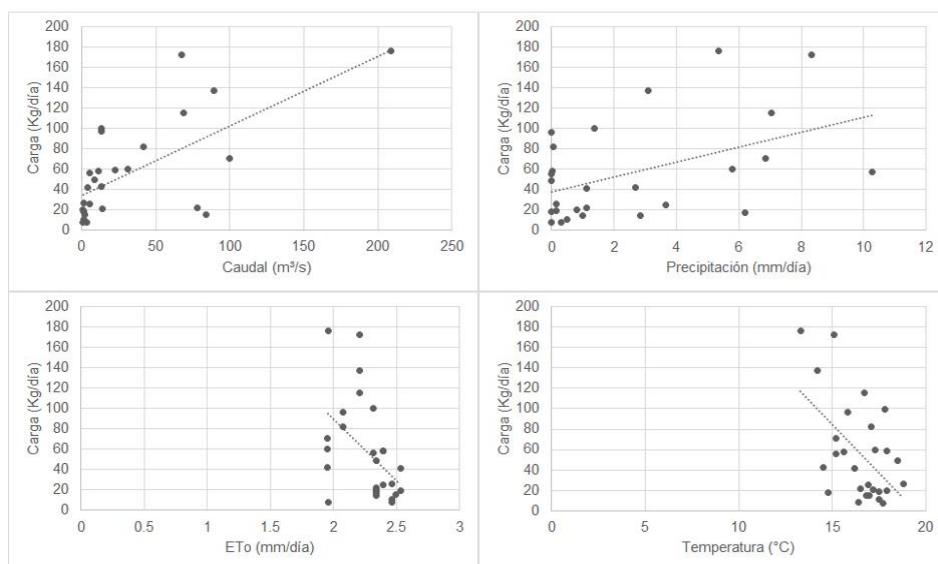
A pesar de que para la obtención de los submodelo de calidad de agua se utilizó la carga en lugar de la concentración, cabe recalcar el cambio en la relación, sea esta directa o inversamente proporcional, que ambas presentan con respecto a las variables hidrometeorológicas. Esto con el fin de explicar el hecho de que la mayoría de submodelos proyectan cargas negativas. Esto se puede apreciar en las figuras 4.3 y 4.4 que muestran el comportamiento de la concentración y la carga de los nitratos frente a cada variable hidrometeorológica, se puede observar claramente el cambio en la relación que presenta una de otra.

La DBO, el OD y los Coliformes totales en concentración tienen una relación inversamente proporcional a la temperatura, al igual que con la carga. En el caso de la DQO, los Nitritos, Nitratos y Sólidos Suspendidos Totales, la concentración y la temperatura presentan una relación directamente proporcional, lo que no pasa con la carga.



**Figura 4.3:** Relación de los nitratos en concentración frente a las variables Hidrometeorológicas

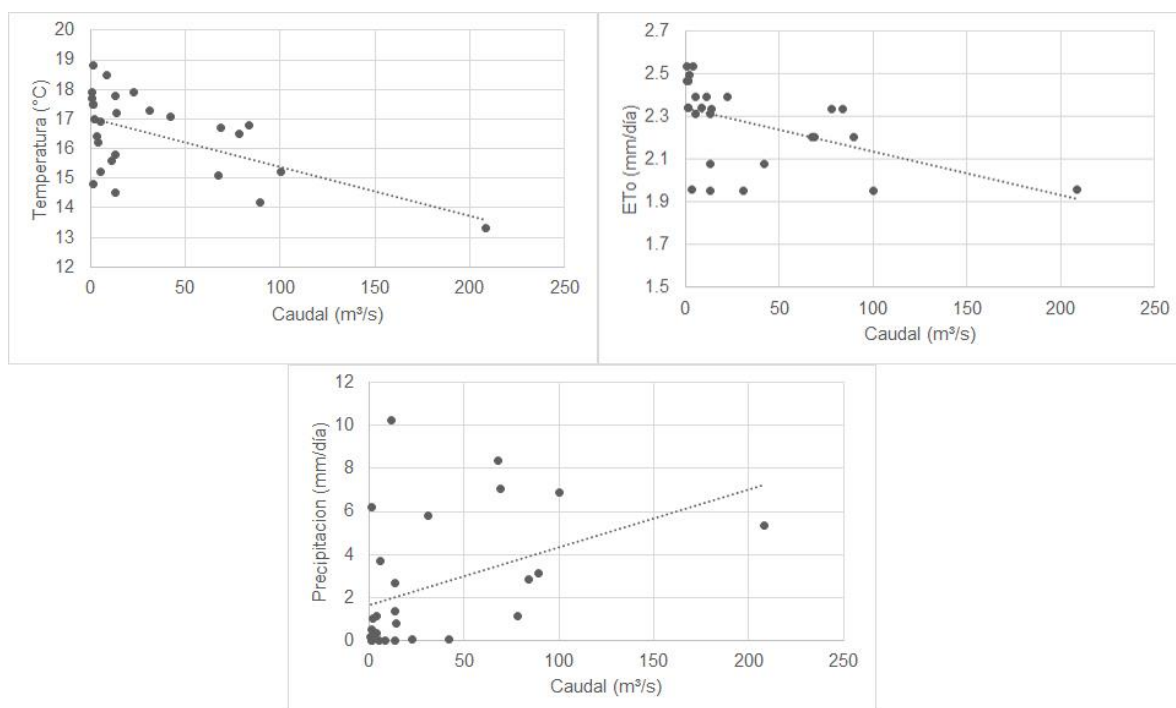
El nivel de caudal observado parece tener una relación directa con la DQO, OD, CT y SST, e inversa con la DBO, Nitritos y Nitratos, en concentración.



**Figura 4.4:** Relación de los nitratos en carga frente a las variables Hidrometeorológicas



El hecho de que se presenten tendencias opuestas en carga con respecto a la concentración puede ser explicado al analizar la relación que el caudal, variable implícita en la carga, tiene con la precipitación, temperatura y la evapotranspiración, observadas durante las 27 campañas de monitoreo.



**Figura 4.5:** Relación del caudal registrado con la temperatura, ETo y precipitación registrados.

En la figura 4.5 se puede apreciar que el caudal registrado tiene una relación inversamente proporcional con la temperatura y la ETo y directa con la precipitación. Al estar en función del caudal, la carga de todos los parámetros fisicoquímicos del agua presenta una relación igual a la explicada, es decir están en relación inversa con la temperatura y la ETo, y directa con la precipitación y, por ende, con el caudal.

Se puede concluir que la respuesta de los parámetros fisicoquímicos frente al estado de las variables hidrometeorológicas, puede o no ser diferente tanto para la carga o la concentración.



Al graficar la dispersión que tiene la carga con respecto a cada una de las variables hidrometeorológicas, encontramos que la temperatura y la ETo son inversamente proporcionales a la carga. Por esta razón mientras más elevada sean la temperatura y la evapotranspiración, la ecuación tiende a generar valores cercanos a cero o negativos.

Un modelo de cualquier naturaleza, requiere para su calibración de una cantidad de datos muy amplia. Mientras más datos se dispongan, la calidad de las relaciones que un programa como Weka obtenga, por minería de datos, será mucho mejor. Sería lógico pensar que de contarse con una base de datos de parámetros de calidad de agua en escala diaria, se podría usar la concentración sin necesidad de transformarla a carga y se llegaría a mejores resultados. El obtener información de este tipo es una tarea económicamente limitada dentro de este estudio.

#### **4.3.1. Ecuaciones seleccionadas**

El uso de la minería de datos permitió que se encontraran relaciones entre el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y las variables hidrometeorológicas detallados en los puntos anteriores. Como se explicó en la metodología, la elección de la ecuación que representa el comportamiento de cada parámetro fisicoquímico, está en función del coeficiente de correlación, el error absoluto (tabla 4.7) y, no menos importante, la inclusión de la mayoría de las variables hidrometeorológicas. Este último es en si la base de nuestro estudio.

En la tabla 4.7 se somborean los valores correspondientes al CC y EA de cada parámetro fisicoquímico, esto indica que se escogió la ecuación generada por el algoritmo debajo del cual se hallan.

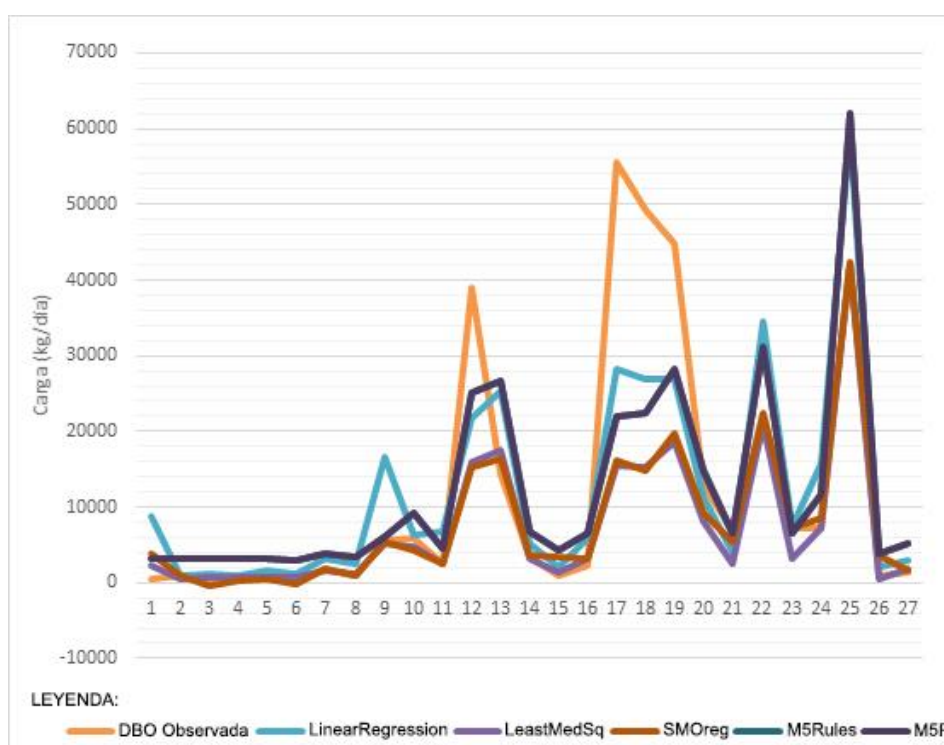
**Tabla 4.7:** Coeficientes de correlación y error absoluto de los algoritmos empleados para la elección del submodelo de calidad de agua.

Parámetro		Linear Regression	LeastMedSq	SMOreg	M5Rules	M5P
DBO	CC	0.80	0.79	0.78	0.78	0.78
	EA	6853.73	5483.65	5520.94	6806.83	6806.83
DQO	CC	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
	EA	26306.56	23828.91	58281.31	28631.49	28631.49
NITROS	CC	0.72	0.67	0.70	0.89	0.85
	EA	26.92	30.62	25.47	17.87	20.31
OD	CC	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98
	EA	2994.94	2157.55	2644.85	2402.92	2402.92
CT	CC	0.43	0.38	0.00	0.38	0.38
	EA	1.10E+17	9.52E+16	1.01E+17	1.16E+17	1.16E+17
SST	CC	0.86	0.84	0.84	0.84	0.84
	EA	57010.76	96426.59	94983.65	53427.41	53427.41
NITRATOS	CC	0.92	0.90	0.90	0.94	0.94
	EA	263.19	271.81	224.85	205.06	199.41

Para obtener una mejor decisión, se procedió a realizar una comparación gráfica de las proyecciones obtenidas por los algoritmos descritos en el capítulo 3, para su comparación y observar el que tiene un mejor ajuste con el observado. En la figura 4.6 se puede observar a manera de ejemplo la comparación gráfica para la variable de **DBO** en donde se muestra los datos observados vs los pronósticos de cada algoritmo podemos constatar que, el ajuste más próximo a los datos observados presenta el algoritmo LeastMedSq. Teniendo en cuenta que este algoritmo no presenta el mayor coeficiente de correlación pero si el menor error absoluto podemos decir que, el ajuste que este tiene con respecto a la observada es el más óptimo y por esta razón se decidió usar dicho algoritmo.

#### Ecuación 4.1:

$$\text{DBO} = 195.91 * Q + 242.63 * P + 1711.69 * \text{ET}_0 + 87.32 * T - 2221.23$$



**Figura 4.6:** Comparación grafica de algoritmos para DBO

De la misma manera como se indica para el DBO, se realizó un análisis para las diferentes variables de calidad de agua:

**DQO:** El ajuste que presenta Linear Regression es muy parecido a LeastMedSq, los cc y error absoluto no varían significativamente entre los diferentes algoritmos y por esta razón se comparó gráficamente y se demostró que un mejor ajuste presenta LeastMedSq.

#### **Ecuación 4.2:**

$$DQO = 2642.05 * Q - 855.42 * P + 1303.64 * ET_o + 4925.27 * T - 88095.97$$

**Nitritos:** se escogió la ecuación generada por el algoritmo SMOreg, esta integra todas las variables hidrometeorológicas, no posee un coeficiente de correlación muy diferente al obtenido con Linear Regression, pero si un error absoluto menor.

#### **Ecuación 4.3:**

$$\text{Nitritos} = 1.44 * Q + 0.15 * P + 6.40 * ET_o + 1.18 * T - 18.08$$



**Oxígeno Disuelto:** De acuerdo al menor error que presenta el algoritmo LeastMedSq y de la misma forma su cc, la gráfica nos demuestra que este algoritmo es el más óptimo en cuanto al ajuste que presenta con los datos observados.

**Ecuación 4.4:**

$$OD = 682.38 * Q - 7.63 * P - 398.47 * ETo + 59.53 * T - 71.66$$

**Coliformes Totales:** En este caso como podemos ver en la tabla de los cc y error, no hay valores altos como en los otros casos de las variables, esto se debería a que los CT se podrían diluir con el caudal y la autodepuración de los ríos en la época de crecidas podría disminuir los valores de estos. En cuanto a las gráficas, el mejor ajuste presentó el algoritmo Linear Regression.

**Ecuación 4.5:**

$$CT (NMP/100ML) = 1.32E+15 * Q + 1.72E+16 * P - 3.23E+16 * ETo + 4.91E+15 * T + 7.48E+15.$$

**Sólidos Suspendidos Totales:** A pesar que el Linear Regression arrojó varios resultados negativos (6 de 25 proyecciones), razón explicada anteriormente, se puede claramente observar que es capaz de modelar de mejor forma la carga de SST observada que los algoritmos que también integran todas las variables hidrometeorológicas, estos son: LeastMedSq y SMOreg.

**Ecuación 4.6:**

$$SST = 670.22 * Q + 61.17 * P + 1628.33 * ETo - 35.02 * T - 59.10$$

**Nitratos:** Para los nitratos, se escogieron las ecuaciones obtenidas por el algoritmo M5P, la ecuación muestra dos condiciones principales referidas al caudal y dentro de estas condiciones se especifican dos subcondiciones para cada una. A pesar de esto, el submodelo integra todas las variables hidrometeorológicas.

**Ecuación 4.7:**

Plantea dos condiciones y dos subcondiciones dentro de cada una.



### 1. Si Caudal $\leq 36.515$ (m<sup>3</sup>/s) y

1.1. Si caudal  $\leq 4.625$  (m<sup>3</sup>/s) entonces:

$$\text{Nitratos (Kg/día)} = 12.51*Q - 23.37 *P + 424.34*ETo - 76.32*T + 405.12$$

1.2. Si caudal  $> 4.625$  (m<sup>3</sup>/s) entonces:

$$\text{Nitratos (Kg/día)} = 12.38*Q - 27.15*P+ 424.34*ETo - 76.32*T+ 456.67$$

### 2. Si Caudal $> 36.515$ (m<sup>3</sup>/s) y

2.1. Si temperatura  $\leq 14.65$  °C entonces:

$$\text{Nitratos (Kg/día)} = 13.72*Q - 34.55*P+ 627.29*ETo - 360.99 *T + 5129.99$$

2.2. Si temperatura  $> 14.65$  °C entonces:

$$\text{Nitratos (Kg/día)} = 13.72 * Q - 34.55 * P+ 856.49 * ETo - 313.72 * T + 3730.11$$

En donde:

Q= caudal (m<sup>3</sup>/s)

P= precipitación (mm/día)

ETo= evapotranspiración de referencia (mm/día)

T= temperatura (°C)



Varias de las ecuaciones seleccionadas proyectan valores negativos de carga. Eventualmente esto no pasaría en la realidad por la razón explicada anteriormente en la sección 4.3.

De manera general, las ecuaciones generadas por los algoritmos Linear Regression, LeastMedSq y SMOreg relacionan el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos con las 4 variables hidrometeorológicas. No ha si los algoritmos M5Rules y M5P que los relacionan mayormente con el caudal, esto se debe a que la carga, por efectos de cálculo, está relacionada directamente con el mismo.

Para los **nitritos** los algoritmos M5P y M5rules, relacionan la carga con la evapotranspiración y el caudal; para el caso de la **DQO** y los **CT** relacionan a la carga únicamente con el caudal.

Para mayor detalle de lo anteriormente descrito, las corridas de Weka para los diferentes algoritmos se encuentran en los anexos C4.13, C4.14, C4.15, C4.16, C4.17, C4.18 y C4.19.

#### **4.4. Análisis estadístico de los resultados proyectados**

De los datos proyectados por cada modelo se obtuvieron diagramas de caja generales del mínimo, el primer y tercer cuartil, la mediana y el máximo para cada uno de los siete parámetros fisicoquímicos. Esto con el fin de resumir la gran cantidad de datos para su análisis. Al fin y al cabo el interés del presente estudio es el de llegar a estimar el impacto que el cambio climático produciría en los parámetros de la calidad del agua para la cuenca de Tomebamba en Monay, teniendo en cuenta el cambio en las variables hidrometeorológicas (caudal, temperatura, precipitación y evapotranspiración) estimado por los modelos de cambio climático para el escenario A1B.

De esta forma el análisis de las proyecciones obtenidas por cada submodelo se llevó a cabo en dos sentidos: la comparación de la carga modelada actual con la modelada futura (1964-1984, 2045-2065) y el cambio de cada parámetro



fisicoquímico referido a carga diaria (delta). Las gráficas a continuación son la representación de los datos presentes y de las proyecciones futuras.

**Tabla 4.8:** Valores de carga medios proyectados para el periodo de observación y los alcanzados por el mínimo, máximo, mediana y los cuartiles 1 y 3 de los modelos en el escenario A1B.

Parámetro	M067	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo
<b>DBO</b>	5036.60	586.60	3676.00	5604.60	8503.40	42403.40
<b>DQO</b>	40863.50	0.00	34609.70	55721.80	86404.80	381462.40
<b>Nitritos</b>	31.70	25.00	27.80	31.10	41.00	256.50
<b>OD</b>	14080.60	831.50	9313.20	15243.40	23676.30	108792.90
<b>CT</b>	6.34E+16	7.19E+15	4.72E+16	7.48E+16	1.35E+17	1.29E+18
<b>SST</b>	43389.70	0.00	3891.80	35387.10	68883.30	948440.70
<b>Nitratos</b>	218.90	0.00	90.70	151.00	217.60	642.40

Antes de realizar el análisis de las proyecciones, es necesario definir las condiciones climáticas e hidrológicas en base a las cuales se proyectará el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos. En la tabla 4.9 se muestran los rangos de caudal, precipitación, temperatura y evapotranspiración establecidos para las condiciones extremas (sequías e inundaciones) y las consideradas como normales. Como se indica en el punto 3.5, dichos rangos fueron establecidos realizando un análisis general de las proyecciones que los modelos usados por Mora, et al (2014) establecieron para el periodo futuro 2045-2065 en el escenario A1B para la cuenca de Tomebamba en Monay. Los resúmenes de las tablas se encuentran en los anexos C.4.9, C.4.10, C.4.11 y C.4.12





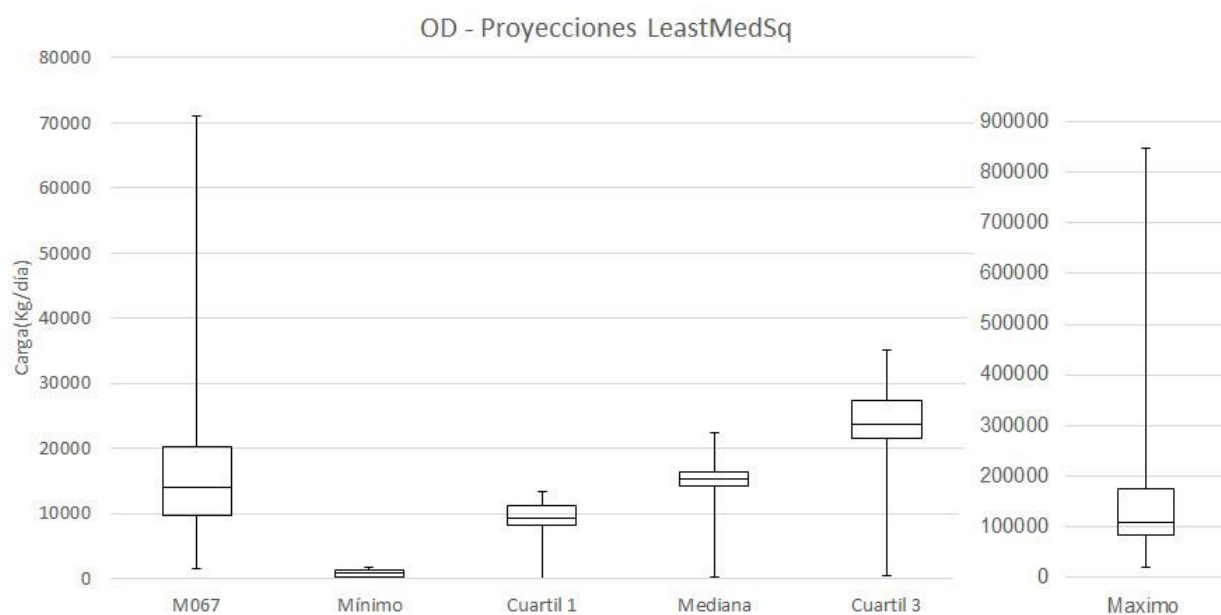
**Tabla 4.9:** Rangos hidrometeorológicos definidos para condiciones extremas y normales

Variables Hidrometeorológicas	Eventos Extremos		Condiciones Normales
	Sequía	Inundación	
		51.79 -	
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	0.00 – 2.73	1243.2	2.74 – 51.78
Precipitación (mm/día)	0.00	5.73 - 163.06	0.00 - 5.72
Temperatura (°C)	19.5 - 21.1	11.4 - 15.5	15.6 - 19.4
	2.822 -		
ETo (mm/día)	2.957	2.019 - 2.372	2.373 - 2.821

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, en las proyecciones del comportamiento de los parámetros fisicoquímicos, tanto la mediana como los cuartiles 1 y 3 se empatan con las condiciones normales mientras que los mínimos y máximos se relaciona con las extremas (sequía e inundación).

## OD

La figura 4.7 presenta el comportamiento futuro con respecto al presente (M067) para el oxígeno disuelto. Se observa que la variabilidad que existe entre el presente y futuro no cambia bruscamente y que podría estar disminuyendo. Hay que tener en cuenta el ligero cambio que se observa desde la media futura que aumenta con respecto a la mediana M067. Esto indica un ligero aumento a partir de la mediana futura, mientras que para el cuartil 1 y el mínimo disminuye. A partir del cuartil 3 se observa un cambio apreciable hasta el máximo proyectado, el mismo que presenta un gran aumento de carga y a su vez sus niveles de contaminación.



**Figura 4.7:** Proyecciones para el OD obtenidas mediante la ecuación establecida por el algoritmo LeastMedSq

Tanto la **DBO**, **DQO** y **CT** presentan un comportamiento similar al del OD (Anexos C.4.20, C.4.21, C.4.22 y C.4.23). Estas variables fisicoquímicas tienden a aumentar a partir de su mediana futura, mientras que para su mínimo y su primer cuartil la carga tienden a disminuir en comparación con M067. El comportamiento de los máximos es similar, teniendo en cuenta que su media supera el valor máximo de M067 presentando una mayor distribución de carga.

Los rangos y valores medios modelados para todos los parámetros se encuentran en las tablas 4.7 y 4.8.

### Nitratos

Para el caso de los Nitratos (anexo C.4.24), el rango que presenta M067 es de 843.58 Kg/día, con una mediana de 219 Kg/día, simétrica entre los cuartiles. Se puede apreciar que la carga se distribuye mayormente en un rango de entre 280 y 843 kg/día.

Considerando a los mínimos y máximos como eventos extremos, para el escenario A1B, la carga proyectada va desde ser nula a ser tan alta como los 1860 Kg/día. Al considerar el comportamiento de la mediana y los cuartiles futuros, se nota



claramente que su rango intercuartil es menor al que presenta M067, por lo que la variabilidad de los datos en estas proyecciones tiende a disminuir, se puede entonces considerar que para condiciones normales la carga futura tiende a ser menor que la actual modelada. No así para los mínimos y máximos.

### **Nitritos**

En el caso de los nitritos (anexo C.4.25), el cambio en condiciones normales es apenas diferenciable en comparación con las cargas proyectadas en condiciones extremas. A diferencia de los nitratos, en los cuales los modelos proyectan un mínimo nulo, los nitritos no presentan un cambio considerable en condiciones mínimas. Tanto en el primer cuartil como la mediana se nota una tendencia simétrica. Un verdadero aumento empieza a percibirse en el tercer cuartil, su mediana se aleja de la observada en M067, presentando una tendencia a incrementar, además de una variabilidad de datos mayor a las que presentan las tres condiciones predecesoras. Para eventos extremos (incremento de caudal y precipitación) se proyecta un aumento muy notable, estando la mayor parte de los datos distribuidos sobre los 290 Kg/día.

Hay que recordar que la DBO, los Nitritos y Nitratos, tienen una relación inversamente proporcional al caudal y precipitación observados y directa con la temperatura y evapotranspiración potencial, es el hecho de transformarlos a carga lo que cambia la situación.

### **Sólidos Suspendidos Totales**

Los SST (anexo C.4.26) presentan un comportamiento similar al de los nitratos, dando proyecciones nulas y máximas exageradas para condiciones extremas, en condiciones normales la diferencia de las cargas observadas con los máximos proyectados hacen apenas notables el comportamiento de la carga, sin embargo esta tiende a disminuir, no llegando la carga del tercer cuartil proyectado a superar al observado, se puede distinguir claramente que en estas condiciones la variabilidad disminuye. Es solo en los máximos donde se presenta un verdadero



incremento, siendo su mediana superior a la carga máxima modelada para M067, y siendo la mayor distribución de sus cargas superior a 1.00E+6 kg/día.

#### 4.4.1. Análisis de proyecciones considerando el cambio climático en la calidad del agua

La representación de los deltas nos da una idea de lo que ocurrirá en los años futuros (2045 – 2065) teniendo en cuenta el cambio climático para los mismos años y teniendo en cuenta el escenario A1B (lo que trata específicamente el presente estudio). A continuación se muestran las gráficas delta de cada variable mencionadas en capítulos anteriores.

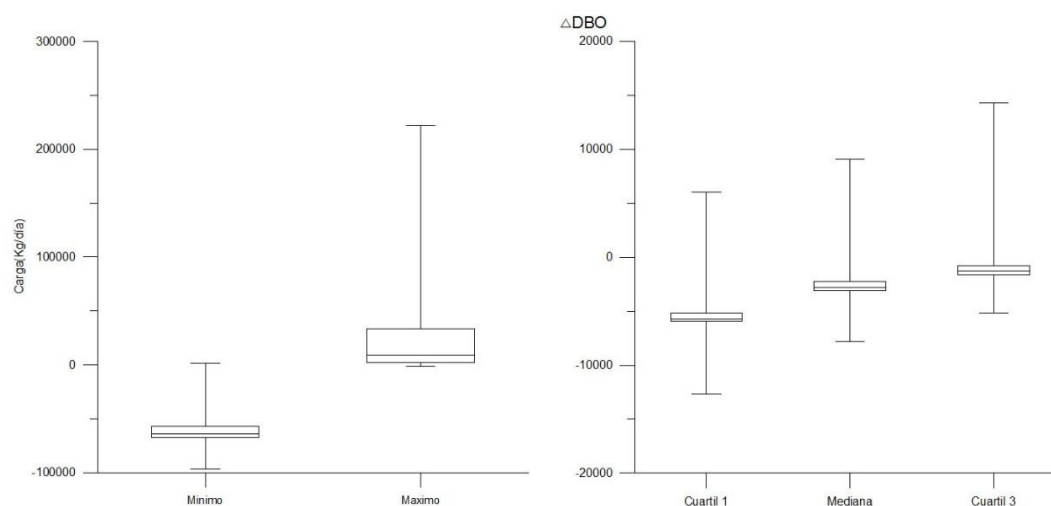
**Tabla 4.10:** Valores de carga medios proyectados para los deltas alcanzados por el mínimo, máximo, mediana y los cuartiles 1 y 3 considerando el cambio climático.

Parámetro	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo
<b>DBO</b>	-63988.9	-5693.2	-2777.2	-1270.7	9409.9
<b>DQO</b>	-9734.0	30444.2	50245.9	77572.7	357599.0
<b>Nitritos</b>	-79.8	-20.3	-11.7	-7.4	48.5
<b>OD</b>	-52517.2	-3987.4	-1011.4	1621.3	18045.4
<b>CT</b>	-1.63E+09	-8.38E+07	2.19E+07	1.07E+08	6.32E+08
<b>SST</b>	-2.20E+05	-1.04E+04	-5.90E+03	0.00E+00	2.77E+05
<b>Nitratos</b>	-203.5	55.6	63.9	78.8	619.1

#### Delta DBO

El delta DBO (figura 4.8) nos indica que en los medios el comportamiento no cambia significativamente, pero pudiendo observar un aumento mínimo, y que tiende a aumentar. Podemos observar que esta variabilidad de carga se encuentra entre un rango de  $\pm 10000$  Kg/día. La carga tiende a un comportamiento diferente para los eventos extremos, así podemos decir que se tiene un gran cambio, en épocas de

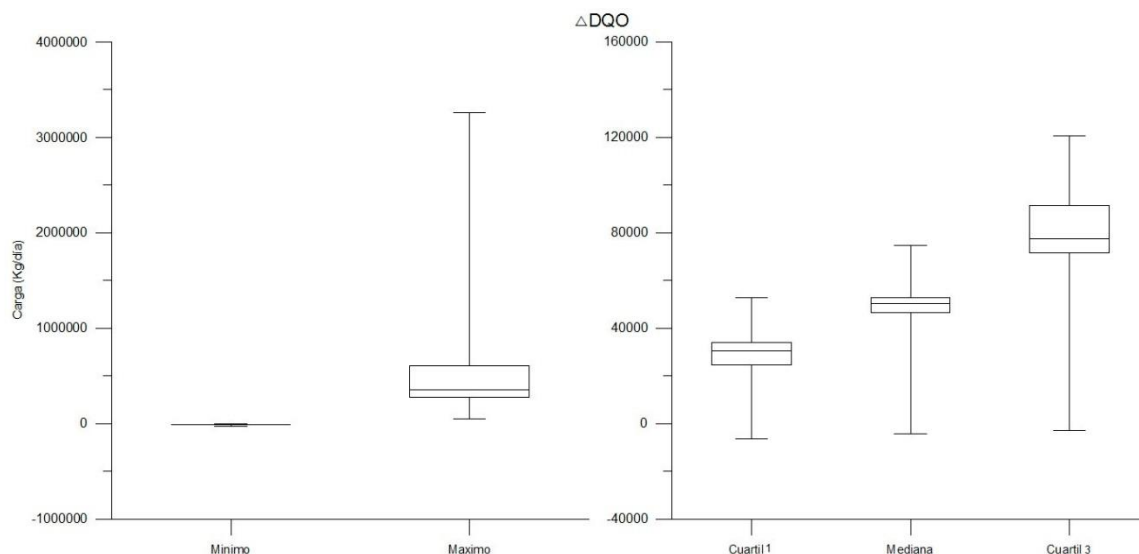
sequía la DBO disminuye y en inundaciones aumenta, teniendo en cuenta que la diferencia que existe en la época de sequía e inundaciones no es igual, comparando con el cero absoluto, donde esta última es donde si aumenta significativamente la carga de DBO llegando a superar la carga de 200000Kg/día.



**Figura 4.8:** Delta proyectado para el escenario A1B referente a la DBO

### Delta DQO

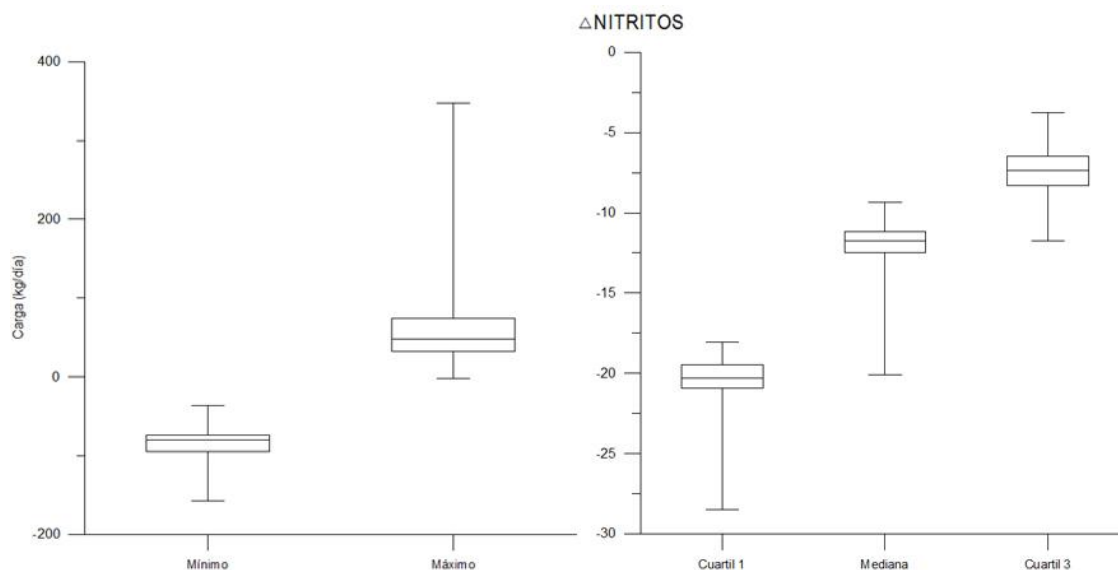
Con respecto al delta DQO (figura 4.9) las predicciones son diferentes a las del DBO, las predicciones muestran un aumento para condiciones normales. Su mediana y tercer cuartil tienden a un aumento de carga, observando así que los valores de la mediana para el tercer cuartil sobrepasan al valor máximo de la mediana, a su vez esta sobrepasa el valor máximo del primer cuartil cercano a 200000Kg/día. Para los valores extremos, como es el caso de los eventos de sequía se mantendrá constante, cerca del cero absoluto e incluso en cero, pero la carga aumentan desde los medios hasta llegar al extremo (inundaciones) que es donde aumenta significativamente la carga de la DQO a 357599 Kg/día (sin despreciar los resultados que se pueden ver para condiciones normales), esta cifra nos da una idea de la contaminación futura y la disminución de la calidad del agua.



**Figura 4.9:** Delta proyectado para el escenario A1B referente a la DQO

**Delta Nitritos**

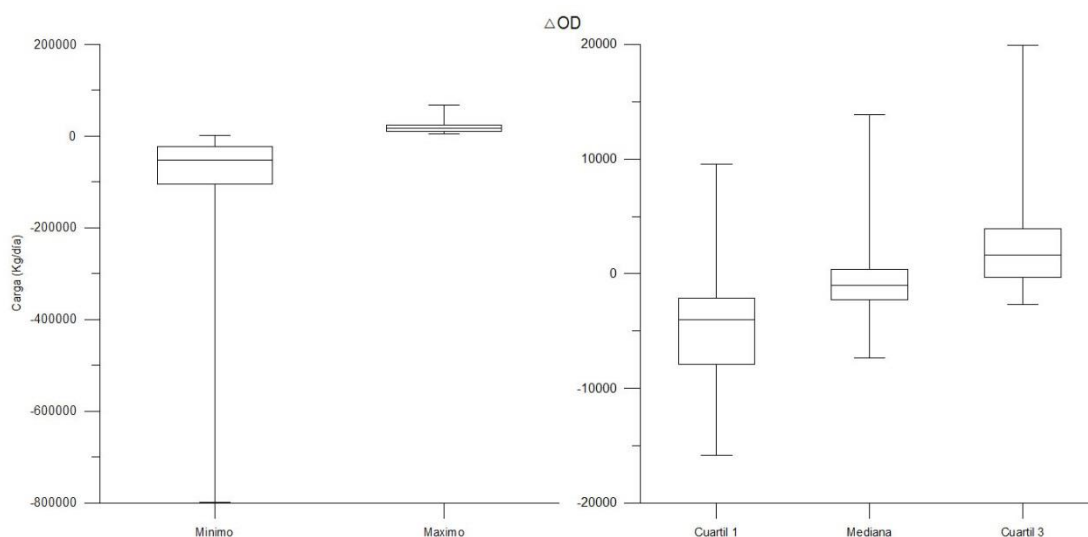
El delta para los nitritos (figura 4.10) indica que tan solo los valores máximos proyectados tienen un incremento positivo. Bajo condiciones mínimas y normales el cambio es negativo, lo cual quiere decir que la carga en estas condiciones disminuirá. En esta gráfica se puede ver que teniendo en cuenta el cambio climático las condiciones solamente varían en los extremos proyectados.



**Figura 4.10:** Delta proyectado para el escenario A1B referente a Los nitritos

## Delta OD

En el oxígeno disuelto (figura 4.11) las condiciones varían considerablemente en los medios y extremos, en los medios podemos ver que disminuye notablemente para el cuartil 1 y aumenta en la media y aún más para el cuartil 3, sin despreciar que sus medianas están por debajo de cero y que presenta una mayor distribución de carga para valores positivos, llegando a un máximo de 20000Kg/día para su tercer cuartil. En eventos de sequía podemos observar la disminución de carga, y la variabilidad para inundaciones no es muy apreciable si se tiene en cuenta la disminución para su mínimo. Los valores máximos llegarían al rededor de 100000Kg/día.



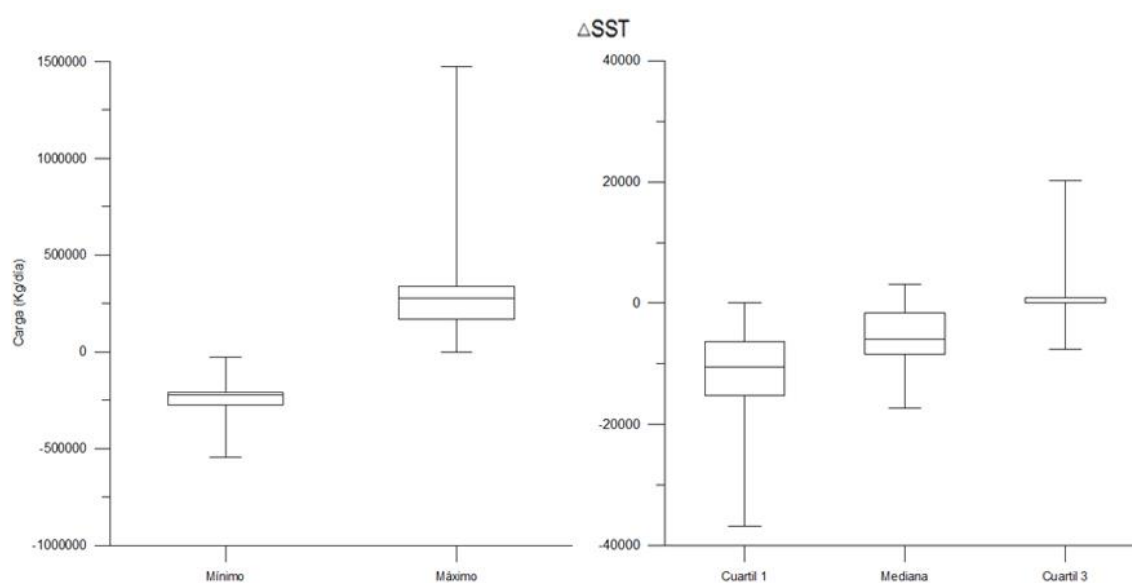
**Figura 4.11:** Delta proyectado para el escenario A1B referente al OD

## Delta Coliformes Totales

Los Coliformes totales (anexo C4.31) presentan mucha similitud al OD en cuanto a comportamiento, sin dejar a un lado las unidades y cifras que implican, estas dos gráficas se comportan de la misma manera, en épocas de sequía es donde más cambios se darán en los años futuros, pero sin dejar a un lado los medios que es donde también varía, el mínimo es muy amplio y se puede ver que existirá una gran disminución del mismo en sequías.

## Delta Sólidos Suspendidos Totales

El cambio en la carga de SST (figura 4.12) para el escenario A1B, indica que, eventualmente para condiciones mínimas extremas y normales, esta disminuirá. Solo en condiciones máximas la carga incrementa considerablemente. Lógicamente si existe un incremento de caudal y precipitación se propiciaría el arrastre de sedimentos, lo cual propiciaría el incremento de los SST en el cauce.



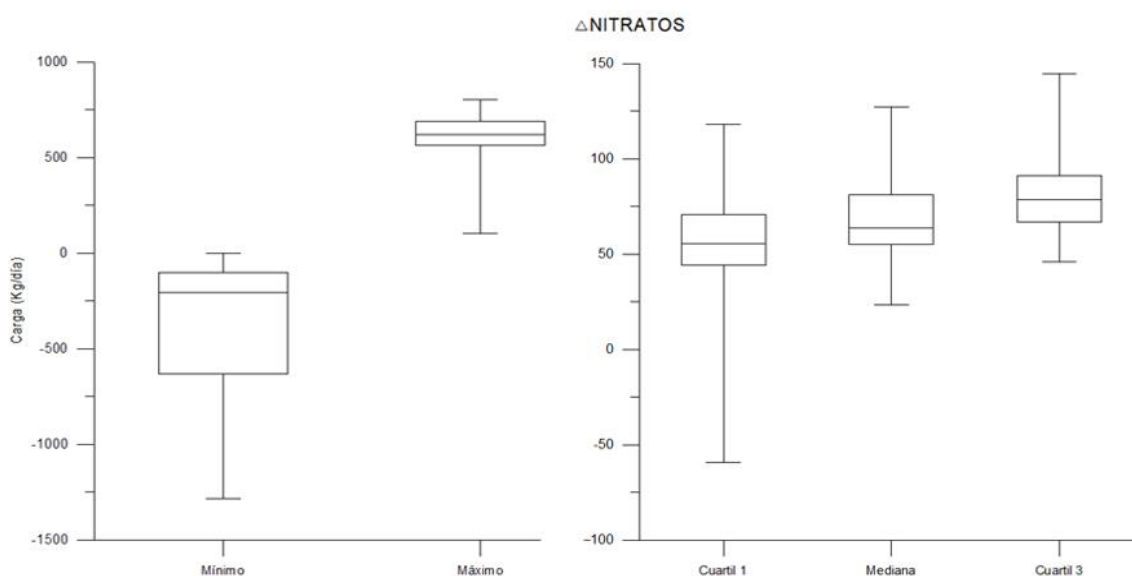
**Figura 4.12:** Delta proyectado para el escenario A1B referente a los SST

El análisis comparativo se realiza en relación al aumento o disminución que proyectan los modelos para el escenario A1B teniendo como referencia a 0 Kg/día.

## Delta Nitratos

Para los nitratos (figura 4.13) ya se puede observar un cambio extremo negativo y positivo para cargas mínimas y máximas, tendiendo la segunda una distribución mucho más amplia en el 25 % de los datos pero tendiendo una tendencia. En condiciones medias, se puede observar un ligero aumento, sin embargo, la tendencia de los datos tiende a disminuir.





**Figura 4.13:** Delta proyectado para el escenario A1B referente a los nitratos

Los resúmenes de los datos correspondientes a los deltas se encuentran en los anexos C.4.27 al C.4.34.

#### 4.4.2. Cambios esperados para el futuro

De manera general se puede pronosticar, según el análisis de este estudio, que la preocupación principal sobresale en los eventos extremos (sequías e inundaciones), que es donde principalmente se puede observar cambios con respecto a la situación actual. Según el punto 4.3.2 el comportamiento para la DQO y CT son bastante similares, habiendo ligeros cambios entre sí, pero teniendo en cuenta que en condiciones normales dichos cambios también son significativos, en cuanto a nitratos se puede decir que existe una ligera reducción en condiciones normales. Los nitritos y sólidos suspendidos totales aumentan cuantiosamente para eventos extremos. Según el punto 4.3.3, que es donde se considera el cambio climático, son diferentes los resultados para cada parámetro fisicoquímico. La DBO cambia notablemente en condiciones normales, comparando con las predicciones históricas, pero la preocupación radica en los eventos extremos, principalmente en inundaciones, que es donde existe un aumento de la DBO. La DQO presenta un aumento en condiciones normales, observando un aumento y disminución de este



---

parámetro fisicoquímico en eventos extremos; la preocupación radica en las inundaciones que es donde existe un aumento considerable. Los nitritos presentan un cambio alarmante solo para condiciones de inundación. Los SST solo presentan un aumento en inundaciones, que es donde se debe centrar la atención ya que la carga es considerable para dicho evento. Los nitratos tienden a aumentar en condiciones normales, debemos priorizar nuestra atención en estas condiciones, en sequías disminuye notablemente y en inundaciones presenta el aumento de los mismos.



---

## CAPITULO 5

### 5. CONCLUSIONES, OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

La presente tesis fue desarrollada en base a la utilización de la minería de datos mediante el software WEKA, encontrando de esta manera relaciones matemáticas (ecuaciones) entre los parámetros fisicoquímicos y las variables hidrometeorológicas para las fechas de monitoreo detalladas en este estudio. Esto permitió aplicar a dichas ecuaciones los valores observados de las variables hidrometeorológicas y proyecciones para el escenario A1B para la cuenca de Tomebamba en Monay para los periodos 1964-1984 y 2045-2065 respectivamente. Según estas actividades, se pudo modelar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del agua en los periodos observados y estimar el impacto que el cambio climático tendrá sobre la calidad del agua en la cuenca de estudio para periodos futuros.

El análisis de minería de datos mediante sus diferentes funciones (algoritmos) nos ayudó a encontrar las relaciones que más se ajustan a las condiciones observadas, obteniendo así un submodelo de calidad de agua. Las ecuaciones son una de las principales herramientas usadas en este estudio y gracias a su efectividad se consiguió modelar y tener un ajuste óptimo con respecto a la observada.

El análisis del impacto del cambio climático en la calidad del agua de la cuenca Tomebamba en Monay se realizó en base al comportamiento modelado de los parámetros fisicoquímicos (DQO, DBO, OD, CT, SST, Nitratos y Nitritos) en relación con las variables hidrometeorológicas (Caudal, Precipitación, Temperatura y evapotranspiración de referencia). En este sentido, se puede concluir que los mayores cambios se presentaran en eventos hídricos extremos (sequías e inundaciones), en estas condiciones los parámetros del agua analizados, a excepción de la DQO y el OD, tienen respectivamente un decremento e incremento exagerado de carga. Las proyecciones muestran que en eventos de sequía la DQO



se mantendría constante, e incrementaría ampliamente para eventos de inundación; por otro lado, el OD no cambiaría en gran manera en eventos de inundación, pero tendría un descenso muy notable en sequías.

Teniendo en cuenta que los parámetros hidrometeorológicos están fuertemente influenciados con el caudal y la precipitación, mientras que con la evapotranspiración y temperatura no es muy evidente, se puede observar que las gráficas para condiciones normales y extremas presentan una tendencia similar a las proyectadas en este estudio.

En condiciones normales, la calidad del agua proyectada disminuye con respecto a la DQO, CT y Nitratos, esto debido a que las mismas presentan un cambio positivo. En cuanto a los Nitritos y SST, bajo las mismas condiciones, las proyecciones muestran que la calidad del agua referente a estos parámetros se incrementa. Tanto la DBO como el OD, presentan un comportamiento singular ya que para condiciones normales, si bien la medida de tendencia central está por debajo de cero, indicando una disminución de carga, se pueden presentar cambios positivos, pero, de manera general estas tienden a disminuir.

La disminución de la calidad del agua y los eventos extremos excesivos son evidencia clara de lo que el cambio climático puede provocar en el futuro. Entonces, podemos decir que el cambio climático está influenciando directamente a los parámetros hidrometeorológicos y estos a su vez influyen las variables fisicoquímicas del agua.

## **5.2. Observaciones**

En primera instancia, es importante reconocer que un modelo de cualquier tipo tiene siempre un grado de incertidumbre y sus resultados serán únicamente aproximados a la realidad. A pesar de la buena calidad de los datos disponibles para establecer un modelo, los valores resultantes serán solo valores estimados. Esto sin embargo no disminuye la utilidad que tienen en la actualidad como herramientas de prevención y de toma de decisiones. También se debe tener en cuenta los avances



tecnológicos empleados para dichos modelos, estos avances han sido de gran ayuda para poder tener mejores resultados en dichas proyecciones.

Los datos climáticos de temperatura y ETo usados en las modelaciones no poseen una escala diaria sino mensual, sin embargo a pesar de dicha limitación, los resultados fueron aceptables y de gran valor como aporte científico.

Al considerar únicamente la contaminación difusa se podría obtener mejores proyecciones, ya que esta contaminación sería la resta de la contaminación total menos la contaminación puntual. La contaminación puntual esta propensa a mayores cambios que la contaminación difusa y los modelos empleados en este estudio no estiman especialmente esta consideración. Considerar la contaminación total hace que el nivel de incertidumbre aumente. Las predicciones de este estudio dependen netamente del cambio en las condiciones hidrometeorológicas. Las tasas de contaminación antropogénica se consideran como estables (no aumentan ni disminuyen), esta consideración hace que las mismas no se tomen en cuenta dentro del estudio.

Los monitoreos y la colección de muestras de agua para los análisis de laboratorio fueron realizadas en diferentes épocas distribuidas en 3 años diferentes, esto afecta la calidad de los submodelos establecidos mediante la minería de datos y por ende las proyecciones que estos realizan.

Hay que considerar el hecho de que el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del agua está influenciado por numerosas variables, no solo climáticas o hídricas, como las edafológicas, la polución atmosférica, entre otras. Esta es otra dificultad que presentan las predicciones de este estudio, las mismas que podrán ser analizadas en estudios futuros.

### **5.3. Recomendaciones**

Dada la importancia actual de prever el comportamiento de los componentes físicos, químicos y biológicos del agua ante eventos no tan solo climáticos sino también ante alteraciones antrópicas, desarrollar modelos o submodelos (en caso



de especificidad), desempeñaría un papel transversal en la toma de decisiones en la gestión de los recursos hídricos.

Resulta muy importante contar con una base de datos a escala diaria, sería muy interesante establecer submodelos usando valores diarios de concentración o carga referente a los parámetros fisicoquímicos del agua en periodos más extensos y constantes. Esto sin duda requeriría del talento humano y los recursos económicos necesarios. Sin embargo los resultados obtenidos tendrían una utilidad muy amplia e importante no solo para el estudio de una cuenca sino también para su correcto desarrollo o manejo.

Para próximos análisis resultaría de mucho interés considerar la contaminación difusa como fuente principal y conjuntamente la total, esta diferencia entre el análisis nos daría una idea más clara de la influencia humana y de algunas industrias en la cuenca de estudio.

La presente investigación no contempló el uso de algún índice de calidad de agua (ICA), por lo que la estimación del impacto del cambio climático se realizó en base al comportamiento que tienen los 7 parámetros fisicoquímicos establecidos en el estudio. Por ello resultaría enriquecedor usar un ICA en estudios semejantes a este.

Valdría la pena llevar a cabo un análisis más zonal, es decir, estudiar zonas que no estén tan eclipsadas por la influencia urbana, agrícola, industrial, entre otras o estudiar cada una por separado. Es probable que se obtengan mejores resultados si se analizan cuencas pequeñas. Se podría realizar un análisis más extenso estudiando cuencas por separado.

Se debería tener en consideración, no simplemente los parámetros hidrometeorológicos (caudal, precipitación, temperatura y evapotranspiración de referencia) presentes en este estudio, sino también los parámetros edafológicos, contaminación atmosférica, uso de suelos, entre otros. Los mismos que son de gran importancia para el diagnóstico de una cuenca y la contaminación presente en la misma, según estas consideraciones se podría proyectar la contaminación, con ajuste mayor al de este estudio, mediante el uso de modelos.



---

## BIBLIOGRAFÍA

- Allen, G.R., Pereira L.S., Raes, D., S. Martin, 1998. Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Roma, 300 págs.
- Bartram, J., y Ballance, R., 1996. *Water Quality Monitoring: A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes* (Vol. I). London, UK: CRC Press.
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S. y Palutikof, J.P., Eds., 2008: El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra, 224 págs.
- Buytaert, W., Céleri, R., y Luis, T., 2009. Predicting climate change impacts on water resources in the tropical Andes: Effects of GCM uncertainty. *Geophysical research letters*, 36, 1-5.
- Cáceres, L., Mejía, R., y Ontaneda, G., 1998. Evidencias del cambio climático en el ecuador. *bull. inst. fr. etudes andines*, 547-555.
- Campos, I., 2003. *Saneamiento Ambiental*. San Jose: EUNED.
- Céleri, R., Willems, P., y Freyen, J., 2010. Evaluation of a data-based hydrological model for simulating the runoff of a medium sized Andean basins. *Maskana*, 1, 69-77.
- Chapra, S. C., 2008. *Surface Water-Quality Modeling*. United States of America: Waveland Press.
- CIGAE., 1998. Metodología para la Evaluación Aproximada de la Carga Contaminante. La Habana, Cuba.
- Cisneros, F., Wyseure, G., y Willems, P., 2012. Statistical Analysis on the Performance of Global and Regional Climate Models for the Paute River



Basin in the South-Ecuadorian Andes. *Proceedings of 10th International Conference on Hydroinformatics*. Hamburg.

Clement, J., Powell, J., Brandt, M., Casey, R., y Holt, D., 2005. *Predictive Models for Water Quality in Distribution Systems*. London, UK: American Water Works Association.

Dam, J. C., 2003. *Impacts of Climate Change and Climate Variability on Hydrological Regimes*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.

Duarte C. M., S. A., 2006. *Cambio global Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Fattorelli, S., y Fernández, P. C., 2011. *Diseño Hidrológico* (Segunda ed.). Neerlandés-Zaragoza: WASA-GN.

González, Hari., 2011. Información histórica de la calidad del agua de los ríos de Cuenca. Subgerencia de Gestión Ambiental de ETAPA. Cuenca.

Grayman, W. M., 1999. *Water Quality Modeling of Distribution System Storage Facilities*. United States of America: American Water Works Association.

Harvey, J. G., 1997. *Introducción a los modelos climáticos simples utilizados en el Segundo Informe de Evaluación del IPCC*.

Heras, R., 1972. *Manual de Hidrología*. Dirección General de Obras Hidráulicas. Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid

Herzog, S. K., Martinez, R., Jorgensen, P. M., y Tiessen, H., 2011. *Cambio Climático y Biodiversidad de los Andes Tropicales*. París.

IPCC., 2000. Escenarios de Emisiones. Informe especial del Grupo de trabajo III del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Nairobi.





- IPCC., 2001. *Tercer Informe de Evaluación Cambio Climático, Impactos Adaptación y Vulnerabilidad*.
- Liu, T., Willems, P., Pan, X. L., Bao, A. M., Chen, X., Veroustraete, F., y Dong, Q. H., 2011. Climate change impact on water resource extremes in a headwater region of the Tarim basin in China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 3512-3527.
- Luceño, A., y Gonzáles, F., 2006. *Métodos estadísticos para medir, describir y controlar la variabilidad*. Santander: Universidad de Cantabria.
- Manivanan, R., 2008. *Water Quality Modeling: Rivers, Streams, and Estuaries*. Delhi: New India Publishing.
- Mora, D., y Willems, P., 2011. Decadal oscillations in rainfall and air temperature in the Paute River Basin—Southern Andes of Ecuador. *Springer*, 267-282.
- Mora, D., Campozano, L., Cisneros, F., Wyseure, G., y Willems, P., 2014. Climate changes of hydrometeorological and hydrological extremes in the Paute basin, Ecuadorean Andes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 631–648.
- Murdoch, Peter S., Baron Jill S., and Miller, Timothy L., 2000. Potential effects of climate change on surface-water quality in North America. *The American Water Resources Association*, 36 (2), 347- 366.
- Nash, J.E., I.V. Sutcliffe., 1970. River flow forecasting through conceptual models. *J. Hydrol.*, 273, 282-290.
- Nieto, J. J., Martínez, R., Regalado, J., y Hernández, F., 2002. Análisis de tendencia de serie de tiempos oceanográficas y meteorológicas para determinar evidencias de Cambio Climático en la costa del Ecuador. *Acta Oceanografica del Pacífico Vol 11, N.-1*, (págs. 17-21).
- Noboa, y Jiménez, S., 2010. *Observatorio Política Ambiental*. Obtenido de <http://www.observatoriopoliticaambiental.org/editorial-feed/123-la-politica-de-cambio-climatico-en-ecuador#!editoriales/c1iuz>



- 
- Novotny, V., 2003. *Water Quality: Diffuse Pollution and Watershed Management*. New Jersey, USA: John Wiley y Sons.
- Palmer, M. D., 2001. *Water Quality Modeling: A Guide to Effective Practice*. Washington, D.C.: World Bank Publications.
- Porrut, P., Róvere, O., Romo, I., & Villacrés, H., 1995. *El Agua en el Ecuador*. Quito: Corporación editorial nacional.
- Rodríguez, E. S., 2004. *Modelación del proceso lluvia escorrentía usando sistemas de información geográfica*. Universidad de Piura, Departamento de Ingeniería Civil, Piura.
- Quichimbo, A., Vázquez, R., y Samaniego, E., 2013. Aplicabilidad de los modelos NAM y DBM para estimar caudales en subcuencas alto andinas de Ecuador. MASKANA, IV(2), 85-103
- Rojasa, A. F., González, J. D., Rodríguez, E. A., y Camacho, L. A., 2011. Aplicación de Modelos Simplificados lluvia-escorrentía en una Microcuenca Urbana. Caso de Estudio Campus Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Bogotá, Colombia.
- Taye M. T., N. V., 2011. Assessment of climate change impact on hydrological extremes in two source regions of the Nile River Basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 209-222.
- The University of Waikato., 2014. *www.cs.waikato.ac.n*. Recuperado el 2 de Octubre de 2014, Obtenido de <http://www.cs.waikato.ac.nz/~ml/weka/index.html>
- Vallegos, S. J., 2006. Trabajo de adscripción minería de datos. Corrientes, Argentina.
- Vázquez, R. F., 2010. Modelación hidrológica de una microcuenca Altoandina ubicada en el Austro Ecuador. Maskana, I, 79-90.



---

Vázquez, R.F., Feyen, J., 2003. Effect of potential evapotranspiration estimates on effective parameters and performance of the MIKE SHE-code applied to a medium-size catchment. *J. Hydrol.*, 270, 309-327.

Barros, V., 2005. *El Cambio Climático Global*. Buenos Aires: 2ª ed. Zorzal.

Whitehead, R. L. Wilby, R. W. Battarbee, M. Kernan y A. J. Wade 2009 A review of the potential impacts of climate change on surface water quality, *Hydrological Sciences Journal*, 54:1, 101-123.

Willems, P. 2014. Parsimonious rainfall–runoff model construction supported by time series processing and validation of hydrological extremes – Part 1: Step-wise model-structure identification and calibration approach. *Journal of Hydrology*, 578–590.

Willems, P., Mora, D., Vansteenkiste, T., Taye, M. T., y Steenbergen, N. V. 2014. Parsimonious rainfall-runoff model construction supported by time series processing and validation of hydrological extremes – Part 2: Intercomparison of models and calibration approaches. *Journal of Hydrology*, 591-609

## ANEXOS

## ANEXO C3.1: Resumen de la precipitación registrada (1964-1984) por la estación del Labrado y las proyecciones futuras (2045-2065)

Modelos	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo	
bccr_bcm2_0_run1	0	0.621951466	1.768653985	5.204379689	84.54151175	
cnrm_cm3_run1	0	0.380259587	1.539748293	4.752311165	122.6929924	
giss_aom_run1	0	1.175222596	2.27029697	5.901735962	109.341394	
miroc3_2_hires_run1	0	0.5	1.768394477	6.016711303	103.964119	
miroc3_2_medres_run1	0	0.679444691	1.912036342	5.60835909	137.1304754	
miroc3_2_medres_run2	0	0.792921516	1.878039264	6.196081726	118.2388129	
mpi_echam5_run4	0	0.731835945	1.601466313	5.399521724	113.3095084	
cccma_cgcm3_1_run1	0	0.918936683	2.083341599	5.521581167	105.9897339	
cccma_cgcm3_1_run2	0	0.914519067	2.18999457	5.533270689	106.9122518	
cccma_cgcm3_1_run3	0	1.030120406	1.944202225	5.589955137	101.8348136	
cccma_cgcm3_1_t63_run1	0	0.5	1.570777181	5.070554297	126.0322392	
csiro_mk3_0_run1	0	0.934574521	1.86239687	5.72402506	103.9329767	
csiro_mk3_5_run1	0	0.721561294	2.757208002	6.432981637	125.0397496	
gfdl_cm2_0_run1	0	0.476639235	1.645762817	4.769757882	273.0618801	
iap_fgoals1_0_g_run1	0	1.177336842	2.283748721	5.768463987	97.0125705	
iap_fgoals1_0_g_run2	0	1.453255839	2.44740886	6.018786201	173.4891707	
iap_fgoals1_0_g_run3	0	1.132377535	2.132721652	5.723449803	90.3821829	
inmcm3_0_run1	0	0.670896499	1.779901445	5.282935381	111.0339272	
mri_cgcm2_3_2a_run1	0	1.07224384	2.270561467	6.54062921	155.9648348	
mri_cgcm2_3_2a_run2	0	0.921481108	1.990624798	6.676351833	125.0126771	
mri_cgcm2_3_2a_run3	0	1.106078162	2.355759914	5.898320394	115.9693038	
mri_cgcm2_3_2a_run4	0	0.938047559	2.43429484	6.701222054	110.6790305	
mri_cgcm2_3_2a_run5	0	1.085151141	2.263047869	6.442519307	104.9156972	
ncar_ccsm3_0_run3	0	0.723591152	1.603587173	6.217649907	103.6145097	
ncar_ccsm3_0_run5	0	0.5	1.465213595	5.635215926	108.6403906	
ncar_ccsm3_0_run6	0	0.620492914	1.365520265	5.888164861	97.44710516	
ncar_ccsm3_0_run7	0	0.685876786	1.608556352	5.78362219	109.794343	
ncar_ccsm3_0_run8	0	0.549876887	1.681505224	5.854915691	109.4716666	
ncar_pcm1_run1	0	0.788664816	1.945822688	5.268890039	93.79937236	
ingv_echam4_run1	0	1.073073984	2.375153269	6.161773018	80.70334375	
ipsl_cm4_run1	0	0.752547171	2.568008297	6.010255216	234.4250063	
miub_echo_g_run1	0	0.718596523	1.872777053	6.746002347	93.86896108	
miub_echo_g_run2	0	0.815634921	2.173539314	5.960237909	117.8959721	
miub_echo_g_run3	0	0.911782382	2.122488072	6.054388327	125.3962039	
	M141*					
Mínimo	0.01	0	0.380259587	1.365520265	4.752311165	80.70334375
Cuartil 1	0.80	0	0.673033547	1.703227537	5.547441801	103.6941265
Mediana	2	0	0.790793166	1.945012457	5.871540276	109.6330048
Cuartil 3	5.4	0	1.007102195	2.268484694	6.134926845	124.432756
Máximo	95.3	0	1.453255839	2.757208002	6.746002347	273.0618801

\* M141 corresponde al código asignado por el INAMHI para esta estación.



**ANEXO C3.2: Resumen de la precipitación registrada (1964-1984) por la estación del aeropuerto Mariscal Lamar y las proyecciones futuras (2045-2065)**

Modelos	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo
bccr_bcm2_0_run1	0	0	0	1.623087776	94.87345948
cnrm_cm3_run1	0	0	0	1.397889405	167.2853951
giss_aom_run1	0	0	0.1	2.55034069	67.19749165
miroc3_2_hires_run1	0	0	0	2.444707574	85.44999247
miroc3_2_medres_run1	0	0	0	1.908182961	62.56588211
miroc3_2_medres_run2	0	0	0.000112478	2.222316345	80.04296187
mpi_echam5_run4	0	0	0	2.003129549	57.84229417
cccma_cgcm3_1_run1	0	0	0.1	2.146605364	82.91311631
cccma_cgcm3_1_run2	0	0	0.1	2.195773174	91.51101871
cccma_cgcm3_1_run3	0	0	0.1	2.292214542	97.54263095
cccma_cgcm3_1_t63_run1	0	0	0	1.731633639	120.8208698
csiro_mk3_0_run1	0	0	0.091020361	2.323560259	57.13066923
csiro_mk3_5_run1	0	0	0	3.532799464	58.75898252
gfdl_cm2_0_run1	0	0	0	1.566038952	216.088152
giss_model_e_r_run1	0	0	0	0	7.104390091
iap_fgoals1_0_g_run1	0	0	0.1	2.253496735	77.04698186
iap_fgoals1_0_g_run2	0	0	0.1	2.434611748	57.36075193
iap_fgoals1_0_g_run3	0	0	0.1	2.341905227	58.68276229
mri_cgcm2_3_2a_run1	0	0	0.1	3.315778882	75.05859404
mri_cgcm2_3_2a_run2	0	0	0.1	3.322902049	72.32856127
mri_cgcm2_3_2a_run3	0	0	0.1	2.964545715	122.8133683
mri_cgcm2_3_2a_run4	0	0	0.1	3.433294154	73.64117638
mri_cgcm2_3_2a_run5	0	0	0.1	3.339019148	76.00520315
ncar_ccsm3_0_run3	0	0	0	2.178396128	58.13825305
ncar_ccsm3_0_run5	0	0	0	2.339319137	55.73687321
ncar_ccsm3_0_run6	0	0	0	2.652936736	58.70484147
ncar_ccsm3_0_run7	0	0	0	2.407958667	63.83867754
ncar_ccsm3_0_run8	0	0	0	2.709570373	57.83405027
ncar_pcm1_run1	0	0	0	1.9631434	59.58592901
ingv_echam4_run1	0	0	0	2.724298582	72.69835621
ipsl_cm4_run1	0	0	0	2.944153145	202.556169
miub_echo_g_run1	0	0	0	2.633702025	66.60972719
miub_echo_g_run2	0	0	0	2.619750082	65.16873592
miub_echo_g_run3	0	0	0	2.719095078	75.71631074
	M067*				
Mínimo	0	0	0	0	7.104390091
Cuartil 1	0	0	0	2.154553055	58.71837673
Mediana	0.1	0	0	2.374931947	72.51345874
Cuartil 3	2	0	0.1	2.716713902	84.81577343
Máximo	57.2	0	0.1	3.532799464	216.088152

\* M067 corresponde al código asignado por el INAMHI para esta estación.



**ANEXO C3.3:** Resumen de la precipitación registrada (1964-1984) por la estación Cochapamba-Quingeo y las proyecciones futuras (2045-2065)

Modelos	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo
bccr_bcm2_0_run1	0	0	0.2	1.69547047	53.3353385
cnrm_cm3_run1	0	0	0.2	1.29807029	64.6309684
giss_aom_run1	0	0.1	0.30000001	2.10654682	53.540633
miroc3_2_hires_run1	0	0	0.2	2.37046152	67.1765807
miroc3_2_medres_run1	0	0	0.3	1.86985768	63.7663749
miroc3_2_medres_run2	0	0	0.30000001	2.16793986	76.4864743
mpi_echam5_run4	0	0	0.30000001	1.93188375	55.823237
cccma_cgcm3_1_run1	0	0.1	0.30000001	2.0877052	60.533154
cccma_cgcm3_1_run2	0	0.11217612	0.30000001	2.08912669	72.7902712
cccma_cgcm3_1_run3	0	0.1	0.30000001	2.28916451	79.6895828
cccma_cgcm3_1_t63_run1	0	0	0.30000001	1.70526765	93.6110878
csiro_mk3_0_run1	0	0.01167604	0.30000001	2.33348915	58.1568723
csiro_mk3_5_run1	0	0	0.3	3.64949676	59.4325634
gfdl_cm2_0_run1	0	0	0.2	1.68914807	164.170587
giss_model_e_r_run1	0	0	0	0.2	7.91298627
iap_fgoals1_0_g_run1	0	0.1	0.30000001	2.25009976	61.1464873
iap_fgoals1_0_g_run2	0	0.11217612	0.30000001	2.37793233	56.3642957
iap_fgoals1_0_g_run3	0	0.11217612	0.30000001	2.26229915	70.7190976
mri_cgcm2_3_2a_run1	0	0	0.30000001	3.20260742	73.7185258
mri_cgcm2_3_2a_run2	0	0	0.30000001	3.46142434	68.9753136
mri_cgcm2_3_2a_run3	0	0.03485508	0.30000001	2.89844938	68.8850076
mri_cgcm2_3_2a_run4	0	0	0.30000001	3.43403552	61.0512866
mri_cgcm2_3_2a_run5	0	0	0.30000001	3.22740624	77.5191545
ncar_ccsm3_0_run3	0	0	0.2	2.20145481	49.6343637
ncar_ccsm3_0_run5	0	0	0.2	2.27566378	58.544639
ncar_ccsm3_0_run6	0	0	0.2	2.69018573	64.8567401
ncar_ccsm3_0_run7	0	0	0.2	2.38262775	54.8456431
ncar_ccsm3_0_run8	0	0	0.2	2.8400194	50.6719268
ncar_pcm1_run1	0	0	0.30000001	1.99236459	50.3853879
ingv_echam4_run1	0	0	0.30000001	2.56563867	65.9438252
ipsl_cm4_run1	0	0	0.30000001	2.86680055	84.7899018
miub_echo_g_run1	0	0	0.30000001	2.63016768	57.9267722
miub_echo_g_run2	0	0	0.30000001	2.5552067	64.193466
miub_echo_g_run3	0	0	0.30000001	2.5841923	72.6698452
	M541*				
Mínimo	0	0	0	0.2	7.91298627
Cuartil 1	0.11217612	0	0	2.08912669	57.9267722
Mediana	0.30000001	0	0	2.33348915	64.193466
Cuartil 3	2	0	0.01167604	2.69018573	72.6698452
Máximo	54.6	0	0.11217612	3.64949676	164.170587

\* M541 corresponde al código asignado por el INAMHI para esta estación.


**ANEXO C4.1: Resultado del análisis de laboratorio de la muestra colectada el 23 de julio de 2014**

<b>LABORATORIO DE SANITARIA</b>		
<b>RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE AGUA</b>		
Muestra procedencia:	Estaciones de muestreo Río Tomebamba.	
Tipo de fuente:	Superficial	
Fecha de toma y análisis:	23 de Julio del 2014	
Análisis solicitado por:	Ing. Diego Mora.	
PARAMETRO	Tomebamba en Monay	Unidades
HORA		in situ
TEMPERATURA	13.70	in situ
TURBIEDAD	5.50	NTU (FTU)
COLOR APARENTE		
COLOR REAL		
COLOR APARENTE	68	U.C (Pt-Co)
COLOR REAL	50	U.C (Pt-Co)
CONDUCTIVIDAD	99.2	uS/cm
SOLIDOS TOTALES	85.0	mg/l
SOLIDOS TOTALES FIJOS	1.0	mg/l
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	84.0	mg/l
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	80.0	mg/l
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	0.0	mg/l
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	80.0	mg/l
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	5.0	mg/l
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	1.0	mg/l
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	4.0	mg/l
PH	7.51	
CLORUROS	10.8	mg/l
ALCALINIDAD TOTAL	45.20	mg/l, CaCO <sub>3</sub>
DUREZA TOTAL	37.60	mg/l, CaCO <sub>3</sub>
CALCIO	10.40	mg/l
MAGNESIO	2.81	mg/l
SULFATOS	4.69	mg/l
P.DE ORTOFOSFATOS DISUELTOS		mg/l, como Fósforo
N. AMONICAL	0.160	mg/l como Nitrógeno
N. NITRITOS	25.16	ug/l como Nitrógeno
N. NITRATOS	0.218	mg/l como Nitrógeno
OXIGENO DISUELTO	8.70	mg/l
DEMANDA BIOQUIMICA	3.00	mg/l
DEMANDA QUIMICA	9.96	mg/l
COLIFORMES TOTALES	5.4E+05	NMP/100 ML
E. COLI	1.1E+05	NMP/100 ML


**ANEXO C4.2:** Resultado del análisis de laboratorio de la muestra colectada el 25 de septiembre de 2014

LABORATORIO DE SANITARIA		
RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE AGUA		
Muestra procedencia:	Estaciones de muestreo Río Tomebamba.	
Tipo de fuente:	Superficial	
Fecha de toma y análisis:	25 de Septiembre del 2014	
Análisis solicitado por:	Ing. Diego Mora.	
PARAMETRO	Tomebamba en Monay	Unidades
HORA		
TEMPERATURA	17.10	in situ
TURBIEDAD	9.52	NTU (FTU)
COLOR APARENTE		
COLOR REAL		
COLOR APARENTE	94	U.C.(Pt-Co)
COLOR REAL	34	U.C.(Pt-Co)
CONDUCTIVIDAD	121.5	uS/cm
SOLIDOS TOTALES	112.0	mg/l
SOLIDOS TOTALES FIJOS	13.0	mg/l
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	99.0	mg/l
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	100.0	mg/l
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	2.0	mg/l
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	98.0	mg/l
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	12.0	mg/l
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	11.0	mg/l
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	1.0	mg/l
PH	7.82	
CLORUROS	8.7	mg/l
ALCALINIDAD TOTAL	50.60	mg/l, CaCO <sub>3</sub>
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	0.00	mg/l, CaCO <sub>3</sub>
DUREZA TOTAL	53.00	mg/l, CaCO <sub>3</sub>
CALCIO	17.20	mg/l
MAGNESIO	2.43	mg/l
SULFATOS	5.77	mg/l
P.DE ORTOFOSFATOS DISUELTOS		mg/l, como Fósforo
N. AMONIACAL	0.010	mg/l, como Nitrógeno
N. NITRITOS	65.15	ug/l como Nitrógeno
N. NITRATOS	0.409	mg/l como Nitrógeno
OXIGENO DISUELTO	6.91	mg/l
DEMANDA BIOQUIMICA	1.90	mg/l
DEMANDA QUIMICA	39.14	mg/l
COLIFORMES TOTALES	5.4E+05	NMP/100 ML
E. COLI	1.4E+05	NMP/100 ML





**ANEXO C4.3:** Base de datos compilada sobre la concentración de los parámetros fisicoquímicos para las 25 campañas de monitoreo anteriores al 2014.

**ESTACION TOMEBAMBA EN MONAY**  
**REGISTRO DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE AGUA**

FECHA dd/mm/aaaa	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)	Precipitación (mm)	Eto (mm)	T (°C)	SST(mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	N. NITRITOS (ug/l)	N. NITRATOS (mg/l)	COLIFORMES TOTALES (NMP/100ml)
15/09/2010	1.20	6.197	2.340	14.8	69.00	6.26	5.05	42.00	168.20	0.77	5.4E+05
27/09/2010	1.34	0.000	2.340	17.5	41.00	7.80	8.50	36.00	158.10	0.74	1.7E+06
06/10/2010	1.20	0.152	2.465	18.8	48.00	6.89	5.51	19.68	251.05	0.51	2.8E+05
15/10/2010	1.06	0.000	2.465	17.7	39.00	7.82	8.86	25.27	82.85	1.10	7.0E+05
27/10/2010	1.20	0.496	2.465	17.5	45.00	8.03	4.74	15.94	103.55	0.57	2.8E+05
10/11/2010	0.93	0.152	2.533	17.9	17.00	8.61	4.82	25.38	244.45	1.05	1.7E+05
22/11/2010	3.88	1.102	2.533	16.2	21.00	7.04	5.50	21.82	124.00	0.40	4.9E+05
01/12/2010	2.03	0.993	2.497	17	37.00	7.21	5.49	21.82	85.40	0.57	5.4E+05
05/01/2011	11.42	10.273	2.394	15.6	8.00	7.74	5.69	10.00	58.60	0.16	7.0E+05
12/01/2011	22.67	0.015	2.394	17.9	9.00	8.18	3.04	44.76	29.93	0.20	3.4E+05
31/01/2011	5.70	3.668	2.394	16.9	22.00	7.64	5.17	37.32	51.31	0.37	3.5E+05
09/02/2011	78.21	1.128	2.337	16.5	43.00	7.62	5.77	29.94	3.23	0.17	4.6E+05
14/02/2011	83.78	2.832	2.337	16.8	42.00	7.90	1.99	21.96	2.02	0.20	2.1E+06
28/02/2011	13.98	0.786	2.337	17.2	11.00	7.30	2.90	29.40	16.96	0.36	2.5E+05
10/03/2011	5.37	0.000	2.314	15.2	4.00	7.74	2.04	13.38	120.77	0.44	9.2E+05
24/03/2011	13.44	1.351	2.314	17.8	23.00	6.97	2.04	43.50	86.06	0.39	1.6E+07
06/04/2011	67.69	8.342	2.205	15.1	141.00	13.80	9.49	50.65	29.49	0.24	3.3E+06
13/04/2011	68.96	7.036	2.205	16.7	27.00	7.55	8.28	22.00	19.39	0.27	1.6E+07
20/04/2011	89.55	3.098	2.205	14.2	52.00	8.04	5.79	28.00	17.78	0.44	9.2E+06
04/05/2011	41.94	0.051	2.077	17.1	16.00	7.83	3.55	21.41	22.62	0.23	2.2E+06
18/05/2011	13.44	0.000	2.077	15.8	12.00	7.28	5.97	4.93	83.33	0.12	2.8E+06
01/06/2011	100.16	6.869	1.953	15.2	20.00	8.23	2.36	22.70	8.18	0.05	1.6E+06
14/06/2011	13.44	2.686	1.953	14.5	12.00	7.95	6.25	13.92	36.47	0.28	1.6E+07
29/06/2011	31.09	5.786	1.953	17.3	22.00	7.63	2.65	8.00	22.30	0.06	1.7E+05
13/07/2011	208.51	5.360	1.959	13.3	46.00	8.42	2.35	37.39	9.80	0.26	3.9E+05
23/07/2014	3.62	0.304	1.959	16.4	5.00	8.70	3.00	9.96	25.16	0.22	5.4E+05
25/09/2014	8.70	0.000	2.340	18.5	12.00	6.91	1.90	39.14	65.15	0.41	5.4E+05
<b>MAXIMO =</b>	<b>208.51</b>	<b>10.27</b>	<b>2.53</b>	<b>18.80</b>	<b>141.00</b>	<b>13.80</b>	<b>9.49</b>	<b>50.65</b>	<b>251.05</b>	<b>1.10</b>	<b>1.6E+07</b>
<b>MINIMO =</b>	<b>0.93</b>	<b>0.00</b>	<b>1.95</b>	<b>13.30</b>	<b>4.00</b>	<b>6.26</b>	<b>1.90</b>	<b>4.93</b>	<b>2.02</b>	<b>0.05</b>	<b>1.7E+05</b>
<b>MEDIANA =</b>	<b>33.13</b>	<b>2.54</b>	<b>2.27</b>	<b>16.50</b>	<b>31.26</b>	<b>7.90</b>	<b>4.77</b>	<b>25.79</b>	<b>71.34</b>	<b>0.39</b>	<b>3.1E+06</b>
<b>MEDIA =</b>	<b>13.44</b>	<b>1.13</b>	<b>2.34</b>	<b>16.80</b>	<b>23.00</b>	<b>7.74</b>	<b>5.17</b>	<b>22.70</b>	<b>51.31</b>	<b>0.36</b>	<b>7.0E+05</b>
<b>DES. ESTD</b>	<b>48.76</b>	<b>3.10</b>	<b>0.19</b>	<b>1.37</b>	<b>27.99</b>	<b>1.33</b>	<b>2.23</b>	<b>12.04</b>	<b>71.23</b>	<b>0.28</b>	<b>5.2E+06</b>



## ANEXO C4.4: Base de datos de precipitación media registrada (2010-2014)

PROMAS Universidad		Marianza bajo		Marianza alto		CUMBE	
Fecha	P (mm)	Fecha	P (mm)	Fecha	P (mm)	Fecha	P (mm)
01/01/2010	0	01/01/2010	0.00	01/01/2010	0	01/09/2010	1.016
02/01/2010	0	02/01/2010	0.25	02/01/2010	0	02/09/2010	4.064
03/01/2010	0	03/01/2010	0.00	03/01/2010	0	03/09/2010	0
04/01/2010	0	04/01/2010	0.00	04/01/2010	0	04/09/2010	0
05/01/2010	0	05/01/2010	0.51	05/01/2010	0.762	05/09/2010	1.524
06/01/2010	0	06/01/2010	0.76	06/01/2010	1.27	06/09/2010	5.08
07/01/2010	0.2	07/01/2010	1.02	07/01/2010	1.016	07/09/2010	2.794
08/01/2010	1.4	08/01/2010	2.29	08/01/2010	3.048	08/09/2010	0
09/01/2010	0.2	09/01/2010	14.73	09/01/2010	15.494	09/09/2010	0
10/01/2010	0	10/01/2010	8.89	10/01/2010	6.858	10/09/2010	0
11/01/2010	3	11/01/2010	6.35	11/01/2010	8.382	11/09/2010	0
12/01/2010	5	12/01/2010	12.19	12/01/2010	13.462	12/09/2010	0
13/01/2010	0	13/01/2010	0.25	13/01/2010	0	13/09/2010	0
14/01/2010	0	14/01/2010	0.00	14/01/2010	0.254	14/09/2010	0
15/01/2010	0	15/01/2010	0.00	15/01/2010	0.254	15/09/2010	6.35
16/01/2010	0.2	16/01/2010	2.03	16/01/2010	2.032	16/09/2010	5.842
17/01/2010	0	17/01/2010	0.25	17/01/2010	0.254	17/09/2010	0
18/01/2010	0	18/01/2010	0.25	18/01/2010	0.508	18/09/2010	3.302
19/01/2010	0	19/01/2010	0.25	19/01/2010	0.254	19/09/2010	3.048
20/01/2010	0	20/01/2010	0.00	20/01/2010	0.254	20/09/2010	0
21/01/2010	0	21/01/2010	0.51	21/01/2010	0.508	21/09/2010	0
22/01/2010	0	22/01/2010	0.00	22/01/2010	0	22/09/2010	0
23/01/2010	0	23/01/2010	0.00	23/01/2010	0	23/09/2010	1.016
24/01/2010	0	24/01/2010	1.27	24/01/2010	0.762	24/09/2010	0
25/01/2010	0.2	25/01/2010	5.84	25/01/2010	6.35	25/09/2010	0
26/01/2010	0	26/01/2010	0.00	26/01/2010	0	26/09/2010	0
27/01/2010	0	27/01/2010	0.00	27/01/2010	0.254	27/09/2010	0
28/01/2010	0	28/01/2010	0.00	28/01/2010	0	28/09/2010	0
29/01/2010	0	29/01/2010	0.00	29/01/2010	0	29/09/2010	7.37
30/01/2010	0	30/01/2010	0.00	30/01/2010	0	30/09/2010	0
31/01/2010	0	31/01/2010	1.02	31/01/2010	1.524	01/10/2010	0
01/02/2010	0	01/02/2010	0.25	01/02/2010	0.762	02/10/2010	0
02/02/2010	0	02/02/2010	0.76	02/02/2010	0.762	03/10/2010	0.254
03/02/2010	0	03/02/2010	3.81	03/02/2010	4.064	04/10/2010	0
04/02/2010	0	04/02/2010	1.78	04/02/2010	2.032	05/10/2010	0
05/02/2010	0.4	05/02/2010	4.06	05/02/2010	4.572	06/10/2010	0
06/02/2010	8.4	06/02/2010	23.62	06/02/2010	22.352	07/10/2010	0
07/02/2010	11.2	07/02/2010	20.32	07/02/2010	19.05	08/10/2010	3.556



08/02/2010	0.6	08/02/2010	3.56	08/02/2010	3.81	09/10/2010	0.508
09/02/2010	0.2	09/02/2010	3.05	09/02/2010	4.064	10/10/2010	0
10/02/2010	0	10/02/2010	0.76	10/02/2010	0.762	11/10/2010	2.54
11/02/2010	0	11/02/2010	1.52	11/02/2010	1.27	12/10/2010	0.508
12/02/2010	0	12/02/2010	1.27	12/02/2010	1.524	13/10/2010	0
13/02/2010	0.6	13/02/2010	2.79	13/02/2010	2.54	14/10/2010	0
14/02/2010	0	14/02/2010	0.00	14/02/2010	0.254	15/10/2010	0
15/02/2010	0	15/02/2010	0.00	15/02/2010	0	16/10/2010	3.048
16/02/2010	3.4	16/02/2010	8.64	16/02/2010	9.398	17/10/2010	0.762
17/02/2010	1.2	17/02/2010	0.51	17/02/2010	0.762	18/10/2010	2.794
18/02/2010	0.2	18/02/2010	0.25	18/02/2010	0.508	19/10/2010	5.08
19/02/2010	0	19/02/2010	1.52	19/02/2010	1.778	20/10/2010	1.016
20/02/2010	1.2	20/02/2010	6.60	20/02/2010	6.858	21/10/2010	0
21/02/2010	0	21/02/2010	0.51	21/02/2010	1.27	22/10/2010	0
22/02/2010	46.6	22/02/2010	9.14	22/02/2010	11.684	23/10/2010	0
23/02/2010	4.6	23/02/2010	4.06	23/02/2010	3.302	24/10/2010	0
24/02/2010	0	24/02/2010	1.52	24/02/2010	1.778	25/10/2010	0.508
25/02/2010	0	25/02/2010	1.78	25/02/2010	1.524	26/10/2010	0
26/02/2010	4.4	26/02/2010	0.51	26/02/2010	0.508	27/10/2010	0.762
27/02/2010	62	27/02/2010	10.67	27/02/2010	10.668	28/10/2010	0
28/02/2010	0	28/02/2010	0.00	28/02/2010	0	29/10/2010	0
01/03/2010	0	01/03/2010	2.54	01/03/2010	2.794	30/10/2010	0
02/03/2010	0	02/03/2010	0.00	02/03/2010	0	31/10/2010	0
03/03/2010	0	03/03/2010	5.33	03/03/2010	3.556	01/11/2010	3.81
04/03/2010	0	04/03/2010	0.00	04/03/2010	0	02/11/2010	3.81
05/03/2010	4.2	05/03/2010	2.54	05/03/2010	3.556	03/11/2010	0
06/03/2010	0	06/03/2010	0.25	06/03/2010	0.254	04/11/2010	0
07/03/2010	0.2	07/03/2010	2.03	07/03/2010	2.54	05/11/2010	0
08/03/2010	0.2	08/03/2010	0.00	08/03/2010	0.254	06/11/2010	1.016
09/03/2010	0	09/03/2010	2.54	09/03/2010	3.048	07/11/2010	0
10/03/2010	4.4	10/03/2010	9.65	10/03/2010	10.668	08/11/2010	0
11/03/2010	7.2	11/03/2010	1.78	11/03/2010	2.032	09/11/2010	0
12/03/2010	0	12/03/2010	4.83	12/03/2010	4.826	10/11/2010	0
13/03/2010	3.8	13/03/2010	7.62	13/03/2010	10.668	11/11/2010	1.27
14/03/2010	0	14/03/2010	0.51	14/03/2010	0.762	12/11/2010	2.032
15/03/2010	0	15/03/2010	0.00	15/03/2010	0	13/11/2010	6.096
16/03/2010	0	16/03/2010	0.00	16/03/2010	0	14/11/2010	3.556
17/03/2010	0.4	17/03/2010	13.46	17/03/2010	14.732	15/11/2010	10.16
18/03/2010	0	18/03/2010	0.00	18/03/2010	0	16/11/2010	5.334
19/03/2010	5.2	19/03/2010	4.83	19/03/2010	6.096	17/11/2010	8.382
20/03/2010	1.4	20/03/2010	1.27	20/03/2010	1.27	18/11/2010	3.556
21/03/2010	0	21/03/2010	0.00	21/03/2010	0	19/11/2010	0



22/03/2010	15	22/03/2010	9.65	22/03/2010	8.89	20/11/2010	0
23/03/2010	0	23/03/2010	0.25	23/03/2010	0.254	21/11/2010	0
24/03/2010	0	24/03/2010	0.00	24/03/2010	0	22/11/2010	0
25/03/2010	0	25/03/2010	0.00	25/03/2010	0	23/11/2010	0
26/03/2010	0.6	26/03/2010	2.54	26/03/2010	3.556	24/11/2010	0
27/03/2010	0.4	27/03/2010		27/03/2010	2.032	25/11/2010	0.254
28/03/2010	0	28/03/2010		28/03/2010	0.254	26/11/2010	0
29/03/2010	0.2	29/03/2010		29/03/2010	2.032	27/11/2010	0
30/03/2010	0	30/03/2010		30/03/2010	1.27	28/11/2010	3.302
31/03/2010	17.8	31/03/2010		31/03/2010	13.716	29/11/2010	0
01/04/2010	1.8	01/04/2010		01/04/2010	0.762	30/11/2010	0
02/04/2010	6.2	02/04/2010		02/04/2010	3.556	01/12/2010	1.524
03/04/2010	5.8	03/04/2010		03/04/2010	0.508	02/12/2010	0
04/04/2010	7.6	04/04/2010		04/04/2010	5.588	03/12/2010	0
05/04/2010	14.4	05/04/2010		05/04/2010	34.544	04/12/2010	0
06/04/2010	10.8	06/04/2010		06/04/2010	19.05	05/12/2010	0
07/04/2010	10	07/04/2010		07/04/2010	12.954	06/12/2010	0.254
08/04/2010	5	08/04/2010		08/04/2010	8.636	07/12/2010	0
09/04/2010	12.8	09/04/2010		09/04/2010	7.366	08/12/2010	0
10/04/2010	2.4	10/04/2010		10/04/2010	6.35	09/12/2010	1.016
11/04/2010	0	11/04/2010		11/04/2010	7.366	10/12/2010	6.096
12/04/2010	0	12/04/2010		12/04/2010	0	11/12/2010	9.906
13/04/2010	0	13/04/2010		13/04/2010	1.524	12/12/2010	0
14/04/2010	0	14/04/2010		14/04/2010	0	13/12/2010	0
15/04/2010	0	15/04/2010		15/04/2010	1.524	14/12/2010	0
16/04/2010	0	16/04/2010		16/04/2010	12.446	15/12/2010	0
17/04/2010	0	17/04/2010		17/04/2010	0	16/12/2010	0
18/04/2010	0	18/04/2010		18/04/2010	0	17/12/2010	0
19/04/2010	0	19/04/2010		19/04/2010	4.318	18/12/2010	0
19/04/2010	0.8	20/04/2010	0.254	20/04/2010	0	19/12/2010	0
20/04/2010	0.4	21/04/2010	0.254	21/04/2010	1.016	20/12/2010	0
21/04/2010	0	22/04/2010	0	22/04/2010	3.048	21/12/2010	0
22/04/2010	0	23/04/2010	1.524	23/04/2010	0	22/12/2010	0
23/04/2010	0	24/04/2010	2.032	24/04/2010	4.318	23/12/2010	0
24/04/2010	1	25/04/2010	0.508	25/04/2010	2.286	24/12/2010	0
25/04/2010	0.4	26/04/2010	0	26/04/2010	0.254	25/12/2010	0
26/04/2010	0	27/04/2010	3.048	27/04/2010	9.398	26/12/2010	0
27/04/2010	11	28/04/2010	12.954	28/04/2010	14.478	27/12/2010	0
28/04/2010	10.4	29/04/2010	1.016	29/04/2010	7.874	28/12/2010	0
29/04/2010	5	30/04/2010	7.62	30/04/2010	10.414	29/12/2010	0
30/04/2010	17.2	01/05/2010	10.668	01/05/2010	12.7	30/12/2010	0
01/05/2010	28.2	02/05/2010	0.508	02/05/2010	1.016	31/12/2010	0



02/05/2010	0.6	03/05/2010	0.508	03/05/2010	2.54	01/01/2011	0
03/05/2010	0.6	04/05/2010	0	04/05/2010	19.05	02/01/2011	0
04/05/2010	12.4	05/05/2010	0	05/05/2010	0.762	03/01/2011	0
05/05/2010	0	06/05/2010	0.254	06/05/2010	1.016	04/01/2011	0
06/05/2010	3.2	07/05/2010	3.048	07/05/2010	4.064	05/01/2011	0
07/05/2010	1.2	08/05/2010	6.096	08/05/2010	7.112	06/01/2011	0
08/05/2010	3.6	09/05/2010	5.080	09/05/2010	6.858	07/01/2011	0
09/05/2010	2.4	10/05/2010	6.350	10/05/2010	7.62	08/01/2011	0
10/05/2010	2.8	11/05/2010	0.762	11/05/2010	1.27	09/01/2011	0
11/05/2010	0	12/05/2010	0.254	12/05/2010	0.508	10/01/2011	0
12/05/2010	0	13/05/2010	0.000	13/05/2010	0	11/01/2011	0
13/05/2010	0	14/05/2010	0.254	14/05/2010	0.254	12/01/2011	0
14/05/2010	0	15/05/2010	0.254	15/05/2010	0	13/01/2011	0
15/05/2010	0	16/05/2010	0.000	16/05/2010	0	14/01/2011	0
16/05/2010	0	17/05/2010	0.000	17/05/2010	1.524	15/01/2011	0
17/05/2010	0	18/05/2010	1.016	18/05/2010	0	16/01/2011	0
18/05/2010	0	19/05/2010	0.000	19/05/2010	5.842	17/01/2011	0
19/05/2010	0	20/05/2010	3.810	20/05/2010	3.556	18/01/2011	0
20/05/2010	3	21/05/2010	3.048	21/05/2010	21.336	19/01/2011	0
21/05/2010	5.6	22/05/2010	16.510	22/05/2010	0	20/01/2011	0
22/05/2010	0.2	23/05/2010	0.000	23/05/2010	0	21/01/2011	0
23/05/2010	0.2	24/05/2010	0.000	24/05/2010	0	22/01/2011	0
24/05/2010	0	25/05/2010	0.254	25/05/2010	0.508	23/01/2011	0
25/05/2010	0	26/05/2010	0.000	26/05/2010	0	24/01/2011	0
26/05/2010	0	27/05/2010	0.000	27/05/2010	0.508	25/01/2011	0
27/05/2010	0.4	28/05/2010	0.508	28/05/2010	2.286	26/01/2011	0
28/05/2010	0.6	29/05/2010	3.810	29/05/2010	0.254	27/01/2011	1.016
29/05/2010	0	30/05/2010	0.254	30/05/2010	0.762	28/01/2011	2.794
30/05/2010	1.6	31/05/2010	0.508	31/05/2010	19.558	29/01/2011	4.318
31/05/2010	3.2	01/06/2010	24.384	01/06/2010	19.812	30/01/2011	0
01/06/2010	23.4	02/06/2010	17.780	02/06/2010	11.176	31/01/2011	3.048
02/06/2010	26.2	03/06/2010	11.938	03/06/2010	0.254	01/02/2011	0
03/06/2010	0	04/06/2010	0.254	04/06/2010	0.254	02/02/2011	0.254
04/06/2010	0	05/06/2010	0.000	05/06/2010	0.508	03/02/2011	0
05/06/2010	0	06/06/2010	0.508	06/06/2010	4.572	04/02/2011	1
06/06/2010	0	07/06/2010	3.302	07/06/2010	7.112	05/02/2011	5.334
07/06/2010	1.6	08/06/2010	6.096	08/06/2010	9.652	06/02/2011	11.176
08/06/2010	2	09/06/2010	8.636	09/06/2010	18.796	07/02/2011	8.382
09/06/2010	7.8	10/06/2010	16.002	10/06/2010	2.286	08/02/2011	8.382
10/06/2010	5.6	11/06/2010	2.032	11/06/2010	2.032	09/02/2011	1.27
11/06/2010	0	12/06/2010	2.032	12/06/2010	1.524	10/02/2011	1.016
12/06/2010	0	13/06/2010	1.778	13/06/2010	1.27	11/02/2011	8.382



13/06/2010	0.2	14/06/2010	1.016	14/06/2010	0	12/02/2011	3.556
14/06/2010	0	15/06/2010	0.000	15/06/2010	1.524	13/02/2011	2.794
15/06/2010	0	16/06/2010	1.778	16/06/2010	2.032	14/02/2011	6.096
16/06/2010	1.2	17/06/2010	1.778	17/06/2010	0.254	15/02/2011	16.256
17/06/2010	0	18/06/2010	0.000	18/06/2010	2.286	16/02/2011	0
18/06/2010	6.8	19/06/2010	3.810	19/06/2010	19.812	17/02/2011	0.254
19/06/2010	15	20/06/2010	18.542	20/06/2010	5.334	18/02/2011	0
20/06/2010	3.8	21/06/2010	5.842	21/06/2010	14.986	19/02/2011	0
21/06/2010	15	22/06/2010	14.478	22/06/2010	0	20/02/2011	0
22/06/2010	0	23/06/2010	0.000	23/06/2010	2.54	21/02/2011	0
23/06/2010	0	24/06/2010	1.778	24/06/2010	3.302	22/02/2011	0
24/06/2010	0	25/06/2010	2.794	25/06/2010	13.208	23/02/2011	11.934
25/06/2010	4.6	26/06/2010	11.176	26/06/2010	8.89	24/02/2011	0
26/06/2010	4.4	27/06/2010	4.572	27/06/2010	0	25/02/2011	0
27/06/2010	0	28/06/2010	3.302	28/06/2010	1.016	26/02/2011	1.016
28/06/2010	0	29/06/2010		29/06/2010	1.778	27/02/2011	2.54
29/06/2010	2.8	30/06/2010		30/06/2010	0	28/02/2011	0.508
30/06/2010	0	01/07/2010		01/07/2010	0.762	01/03/2011	0
01/07/2010	2.2	02/07/2010		02/07/2010	0	02/03/2011	0
02/07/2010	0.2	03/07/2010		03/07/2010	0.762	03/03/2011	0
03/07/2010	0.2	04/07/2010		04/07/2010	0.762	04/03/2011	0
04/07/2010	0	05/07/2010		05/07/2010	0.508	05/03/2011	0
05/07/2010	4	06/07/2010		06/07/2010	0	06/03/2011	0
06/07/2010	0	07/07/2010		07/07/2010	0	07/03/2011	0
07/07/2010	0	08/07/2010		08/07/2010	0.508	08/03/2011	0
08/07/2010	0	09/07/2010		09/07/2010	10.16	09/03/2011	0
09/07/2010	26.8	10/07/2010		10/07/2010	4.572	10/03/2011	0
10/07/2010	1.6	11/07/2010		11/07/2010	4.572	11/03/2011	0
11/07/2010	9	12/07/2010		12/07/2010	7.112	12/03/2011	0
12/07/2010	3.8	13/07/2010		13/07/2010	6.35	13/03/2011	0
13/07/2010	1.8	14/07/2010		14/07/2010	3.81	14/03/2011	0
14/07/2010	3.6	15/07/2010		15/07/2010	0.254	15/03/2011	0
15/07/2010	0.4	16/07/2010	0.40	16/07/2010	2.124	16/03/2011	0
16/07/2010	5	17/07/2010	10.20	17/07/2010	9.800	17/03/2011	0.254
17/07/2010	1.8	18/07/2010	0.00	18/07/2010	0.200	18/03/2011	0
18/07/2010	0	19/07/2010	0.20	19/07/2010	0.40	19/03/2011	6.604
19/07/2010	0	20/07/2010	0.00	20/07/2010	0.00	20/03/2011	19.558
20/07/2010	0	21/07/2010	0.00	21/07/2010	0.00	21/03/2011	4.064
21/07/2010	0	22/07/2010	0.00	22/07/2010	0.00	22/03/2011	0
22/07/2010	0	23/07/2010	0.40	23/07/2010	0.8	23/03/2011	0.762
23/07/2010	0	24/07/2010	5.00	24/07/2010	5	24/03/2011	0
24/07/2010	0.2	25/07/2010	2.80	25/07/2010	3.4	25/03/2011	11.938



25/07/2010	3	26/07/2010	5.80	26/07/2010	5.8	26/03/2011	4.572
26/07/2010	1.6	27/07/2010	6.80	27/07/2010	7.2	27/03/2011	0
27/07/2010	1.2	28/07/2010	11.60	28/07/2010	10.6	28/03/2011	0.254
28/07/2010	6.4	29/07/2010	8.20	29/07/2010	8	29/03/2011	0
29/07/2010	1.2	30/07/2010	0.00	30/07/2010	0	30/03/2011	3.556
30/07/2010	0	31/07/2010	9.20	31/07/2010	8	31/03/2011	0.254
31/07/2010	0.4	01/08/2010	0.00	01/08/2010	0	01/04/2011	0
01/08/2010	2.6	02/08/2010	6.00	02/08/2010	5.4	02/04/2011	13.716
02/08/2010	6.6	03/08/2010	0.80	03/08/2010	1.2	03/04/2011	13.97
03/08/2010	0	04/08/2010	4.40	04/08/2010	4.8	04/04/2011	7.62
04/08/2010	0.6	05/08/2010	0.80	05/08/2010	1	05/04/2011	3.81
05/08/2010	0	06/08/2010	0.00	06/08/2010	0	06/04/2011	5.588
06/08/2010	0	07/08/2010	5.60	07/08/2010	4.4	07/04/2011	14.224
07/08/2010	1	08/08/2010	0.00	08/08/2010	0	08/04/2011	3.302
08/08/2010	0	09/08/2010	0.00	09/08/2010	0	09/04/2011	4.064
09/08/2010	0	10/08/2010	0.00	10/08/2010	0	10/04/2011	16.002
10/08/2010	0	11/08/2010	0.00	11/08/2010	0	11/04/2011	0.254
11/08/2010	0	12/08/2010	0.00	12/08/2010	0.2	12/04/2011	0.762
12/08/2010	0	13/08/2010	0.00	13/08/2010	0.2	13/04/2011	0.508
13/08/2010	0	14/08/2010	18.00	14/08/2010	16.4	14/04/2011	2.54
14/08/2010	5.4	15/08/2010	0.80	15/08/2010	0.8	15/04/2011	2.286
15/08/2010	0.4	16/08/2010	0.00	16/08/2010	0	16/04/2011	0.254
16/08/2010	0	17/08/2010	0.00	17/08/2010	0	17/04/2011	1.524
17/08/2010	0	18/08/2010	0.00	18/08/2010	0	18/04/2011	3.048
18/08/2010	0	19/08/2010	0.00	19/08/2010	0	19/04/2011	8.636
19/08/2010	0	20/08/2010	0.00	20/08/2010	0	20/04/2011	2.54
20/08/2010	0	21/08/2010	5.20	21/08/2010	4.4	21/04/2011	1.27
21/08/2010	0.4	22/08/2010	0.00	22/08/2010	0.2	22/04/2011	1.778
22/08/2010	0	23/08/2010	0.00	23/08/2010	0	23/04/2011	0
23/08/2010	0	24/08/2010	0.00	24/08/2010	0	24/04/2011	0
24/08/2010	0	25/08/2010	0.00	25/08/2010	0	25/04/2011	6.858
25/08/2010	0	26/08/2010	0.80	26/08/2010	1	26/04/2011	0.762
26/08/2010	0	27/08/2010	0.20	27/08/2010	0	27/04/2011	0.762
27/08/2010	0	28/08/2010	0.20	28/08/2010	0.2	28/04/2011	0
28/08/2010	0	29/08/2010	0.00	29/08/2010	0	29/04/2011	2.794
29/08/2010	0	30/08/2010	0.00	30/08/2010	0	30/04/2011	15.24
30/08/2010	0	31/08/2010	2.00	31/08/2010	2.4	01/05/2011	0.254
31/08/2010	7.8	01/09/2010	2.20	01/09/2010	2.2	02/05/2011	0.254
01/09/2010	4	02/09/2010	7.00	02/09/2010	6	03/05/2011	1.27
02/09/2010	3.4	03/09/2010	0.20	03/09/2010	0.4	04/05/2011	0
03/09/2010	0	04/09/2010	0.00	04/09/2010	0	05/05/2011	0
04/09/2010	0	05/09/2010	7.40	05/09/2010	6.8	06/05/2011	0.254



05/09/2010	6.4	06/09/2010	1.00	06/09/2010	1.2	07/05/2011	2.032
06/09/2010	0	07/09/2010	6.00	07/09/2010	6	08/05/2011	2.286
07/09/2010	2.2	08/09/2010	0.00	08/09/2010	0	09/05/2011	3.81
08/09/2010	0	09/09/2010	0.00	09/09/2010	0	10/05/2011	0.254
09/09/2010	0	10/09/2010	0.20	10/09/2010	0	11/05/2011	0
10/09/2010	0	11/09/2010	0.00	11/09/2010	0	12/05/2011	3.302
11/09/2010	0	12/09/2010	0.00	12/09/2010	0	13/05/2011	3.556
12/09/2010	0	13/09/2010	0.00	13/09/2010	0	14/05/2011	2.032
13/09/2010	0	14/09/2010	0.00	14/09/2010	0	15/05/2011	1.016
14/09/2010	0	15/09/2010	8.80	15/09/2010	8.4	16/05/2011	6.096
15/09/2010	1	16/09/2010	2.20	16/09/2010	2.2	17/05/2011	0
16/09/2010	0.6	17/09/2010	0.00	17/09/2010	0	18/05/2011	0
17/09/2010	0	18/09/2010	4.00	18/09/2010	3.8	19/05/2011	0
18/09/2010	0.6	19/09/2010	3.60	19/09/2010	4.4	20/05/2011	0
19/09/2010	0	20/09/2010	0.00	20/09/2010	0.2	21/05/2011	0
20/09/2010	0	21/09/2010	0.00	21/09/2010	0	22/05/2011	0.508
21/09/2010	0	22/09/2010	0.00	22/09/2010	0	23/05/2011	3.556
22/09/2010	0	23/09/2010	2.60	23/09/2010	2.4	24/05/2011	0
23/09/2010	2.2	24/09/2010	8.00	24/09/2010	8.2	25/05/2011	2.54
24/09/2010	5.6	25/09/2010	0.00	25/09/2010	0	26/05/2011	6.858
25/09/2010	0	26/09/2010	0.00	26/09/2010	0	27/05/2011	16.51
26/09/2010	0	27/09/2010	0.00	27/09/2010	0	28/05/2011	9.652
27/09/2010	0	28/09/2010	5.00	28/09/2010	3.4	29/05/2011	3.302
28/09/2010	2.2	29/09/2010	3.80	29/09/2010	4.6	30/05/2011	0.254
29/09/2010	1.8	30/09/2010	0.00	30/09/2010	0	31/05/2011	0.762
30/09/2010	0	01/10/2010	6.80	01/10/2010	7.8	01/06/2011	0.762
01/10/2010	0	02/10/2010	4.00	02/10/2010	1	02/06/2011	0.254
02/10/2010	2.8	03/10/2010	1.20	03/10/2010	0.6	03/06/2011	5.334
03/10/2010	1.4	04/10/2010	0.00	04/10/2010	0	04/06/2011	0
04/10/2010	0	05/10/2010	0.00	05/10/2010	0	05/06/2011	0.254
05/10/2010	0.6	06/10/2010	0.20	06/10/2010	0.4	06/06/2011	0
06/10/2010	0	07/10/2010	0.00	07/10/2010	0	07/06/2011	0
26/10/2010	0	27/10/2010	0.60	27/10/2010	0.6	27/06/2011	0
09/11/2010	0	10/11/2010	0.00	10/11/2010	0.6	11/07/2011	11.43
22/11/2010	0	23/11/2010	0.00	23/11/2010		24/07/2011	0
01/12/2010	0	02/12/2010	0.00	02/12/2010		02/07/2014	0
05/01/2011	3.4	06/01/2011	0.00	06/01/2011		06/09/2014	0
12/01/2011	0	13/01/2011	1.00	13/01/2011		13/09/2014	0.8
31/01/2011	2.8	01/02/2011	0.40	01/02/2011			
09/02/2011	0.2	10/02/2011	9.20	10/02/2011	9		
14/02/2011	2	15/02/2011	22.00	15/02/2011	15.2		
28/02/2011	0	01/03/2011	4.20	01/03/2011	5.8		





09/03/2011	0	10/03/2011	0.00	10/03/2011	0
23/03/2011	0	24/03/2011	0.00	24/03/2011	0
05/04/2011	5.4	06/04/2011	10.00	06/04/2011	13
12/04/2011	8.6	13/04/2011	8.20	13/04/2011	12.8
19/04/2011	13.2	20/04/2011	3.20	20/04/2011	4.6
03/05/2011	4.2	04/05/2011	0.00	04/05/2011	0.2
17/05/2011	0	18/05/2011	0.00	18/05/2011	0
31/05/2011	0.4	01/06/2011	11.60	01/06/2011	14.4
13/06/2011	0	14/06/2011	1.80	14/06/2011	2.6
28/06/2011	0	29/06/2011	9.80	29/06/2011	9
12/07/2011	4.4	13/07/2011	6.00	13/07/2011	5.6
13/07/2011	4.2	14/07/2011	0.20	14/07/2011	0.4
		23/07/2014	0.600		
		24/07/2014	1.400		
		25/07/2014	3.600		
		26/07/2014	1.200		
		27/07/2014	6.000		
		28/07/2014	2.200		
		29/07/2014	0.600		
		30/07/2014	0.000		
		31/07/2014	0.000		



**ANEXO C4.5:** Precipitación registrada para los meses de julio y septiembre de 2014

FECHA HORA	Marianza alto			Marianza bajo			Promas		
	UTMx	UTM y	Cota	UTMx	UTM y	Cota	UTMx	UTM y	Cota
	m	m	m s.n.m	m	m	m s.n.m	m	m	m s.n.m
	709221	9684392	3622	708862	9684686	3439	708862	9684686	3439
PRECIPITACION (mm)			PRECIPITACION (mm)			PRECIPITACION (mm)			
23/07/2014 0:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 1:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 2:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 3:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 4:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 5:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 6:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 7:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 8:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 9:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 10:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 11:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 12:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 13:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 14:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 15:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 16:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 17:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 18:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 19:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 20:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 21:00	0.00			0.00			0		
23/07/2014 22:00	0.20			0.20			0		
23/07/2014 23:00	0.40			0.40			0		

FECHA HORA	Marianza alto			Marianza bajo			Promas		
	UTMx	UTM y	Cota	UTMx	UTM y	Cota	UTMx	UTM y	Cota
	m	m	m s.n.m	m	m	m s.n.m	m	m	m s.n.m
	709221	9684392	3622	708862	9684686	3439	708862	9684686	3439
PRECIPITACION (mm)			PRECIPITACION (mm)			PRECIPITACION (mm)			
25/09/2014 0:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 1:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 2:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 3:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 4:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 5:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 6:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 7:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 8:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 9:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 10:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 11:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 12:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 13:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 14:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 15:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 16:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 17:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 18:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 19:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 20:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 21:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 22:00	0.000			0.00			0		
25/09/2014 23:00	0.000			0.00			0		

## ANEXO C4.6: Caudales registrados en las 27 campañas de monitoreo (2010-2014)



PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

**DETERMINACION DE CONTAMINACION DIFUSA  
EN LA CUENCA DEL RIO TOMBAMBA EN  
MONAY**

## RESUMEN DE MUESTRAS DE AGUA

No	ESTACION	FECHA DE CAMPO			HORA		PARAMETROS DE CAMPO			ALTURA LIMNIMETRICA	SENSOR DE NIVEL	CAUDAL
							TEMP	pH	OD			
		dd/mm/aaaa	h	m	°C		mg/l	m	m	m <sup>3</sup> /s		
1	Taitachugo	15	9	2010	10	10	10.20	6.50	8.60			
	Matadero en Sayausí				11	35	11.90	6.50	8.10	0.15	0.21	0.12
	Tombamba en Monay				12	35	14.50	6.46	6.26	0.17	0.18	1.20
2	Taitachugo	27	9	2010	9	45	9.80	8.54	9.31			
	Matadero en Sayausí				11	0	12.60	8.66	8.27	0.18	0.17	0.07
	Tombamba en Monay				12	0	17.40	8.57	8.80	0.19	0.19	1.34
3	Llaviuco	6	10	2010	10	45	14.50	8.30	6.60		0.67	0.90
	Matadero en Sayausí				11	47	15.20	8.75	7.74	0.20	0.21	0.12
	Tombamba en Monay				13	15	20.40	9.21	6.89	0.18	0.18	1.20
4	Llaviuco	15	10	2010	11	55	14.20	8.08	7.35		0.65	0.60
	Matadero en Sayausí				12	55	12.80	8.57	7.48	0.13	0.13	0.03
	Tombamba en Monay				13	55	16.90	8.61	7.82	0.17	0.17	1.06
5	Llaviuco	27	10	2010	9	42	14.40	8.20	7.31		0.65	0.60
	Matadero en Sayausí				11	0	13.80	8.60	7.55	0.10	0.17	0.07



	Tomebamba en Monay				1 2	0	16.00	8.70	8.03	0.18	0.18	1.20
6	Llaviuco	10	1 1	2010	1 1	55	14.90	8.35	8.27		0.64	0.49
	Matadero en Sayausí				1 3	15	14.70	8.85	7.70	0.15	0.15	0.05
	Tomebamba en Monay				1 4	30	18.30	8.15	8.61	0.16	0.16	0.93
7	Llaviuco	22	1 1	2010	1 1	20					0.69	1.33
	Matadero en Sayausí				1 2	10				0.20	0.18	0.08
	Tomebamba en Monay				1 3	16				0.20	0.31	3.88
8	Llaviuco	1	1 2	2010	1 1	37	14.90	7.80	9.50		0.72	1.98
	Matadero en Sayausí				1 2	58	13.90	7.94	8.37	0.22	0.20	0.11
	Tomebamba en Monay				1 3	50	16.60	8.30	7.21	0.23	0.23	2.03
9	Llaviuco	5	1	2011	9	15	12.80	8.15	7.60		0.79	3.86
	Matadero en Sayausí				1 0	15	11.70	8.30	8.13	0.32	0.35	0.48
	Tomebamba en Monay				1 1	15	15.00	8.37	7.74	0.38	0.51	11.42
10	Llaviuco	12	1	2011	1 1	55	12.00	8.30	7.10		0.84	6.00
	Matadero en Sayausí				1 2	45	12.10	8.31	7.68	0.38	0.51	1.30
	Tomebamba en Monay				1 3	48	14.70	8.14	8.18	0.60	0.70	22.67
11	Llaviuco	31	1	2011	1 2	0	14.50	8.80	7.25		0.70	1.62
	Matadero en Sayausí				1 2	45	13.80	8.60	7.63	0.36	0.38	0.59
	Tomebamba en Monay				1 3	45	17.40	8.60	7.64	0.28	0.37	5.70
12	Llaviuco	9	2	2011	1 0	30	12.60	8.30	7.37		0.94	9.37
	Matadero en Sayausí				1 1	20	13.00	8.30	8.33	0.75	0.79	4.15
	Tomebamba en Monay				1 2	30	14.20	8.34	7.62	1.11	1.24	78.21
13	Llaviuco	14	2	2011	9	40	12.50	7.51	6.86		0.90	7.90



	Matadero en Sayausí				10	25	12.10	7.70	7.98	0.73	0.80	4.29
	Tomebamba en Monay				11	20	13.70	7.90	7.90	1.12	1.28	83.78
14	Llaviuco	28	2	2011	10	40	13.70	7.97	7.02		0.73	2.19
	Matadero en Sayausí				11	43	13.40	8.05	7.80	0.52	0.56	1.66
	Tomebamba en Monay				12	45	16.60	8.10	7.30	0.48	0.56	13.98
15	Llaviuco	10	3	2011	12	30	14.40	8.26	7.34		0.70	1.62
	Matadero en Sayausí				13	25	13.30	8.30	7.98	0.39	0.43	0.83
	Tomebamba en Monay				14	20	17.40	9.05	7.74	0.20	0.36	5.37
16	Llaviuco	24	3	2011	10	10	13.50	8.38	8.04		0.77	3.21
	Matadero en Sayausí				11	0	13.20	8.43	8.15	0.40	0.46	0.99
	Tomebamba en Monay				12	5	16.00	8.11	6.97	0.42	0.55	13.44
17	Llaviuco	6	4	2011	9	35	13.90	8.90	13.80		0.80	4.22
	Matadero en Sayausí				10	20	12.00	8.36	11.80	0.82	0.84	4.88
	Tomebamba en Monay				11	20	13.90	8.36	13.80	1.20	1.16	67.69
18	Llaviuco	13	4	2011	9	45	12.70	8.18	7.31		0.88	7.23
	Matadero en Sayausí				10	36	12.30	8.26	7.92	0.80	0.73	3.36
	Tomebamba en Monay				11	40	14.70	8.18	7.55	1.08	1.17	68.96
19	Llaviuco	20	4	2011	9	5	12.00	8.37	6.80		0.88	7.23
	Matadero en Sayausí				10	0	11.10	8.40	8.27	0.80	0.78	4.01
	Tomebamba en Monay				11	0	12.70	8.48	8.04	1.20	1.32	89.55
20	Llaviuco	4	5	2011	9	13	12.10	7.15	7.03		0.78	3.52
	Matadero en Sayausí				10	15	11.40	7.55	7.94	0.40	0.59	1.91
	Tomebamba en Monay				11	10	13.20	7.69	7.83	0.79	0.93	41.94
21	Llaviuco	18	5	2011	11	25	13.50	8.94	6.76		0.75	2.66



	Matadero en Sayausí				1 2	25	12.10	8.70	7.30	0.45	0.46	0.99	
	Tomebamba en Monay				1 3	25	14.90	8.77	7.28	0.50	0.55	13.44	
22	Llaviuco	1	6	2011	9	15	10.60	8.77	12.40		1.07	15.58	
	Matadero en Sayausí				1 0	0	10.50	8.78	16.80	0.95	1.03	8.40	
	Tomebamba en Monay				1 0	55	11.50	8.32	8.23	1.30	1.39	100.16	
23	Llaviuco	14	6	2011	9	40	11.00	8.17	6.92		0.73	2.19	
	Matadero en Sayausí				1 0	45	10.70	8.07	8.05	0.18	0.47	1.04	
	Tomebamba en Monay				1 2	5	13.40	8.01	7.95	0.42	0.55	13.44	
24	Llaviuco	29	6	2011	1 1	30					0.83	5.50	
	Matadero en Sayausí				1 2	45					0.74	3.49	
	Tomebamba en Monay				1 6	0					0.81	31.09	
25	Llaviuco	13	7	2011	9	15	9.60	7.93	8.28			0.00	
	Matadero en Sayausí				1 0	10	9.60	7.91	8.62	1.30		0.00	
	Tomebamba en Monay				1 1	10	10.80	7.85	8.42	1.60		0.00	
26	Llaviuco	23	7	2014								0.00	
	Matadero en Sayausí												0.00
	Tomebamba en Monay				1 6	45	13.7		8.14		0.30	3.62	
27	Llaviuco	25	9	2014								0.00	
	Matadero en Sayausí												0.00
	Tomebamba en Monay				1 4	15	17.1		13.02		0.45	8.70	



**ANEXO C4.7:** Temperatura media diaria registrada en la estación del aeropuerto Mariscal Lamar (27 días distribuidos en el periodo 2010-2014)

**AEROPUERTO "MARISCAL LAMAR" CUENCA**

TEMPERATURA DEL AIRE

FECHA	°C
15/09/2010	14,8
27/09/2010	17,5
06/10/2010	18,8
15/10/2010	17,7
27/10/2010	17,5
10/11/2010	17,9
22/11/2010	16,2
01/12/2010	17,0
05/01/2011	15,6
12/01/2011	17,9
31/01/2011	16,9
09/02/2011	16,5
14/02/2011	16,8
28/02/2011	17,2
10/03/2011	15,2
24/03/2011	17,8
06/04/2011	15,1
13/04/2011	16,7
20/04/2011	14,2
04/05/2011	17,1
18/05/2011	15,8
01/06/2011	15,2
14/06/2011	14,5
29/06/2011	17,3
13/07/2011	13,3
23/07/2014	16,4
25/09/2014	18,5

  
 Silvio Uyaguari T.  
 METEOROLOGO





**ANEXOO C4.8:** Evapotranspiración potencial calculada aplicada para la estructuración de los submodelos

ET <sub>o</sub>	
Mes	mm/día
Enero	2.394073
Febrero	2.337097
Marzo	2.313953
Abril	2.204555
Mayo	2.076707
Junio	1.952779
Julio	1.959126
Agosto	2.132023
Septiembre	2.339688
Octubre	2.464795
Noviembre	2.533377
Diciembre	2.496958





**ANEXO C4.9: Resumen del caudal observado M067 (1964-1984) y el modelado para el escenario a1b (2045-2065)**

Modelos	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo	
bccr_bcm2_0_run1	1.0196619	12.0766915	17.9896208	26.9626772	112.454817	
cnrm_cm3_run1	1.08001989	9.928783	15.3433358	23.2391377	137.505373	
giss_aom_run1	2.72505554	16.6539048	24.2452205	34.9714688	121.035398	
miroc3_2_hires_run1	0.47646017	13.1542126	20.1384038	30.5748636	242.906067	
miroc3_2_medres_run1	1.65913237	13.9612382	21.0906621	30.8780805	133.686848	
miroc3_2_medres_run2	1.73342234	15.7583398	23.0437305	34.7102039	1243.16739	
mpi_echam5_run4	1.22024848	13.2029962	20.2268369	29.2762102	110.221168	
cccma_cgcm3_1_run1	2.40767872	14.979426	21.4477481	30.9031145	121.486991	
cccma_cgcm3_1_run2	2.36108865	15.6603449	22.94277	32.6804679	114.406714	
cccma_cgcm3_1_run3	2.05013432	15.9189088	22.5106365	31.8878024	127.761344	
cccma_cgcm3_1_t63_run1	1.28606061	11.7507269	17.3695828	25.742467	160.264287	
csiro_mk3_0_run1	1.10460428	15.3365507	22.3693747	31.8706363	106.55658	
csiro_mk3_5_run1	2.00248563	19.3576341	28.2730794	40.2950429	318.089899	
gfdl_cm2_0_run1	0.25639174	12.190749	21.8338879	35.7705629	282.78007	
giss_model_e_r_run1	2.8163E-05	0.05811648	0.23363395	0.65333198	25.8771281	
iap_fgoals1_0_g_run1	2.34386951	16.3165495	23.5871358	33.6530471	112.083606	
iap_fgoals1_0_g_run2	2.61282223	17.9210158	26.0380529	36.3099485	111.96343	
iap_fgoals1_0_g_run3	2.38284515	17.4561545	24.2747324	34.0962395	107.89738	
mri_cgcm2_3_2a_run1	1.28956274	17.0279537	28.5594022	46.1257825	168.521784	
mri_cgcm2_3_2a_run2	2.44296689	19.7300596	32.8461154	51.7828636	223.206619	
mri_cgcm2_3_2a_run3	2.02064371	16.530339	26.9125548	42.2990562	160.148144	
mri_cgcm2_3_2a_run4	1.00829147	17.1107717	28.8051068	46.6178522	176.893293	
mri_cgcm2_3_2a_run5	1.31515925	16.4815563	29.8318255	48.135619	187.334746	
ncar_ccsm3_0_run3	0.65555979	12.053832	21.6273208	37.9544557	332.174007	
ncar_ccsm3_0_run5	0.60206965	10.5168197	19.5421426	40.1287314	288.702139	
ncar_ccsm3_0_run6	1.20678842	12.4547247	21.3359787	38.7743387	270.034974	
ncar_ccsm3_0_run7	0.67939039	11.6222025	20.9874786	40.5685138	475.334718	
ncar_ccsm3_0_run8	1.65887807	12.9283394	22.0765645	40.3863377	343.463352	
ncar_pcm1_run1	2.03052725	13.2148173	19.9256596	28.5325237	107.940481	
ingv_echam4_run1	0.24524749	13.3939869	22.6888129	33.3313737	119.871386	
ipsl_cm4_run1	0.2785508	12.1400899	23.236107	36.8313627	223.963213	
miub_echo_g_run1	0.10549768	13.512998	23.6447817	35.8587097	159.730345	
miub_echo_g_run2	0.08945456	12.6321284	21.493694	32.637646	148.334706	
miub_echo_g_run3	0.16044245	12.096418	22.3339618	33.8602371	125.952547	
	M067					
Mínimo	2.14	0.00	0.06	0.23	0.65	25.88
Cuartil 1	14.37	0.62	12.15	21.01	31.14	115.77
Mediana	20.81	1.25	13.45	22.35	34.40	154.03
Cuartil 3	29.85	2.03	16.44	24.10	39.79	238.17
Máximo	104.43	2.73	19.73	32.85	51.78	1243.17



**ANEXO C4.10: Resumen de la evapotranspiración observada M067 (1964-1984) y la modelada para el escenario a1b (2045-2065)**

Modelos	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo	
bccr_bcm2_0_run1	2.11083397	2.2299724	2.48928835	2.65232092	2.70917033	
cnrm_cm3_run1	2.20596924	2.31382629	2.57753255	2.75831757	2.84054795	
giss_aom_run1	2.10205484	2.22134717	2.44900593	2.61869505	2.68829759	
miroc3_2_hires_run1	2.33825387	2.40624816	2.6048828	2.75886748	2.83653369	
miroc3_2_medres_run1	2.21419728	2.28490697	2.49496968	2.6388347	2.70959123	
miroc3_2_medres_run2	2.21743526	2.2944082	2.49491186	2.64207967	2.71394682	
mpi_echam5_run4	2.01892391	2.09646379	2.42653786	2.66031759	2.75988036	
cccma_cgcm3_1_run1	2.21999814	2.31590282	2.52091669	2.68833573	2.78667013	
cccma_cgcm3_1_run2	2.18321474	2.31756308	2.49653423	2.70047674	2.81224755	
cccma_cgcm3_1_run3	2.20459214	2.31070397	2.51729834	2.69879812	2.78817625	
cccma_cgcm3_1_t63_run1	2.25161872	2.35761102	2.53116057	2.81779789	2.8903412	
csiro_mk3_0_run1	2.1473583	2.22227403	2.46201697	2.61383556	2.68571647	
csiro_mk3_5_run1	2.3720186	2.48437824	2.71839747	2.82061958	2.9566529	
gfdl_cm2_0_run1	2.15147129	2.2921619	2.49314611	2.70781994	2.73807695	
giss_model_e_r_run1	2.10486894	2.23203775	2.49375069	2.65323438	2.70204464	
iap_fgoals1_0_g_run1	2.10370588	2.23757895	2.47077641	2.61337213	2.68807367	
iap_fgoals1_0_g_run2	2.11644582	2.23244912	2.46887094	2.61275536	2.6843531	
iap_fgoals1_0_g_run3	2.09097664	2.22155096	2.45162255	2.60856255	2.67006546	
mri_cgcm2_3_2a_run1	2.12934926	2.25990176	2.46638951	2.58464156	2.64166304	
mri_cgcm2_3_2a_run2	2.13061423	2.2558122	2.46682521	2.57942011	2.64946311	
mri_cgcm2_3_2a_run3	2.13075459	2.25703019	2.47715279	2.57717333	2.65665354	
mri_cgcm2_3_2a_run4	2.12970208	2.25596508	2.469327	2.56040499	2.63229886	
mri_cgcm2_3_2a_run5	2.13427068	2.2445874	2.45109347	2.6157792	2.63984997	
ncar_ccsm3_0_run3	2.05305468	2.23134918	2.49019499	2.6886237	2.75152824	
ncar_ccsm3_0_run5	2.06722477	2.19283188	2.49961536	2.71806552	2.76127728	
ncar_ccsm3_0_run6	2.09596467	2.19005526	2.4980794	2.71935909	2.77683813	
ncar_ccsm3_0_run7	2.0460187	2.19405047	2.49361337	2.7015202	2.76138284	
ncar_ccsm3_0_run8	2.10922774	2.19718594	2.51130374	2.73638478	2.77615198	
ncar_pcm1_run1	2.10724445	2.22068175	2.41294863	2.6106441	2.67660069	
ingv_echam4_run1	2.1309097	2.23912662	2.4737258	2.64282719	2.70673279	
ipsl_cm4_run1	2.18657501	2.28825522	2.49158369	2.65808086	2.73989516	
miub_echo_g_run1	2.16356019	2.24712639	2.45249258	2.63117366	2.73531211	
miub_echo_g_run2	2.14450558	2.26059224	2.46409137	2.63750243	2.69644136	
miub_echo_g_run3	2.19229914	2.24772704	2.45989436	2.62093958	2.70610403	
M067						
Mínimo	1.95277899	2.01892391	2.09646379	2.41294863	2.56040499	2.63229886
Cuartil 1	2.07670708	2.10546282	2.22419862	2.46466591	2.61432147	2.68630577
Mediana	2.31395346	2.13083214	2.24742671	2.48974167	2.64757406	2.71176902
Cuartil 3	2.46479466	2.19086811	2.29118523	2.49769311	2.70125933	2.77245969
Máximo	2.53337685	2.3720186	2.48437824	2.71839747	2.82061958	2.9566529



**ANEXO C4.11: Resumen de la precipitación observada M067 (1964-1984) y la modelada para el escenario a1b (2045-2065)**

Modelos	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo	
bccr_bcm2_0_run1	0	0.48274887	1.36622529	4.08813851	45.9262579	
cnrm_cm3_run1	0	0.30355302	1.18120757	3.67520574	73.8658307	
giss_aom_run1	0	0.77340311	1.67922204	4.73691015	65.8231136	
miroc3_2_hires_run1	0	0.38867373	1.47610961	4.92391087	63.1475051	
miroc3_2_medres_run1	0	0.53876889	1.58146234	4.53544322	87.5267987	
miroc3_2_medres_run2	0	0.57230816	1.71167554	5.06347379	78.0345124	
mpi_echam5_run4	0	0.50206314	1.41897433	4.36160619	71.0402243	
cccma_cgcm3_1_run1	0	0.60972156	1.58239623	4.44952505	67.1220386	
cccma_cgcm3_1_run2	0	0.64536726	1.54956715	4.50285662	58.7355896	
cccma_cgcm3_1_run3	0	0.68472032	1.58905531	4.41977238	55.5458366	
cccma_cgcm3_1_t63_run1	0	0.39573772	1.29214672	4.08625704	91.7332894	
csiro_mk3_0_run1	0	0.66589224	1.59636096	4.57818865	66.1468097	
csiro_mk3_5_run1	0	0.61573591	2.08461127	5.43511586	78.8193105	
gfdl_cm2_0_run1	0	0.36277449	1.1700901	4.18318896	167.059778	
giss_model_e_r_run1	0	0	0.05048739	0.10122625	7.66086607	
iap_fgoals1_0_g_run1	0	0.76774637	1.66654239	4.64191678	49.5175772	
iap_fgoals1_0_g_run2	0	0.85967961	1.78569641	4.8067424	101.029977	
iap_fgoals1_0_g_run3	0	0.77564372	1.68267036	4.60872017	59.296083	
mri_cgcm2_3_2a_run1	0	0.69685461	1.9931381	5.636574	95.2216521	
mri_cgcm2_3_2a_run2	0	0.65354044	1.90266956	5.72000082	75.2779917	
mri_cgcm2_3_2a_run3	0	0.76407407	1.81145395	4.99465715	69.9140663	
mri_cgcm2_3_2a_run4	0	0.61634776	1.93939183	5.45144392	73.9398066	
mri_cgcm2_3_2a_run5	0	0.73854419	1.93314329	5.36910436	57.6959866	
ncar_ccsm3_0_run3	0	0.44907716	1.43332886	4.64987725	66.6582742	
ncar_ccsm3_0_run5	0	0.38911898	1.28826303	4.97757292	68.3845826	
ncar_ccsm3_0_run6	0	0.38908105	1.38254884	5.01397632	64.2881559	
ncar_ccsm3_0_run7	0	0.45010489	1.36453104	4.94100009	68.379476	
ncar_ccsm3_0_run8	0	0.41042205	1.52637489	4.92911555	70.0799092	
ncar_pcm1_run1	0	0.58040521	1.48914387	4.23240905	61.7867142	
ingv_echam4_run1	0	0.73502575	1.8343091	4.95927484	52.3955905	
ipsl_cm4_run1	0	0.62112874	1.82347541	5.05861782	119.415641	
miub_echo_g_run1	0	0.56571631	1.77157418	5.25614981	57.4178577	
miub_echo_g_run2	0	0.58757242	1.74104012	4.75073573	74.0639381	
miub_echo_g_run3	0	0.65342315	1.74309144	4.87886585	78.0806816	
M067						
Mínimo	0.05061313	0	0.00000	0.05048739	0.10122625	7.66086607
Cuartil 1	0.55661865	0	0.44933409	1.42256296	4.46285794	59.9187408
Mediana	1.46765492	0	0.59864699	1.59270813	4.77873907	68.3820293
Cuartil 3	4.3025023	0	0.6800133	1.78216585	5.00914653	77.3453822
Máximo	60.6840991	0	0.85967961	2.08461127	5.72000082	167.059778



**ANEXO C4.12:** Resumen de la temperatura observada m067 (1964-1984) y la modelada para el escenario a1b (2045-2065)

Modelos	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo	
bccr_bcm2_0_run1	12.7641719	16.2641719	16.8058563	17.2634338	18.6640641	
cnrm_cm3_run1	13.8528422	17.3528422	17.8084517	18.4887085	19.8946044	
giss_aom_run1	12.6501937	15.9236002	16.5283566	16.9283566	18.2491372	
miroc3_2_hires_run1	14.8490478	17.7666361	18.2246001	18.6197116	20.2161294	
miroc3_2_medres_run1	13.8388436	16.5209593	17.0586149	17.6211696	18.8668047	
miroc3_2_medres_run2	13.9809207	16.6865818	17.1707281	17.7109265	18.9109265	
mpi_echam5_run4	11.4431551	14.4622002	16.3899135	18.4427285	21.0889714	
cccma_cgcm3_1_run1	13.8522054	16.8448918	17.3522054	17.7408709	19.0130301	
cccma_cgcm3_1_run2	13.4794978	16.8048241	17.3374983	17.7497393	18.9582201	
cccma_cgcm3_1_run3	13.696344	16.7431357	17.4222799	17.8331692	18.9819061	
cccma_cgcm3_1_t63_run1	14.5369512	17.6397743	18.1336741	18.7397743	19.8183039	
csiro_mk3_0_run1	13.2114908	15.9560216	16.5560216	16.9913291	18.3877544	
csiro_mk3_5_run1	15.4696146	18.1418953	18.930531	19.4418953	21.1158813	
gfdl_cm2_0_run1	13.5348305	16.8777832	17.3266255	17.7917651	18.7710263	
giss_model_e_r_run1	12.6791082	16.0598925	16.7926119	17.2790718	18.7250939	
iap_fgoals1_0_g_run1	12.7181698	15.8736111	16.6276609	17.0430865	18.4663769	
iap_fgoals1_0_g_run2	12.851276	15.9843636	16.6322821	17.1111803	18.485455	
iap_fgoals1_0_g_run3	12.5867784	15.8244497	16.4896249	16.8817233	18.3244497	
mri_cgcm2_3_2a_run1	12.864635	15.5882313	16.2707318	16.864635	18.3519445	
mri_cgcm2_3_2a_run2	12.8864205	15.4371849	16.2371849	16.8891048	18.2891048	
mri_cgcm2_3_2a_run3	12.8741268	15.543447	16.3071455	16.8907263	18.5264854	
mri_cgcm2_3_2a_run4	12.8746902	15.316599	16.1746902	16.8462554	18.3552934	
mri_cgcm2_3_2a_run5	12.9917224	15.6692271	16.2851696	16.731584	18.1747389	
ncar_ccsm3_0_run3	12.3771897	16.3470182	17.0293941	17.6934384	18.7293941	
ncar_ccsm3_0_run5	12.5151859	16.4328519	17.0738029	17.8030374	19.0030374	
ncar_ccsm3_0_run6	12.7366059	16.3664273	17.0591896	17.8535681	18.9020144	
ncar_ccsm3_0_run7	12.3045553	16.3045553	17.1095106	17.7743334	18.7801556	
ncar_ccsm3_0_run8	12.8796392	16.4592228	17.1146233	17.8592228	18.9850053	
ncar_pcm1_run1	12.701794	15.8729398	16.3993826	16.8052124	18.0869707	
ingv_echam4_run1	13.0552096	16.0123464	16.7463957	17.2552096	18.5123464	
ipsl_cm4_run1	13.5136274	16.5332141	17.0332141	17.4332141	18.7020917	
miub_echo_g_run1	13.2795413	16.195409	16.7715249	17.095409	18.2863007	
miub_echo_g_run2	13.085153	16.094093	16.7068735	17.1197914	18.4098382	
miub_echo_g_run3	13.5717286	16.2128551	16.7138788	17.1028251	18.3651525	
	M067					
Mínimo	11.1	11.4431551	14.4622002	16.1746902	16.731584	18.0869707
Cuartil 1	14.4	12.7227788	15.8861084	16.5352728	17.0042684	18.370803
Mediana	15	12.9390715	16.2385135	16.7992341	17.356143	18.7135928
Cuartil 3	15.5	13.5625041	16.6482399	17.1567019	17.8002193	18.9759846
Máximo	16.8	15.4696146	18.1418953	18.930531	19.4418953	21.1158813



---

**ANEXO C4.13:** Corrida de la DBO para los diferentes algoritmos

**LinearRegression**

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.functions.LinearRegression -S 1 -R 1.0E-8

Relation: DBO

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Carga (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

Linear Regression Model

Carga (Kg/dia) =

$$\begin{aligned} &256.3342 * \text{CAUDAL (m3/s)} + \\ &1260.3404 * \text{Precipitación (mm)} + \\ &6202.3377 * \text{Eto (mm)} + \\ &-364.2806 * \text{T (°C)} + \\ &-7563.9633 \end{aligned}$$

Time taken to build model: 0.01 seconds

=== Evaluation on training set ===



=== Summary ===

Correlation coefficient	0.8041
Mean absolute error	6853.7332
Root mean squared error	10134.6709
Relative absolute error	51.1411 %
Root relative squared error	59.4449 %
Total Number of Instances	27

### LeastMedSq

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.functions.LeastMedSq -S 4 -G 0

Relation: DBO

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Carga (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

Linear Regression Model

Carga (Kg/dia) =

195.9088 \* CAUDAL (m3/s) +



$242.625 * \text{Precipitación (mm)} +$   
 $1711.6865 * \text{Eto (mm)} +$   
 $-87.3176 * T (^{\circ}\text{C}) +$   
 $-2221.2292$

Time taken to build model: 0.82 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.7898
Mean absolute error	5483.6533
Root mean squared error	12245.08
Relative absolute error	40.9179 %
Root relative squared error	71.8236 %
Total Number of Instances	27

### SMOreg

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.functions.SMOreg -C 1.0 -N 0 -I  
 "weka.classifiers.functions.supportVector.RegSMOImproved -L 0.001 -W 1 -P  
 1.0E-12 -T 0.001 -V" -K "weka.classifiers.functions.supportVector.PolyKernel -C  
 250007 -E 1.0"

Relation: DBO

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)  
 Precipitación (mm)  
 Eto (mm)  
 T ( $^{\circ}\text{C}$ )



Carga (Kg/dia)

Test mode: evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

SMOreg

weights (not support vectors):

- + 0.6549 \* (normalized) CAUDAL (m3/s)
- + 0.0285 \* (normalized) Precipitaión (mm)
- 0.0389 \* (normalized) Eto (mm)
- 0.0743 \* (normalized) T (°C)
- + 0.0921

Number of kernel evaluations: 378 (95.491% cached)

Time taken to build model: 0.04 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.7823
Mean absolute error	5435.059
Root mean squared error	12147.4982
Relative absolute error	40.5553 %
Root relative squared error	71.2512 %
Total Number of Instances	27

### M5Rules

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.rules.M5Rules -M 4.0

Relation: DBO

Instances: 27





Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Carga (Kg/dia)

Test mode: evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

M5 pruned model rules

(using smoothed linear models) :

Number of Rules: 1

Rule: 1

Carga (Kg/dia) =

283.9337 \* CAUDAL (m3/s)

+ 2809.3485 [27/63.048%]

Time taken to build model: 0.02 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.7762
Mean absolute error	6806.8348
Root mean squared error	10748.971
Relative absolute error	50.7912 %
Root relative squared error	63.0481 %
Total Number of Instances	27



**M5P**

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.trees.M5P -M 4.0

Relation: DBO

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Carga (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

M5 pruned model tree:

(using smoothed linear models)

LM1 (27/63.048%)

LM num: 1

Carga (Kg/dia) =

283.9337 \* CAUDAL (m3/s)

+ 2809.3485

Number of Rules: 1

Time taken to build model: 0.01 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===



---

Correlation coefficient	0.7762
Mean absolute error	6806.8348
Root mean squared error	10748.971
Relative absolute error	50.7912 %
Root relative squared error	63.0481 %
Total Number of Instances	27



---

**ANEXO C4.14:** Corrida de la DQO para los diferentes algoritmos

**LinearRegression**

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.functions.LinearRegression -S 1 -R 1.0E-8

Relation: DQO2Run

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Carga (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

Linear Regression Model

Carga (Kg/dia) =

2975.184 \* CAUDAL (m3/s) +

-1705.5796 \* Precipitación (mm) +

82128.7119 \* Eto (mm) +

-8825.3262 \* T (°C) +

-51361.4141

Time taken to build model: 0.02 seconds



=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.9639
Mean absolute error	26306.5558
Root mean squared error	37656.5985
Relative absolute error	27.4891 %
Root relative squared error	26.6229 %
Total Number of Instances	27

### LeastMedSq

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.functions.LeastMedSq -S 4 -G 0

Relation: DQO2Run

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitaión (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Carga (Kg/día)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

Linear Regression Model



Carga (Kg/día)=

$$\begin{aligned}
 &2642.0473 * \text{CAUDAL (m}^3\text{/s)} + \\
 &-855.4202 * \text{Precipitación (mm)} + \\
 &1303.638 * \text{Eto (mm)} + \\
 &4925.2721 * \text{T (}^\circ\text{C)} + \\
 &-88095.9685
 \end{aligned}$$

Time taken to build model: 0.35 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.9567
Mean absolute error	23828.9141
Root mean squared error	44606.5365
Relative absolute error	24.9001 %
Root relative squared error	31.5364 %
Total Number of Instances	27

### **SMOreg**

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.functions.SMOreg -C 1.0 -N 0 -I

"weka.classifiers.functions.supportVector.RegSMOImproved -L 0.001 -W 1 -P  
1.0E-12 -T 0.001 -V" -K "weka.classifiers.functions.supportVector.PolyKernel -C  
250007 -E 1.0"

Relation: DQO2Run



Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Carga (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

SMOreg

weights (not support vectors):

- + 0.7258 \* (normalized) CAUDAL (m3/s)
- 0.0482 \* (normalized) Precipitación (mm)
- + 0.0627 \* (normalized) Eto (mm)
- 0.0717 \* (normalized) T (°C)
- + 0.008

Number of kernel evaluations: 378 (93.426% cached)

Time taken to build model: 0.01 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===



Correlation coefficient	0.9629
Mean absolute error	23576.7428
Root mean squared error	50400.512
Relative absolute error	24.6366 %
Root relative squared error	35.6327 %
Total Number of Instances	27

**M5Rules**

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.rules.M5Rules -M 4.0

Relation: DQO2Run

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Carga (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

M5 pruned model rules

(using smoothed linear models) :

Number of Rules: 1





Rule: 1

Carga (Kg/dia) =

$$2910.1821 * \text{CAUDAL (m3/s)}$$

$$- 12540.1135 [27/28.363\%]$$

Time taken to build model: 0.01 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.9589
Mean absolute error	28631.4912
Root mean squared error	40118.5709
Relative absolute error	29.9185 %
Root relative squared error	28.3635 %
Total Number of Instances	27

**M5P**

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.trees.M5P -M 4.0

Relation: DQO2Run

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitai3n (mm)

Eto (mm)



T (°C)

Carga (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

M5 pruned model tree:

(using smoothed linear models)

LM1 (27/28.363%)

LM num: 1

Carga (Kg/dia) =

2910.1821 \* CAUDAL (m3/s)

- 12540.1135

Number of Rules : 1

Time taken to build model: 0.01 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.9589
Mean absolute error	28631.4912
Root mean squared error	40118.5709
Relative absolute error	29.9185 %
Root relative squared error	28.3635 %
Total Number of Instances	27



---

**ANEXO C4.15:** Corrida de los Nitritos para los diferentes algoritmos

**LinearRegression**

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.functions.LinearRegression -S 1 -R 1.0E-8

Relation: Nitritos\_Tom\_Carga

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Nitrit (kg/día)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

Linear Regression Model

Nitritos (kg/día) =

$$\begin{aligned} &0.4876 * \text{CAUDAL (m3/s)} + \\ &2.6521 * \text{Precipitación (mm)} + \\ &-31.9946 * \text{Eto (mm)} + \\ &-3.8893 * \text{T (°C)} + \\ &170.3068 \end{aligned}$$

Time taken to build model: 0 seconds

=== Evaluation on training set ===



=== Summary ===

Correlation coefficient	0.7168
Mean absolute error	26.9168
Root mean squared error	33.3752
Relative absolute error	71.5322 %
Root relative squared error	69.7322 %
Total Number of Instances	27

### LeastMedSq

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.functions.LeastMedSq -S 4 -G 0

Relation: Nitritos\_Tom\_Carga

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Nitrit (kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

Linear Regression Model

Nitrit (kg/dia) =

1.4399 \* CAUDAL (m3/s) +

0.1518 \* Precipitación (mm) +



6.4013 \* Eto (mm) +  
 1.184 \* T (°C) +  
 -18.0818

Time taken to build model: 0.48 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.6652	
Mean absolute error	30.6181	
Root mean squared error	49.9078	
Relative absolute error	81.3684 %	
Root relative squared error	104.2747 %	
	Total Number of Instances	27

### SMOreg

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.functions.SMOreg -C 1.0 -N 2 -I  
 "weka.classifiers.functions.supportVector.RegSMOImproved -L 0.001 -W 1 -P  
 1.0E-12 -T 0.001 -V" -K "weka.classifiers.functions.supportVector.PolyKernel -C  
 250007 -E 1.0"

Relation: Nitritos\_Tom\_Carga

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)  
 Precipitación (mm)  
 Eto (mm)  
 T (°C)  
 Nitrit (kg/dia)

Test mode:evaluate on training data



---

=== Classifier model (full training set) ===

SMOreg

weights (not support vectors):

- + 0.6532 \* CAUDAL (m3/s)
- + 2.3316 \* Precipitación (mm)
- 0.901 \* Eto (mm)
- 0.4545 \* T (°C)
- + 35.6556

Number of kernel evaluations: 378 (98.363% cached)

Time taken to build model: 0.03 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.6982
Mean absolute error	25.4692
Root mean squared error	34.382
Relative absolute error	67.6851 %
Root relative squared error	71.8358 %
Total Number of Instances	27

### **M5Rules**

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.rules.M5Rules -M 4.0

Relation: Nitritos\_Tom\_Carga

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)



Eto (mm)

T (°C)

Nitrit (kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

M5 pruned model rules

(using smoothed linear models) :

Number of Rules : 2

Rule: 1

IF

Eto (mm) > 2.326

THEN

Nitrit (kg/dia) =

0.3442 \* CAUDAL (m3/s)

+ 30.2372 [15/33.596%]

Rule: 2

Nitrit (kg/dia) =

0.7257 \* CAUDAL (m3/s)

+ 181.5166 \* Eto (mm)

- 327.3586 [12/49.963%]

Time taken to build model: 0.03 seconds



=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.8895
Mean absolute error	17.8704
Root mean squared error	22.4763
Relative absolute error	47.491 %
Root relative squared error	46.9607 %
Total Number of Instances	27

### M5P

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.trees.M5P -M 4.0

Relation: Nitritos\_Tom\_Carga

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Nitrit (kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

M5 pruned model tree:

(using smoothed linear models)

Eto (mm) <= 2.326 : LM1 (12/51.089%)





---

Eto (mm) > 2.326 : LM2 (15/33.596%)

LM num: 1

Nitrit (kg/dia) =

0.705 \* CAUDAL (m3/s)

+ 80.6741 \* Eto (mm)

- 126.8553

LM num: 2

Nitrit (kg/dia) =

0.3442 \* CAUDAL (m3/s)

+ 30.2372

Number of Rules : 2

Time taken to build model: 0.06 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.8547
Mean absolute error	20.3129
Root mean squared error	25.5848
Relative absolute error	53.982 %
Root relative squared error	53.4555 %
Total Number of Instances	27



---

**ANEXO C4.16:** Corrida de la OD para los diferentes algoritmos

**LinearRegression**

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.functions.LinearRegression -S 1 -R 1.0E-8

Relation: OD

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Carga (Kg/dia)

Test mode: evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

Linear Regression Model

Carga (Kg/dia) =

710.6878 \* CAUDAL (m3/s) +

693.1383 \* Precipitación (mm) +

2775.4654 \* Eto (mm) +

-603.8685 \* T (°C) +

2422.2245

Time taken to build model: 0.01 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===



---

Correlation coefficient	0.9852
Mean absolute error	2994.9443
Root mean squared error	5960.1037
Relative absolute error	11.3808 %
Root relative squared error	17.1331 %
Total Number of Instances	27

### LeastMedSq

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.functions.LeastMedSq -S 4 -G 0

Relation: OD

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Carga (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

Linear Regression Model

Carga (Kg/dia) =

682.3768 \* CAUDAL (m3/s) +

-7.6311 \* Precipitación (mm) +

-398.4745 \* Eto (mm) +

59.5261 \* T (°C) +

-71.662



Time taken to build model: 0.48 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.9831
Mean absolute error	2157.5487
Root mean squared error	6969.7704
Relative absolute error	8.1987 %
Root relative squared error	20.0355 %
Total Number of Instances	27

### **SMOreg**

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.functions.SMOreg -C 1.0 -N 0 -I  
"weka.classifiers.functions.supportVector.RegSMOImproved -L 0.001 -W 1 -P  
1.0E-12 -T 0.001 -V" -K "weka.classifiers.functions.supportVector.PolyKernel -C  
250007 -E 1.0"

Relation: OD

Instances: 27

Attributes: 5

- CAUDAL (m3/s)
- Precipitación (mm)
- Eto (mm)
- T (°C)
- Carga (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===



SMOreg

weights (not support vectors):

- + 0.946 \* (normalized) CAUDAL (m3/s)
- 0.0029 \* (normalized) Precipitación (mm)
- + 0.0044 \* (normalized) Eto (mm)
- 0.0096 \* (normalized) T (°C)
- + 0.0027

Number of kernel evaluations: 378 (98.571% cached)

Time taken to build model: 0.02 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.9833
Mean absolute error	2078.8143
Root mean squared error	6821.5979
Relative absolute error	7.8995 %
Root relative squared error	19.6096 %
Total Number of Instances	27

### **M5Rules**

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.rules.M5Rules -M 4.0

Relation: OD

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)



T (°C)

Carga (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

M5 pruned model rules

(using smoothed linear models) :

Number of Rules : 1

Rule: 1

Carga (Kg/dia) =

733.86 \* CAUDAL (m3/s)

- 238.4017 [27/18.244%]

Time taken to build model: 0.02 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.9832
Mean absolute error	2402.9245
Root mean squared error	6346.6786
Relative absolute error	9.1311 %
Root relative squared error	18.2444 %
Total Number of Instances	27

**M5P**

=== Run information ===



---

Scheme: weka.classifiers.trees.M5P -M 4.0

Relation: OD

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Carga (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

M5 pruned model tree:

(using smoothed linear models)

LM1 (27/18.244%)

LM num: 1

Carga (Kg/dia) =

733.86 \* CAUDAL (m3/s)

- 238.4017

Number of Rules : 1

Time taken to build model: 0.02 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient            0.9832

Mean absolute error            2402.9245



---

Root mean squared error	6346.6786
Relative absolute error	9.1311 %
Root relative squared error	18.2444 %
Total Number of Instances	27



**ANEXO C4.17: Corrida de la CT para los diferentes algoritmos****LinearRegression**

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.functions.LinearRegression -S 1 -R 1.0E-8

Relation: COLIFORMES TOTALES.

Instances: 27

Attributes: 5

COLIFORMES TOTALES (NMP/día)

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Test mode: evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

Linear Regression Model

COLIFORMES TOTALES (NMP/día) =

1.3185249570781478E15 \* CAUDAL (m3/s) +

1.7212297899484366E16 \* Precipitación (mm) +

-3.2232729041295392E16 \* Eto (mm) +

4.909839645682466E15 \* T (°C) +

7.482796351189312E15

Time taken to build model: 0.03 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient                    0.4306



---

Mean absolute error	1.10204953087388016E17
Root mean squared error	1.97487658267302112E17
Relative absolute error	82.5978 %
Root relative squared error	90.2555 %
Total Number of Instances	27

### LeastMedSq

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.functions.LeastMedSq -S 4 -G 0

Relation: COLIFORMES TOTALES

Instances: 27

Attributes: 5

COLIFORMES TOTALES (NMP/100ML)

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

Linear Regression Model

$CT \text{ (NMP/100ML)} = 21930272.7554 * Q + 842877.9061 * P + 248560092.8831 * ETo + -50881939.848 * T + 366568955.8987.$

Time taken to build model: 0.79 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===




---

Correlation coefficient	0.3781
Mean absolute error	9517665798.103
Root mean squared error	23493473891.5614
Relative absolute error	71.3342 %
Root relative squared error	107.3695 %
Total Number of Instances	27

### SMOreg

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.functions.SMOreg -C 1.0 -N 0 -I  
 "weka.classifiers.functions.supportVector.RegSMOImproved -L 0.001 -W 1 -P  
 1.0E-12 -T 0.001 -V" -K "weka.classifiers.functions.supportVector.PolyKernel -C  
 250007 -E 1.0"

Relation: COLIFORMES TOTALES

Instances: 27

Attributes: 5

COLIFORMES TOTALES (NMP/100ML)

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

SMOreg

weights (not support vectors):

+ 0.2717 \* (normalized) CAUDAL (m3/s)

- 0.0107 \* (normalized) Precipitación (mm)



- 0.0227 \* (normalized) Eto (mm)
- 0.0037 \* (normalized) T (°C)
- + 0.023

Number of kernel evaluations: 378 (96.334% cached)

Time taken to build model: 0.06 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.3702
Mean absolute error	8733781720.3077
Root mean squared error	21200543342.8886
Relative absolute error	65.459 %
Root relative squared error	96.8904 %
Total Number of Instances	27

### M5Rules

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.rules.M5Rules -M 4.0

Relation: COLIFORMES TOTALES

Instances: 27

Attributes: 5

COLIFORMES TOTALES (NMP/100ML)

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)



T (°C)

Test mode: evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

M5 pruned model rules

(using smoothed linear models) :

Number of Rules: 1

Rule: 1

COLIFORMES TOTALES (NMP/100ML) =

176697229.6052 \* CAUDAL (m3/s)

+ 4416844143.1792 [27/92.647%]

Time taken to build model: 0.04 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.3764
Mean absolute error	11567980534.4901
Root mean squared error	20272027467.8058
Relative absolute error	86.7011 %
Root relative squared error	92.6469 %
Total Number of Instances	27

### M5P

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.trees.M5P -M 4.0

Relation: COLIFORMES TOTALES

Instances: 27

Attributes: 5



COLIFORMES TOTALES (NMP/100ML)

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Test mode: evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

M5 pruned model tree:

(using smoothed linear models)

LM1 (27/92.647%)

LM num: 1

COLIFORMES TOTALES (NMP/100ML) =

176697229.6052 \* CAUDAL (m3/s)

+ 4416844143.1792

Number of Rules: 1

Time taken to build model: 0.02 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.3764
Mean absolute error	11567980534.4901
Root mean squared error	20272027467.8058
Relative absolute error	86.7011 %
Root relative squared error	92.6469 %
Total Number of Instances	27



---

**ANEXO C4.18:** Corrida de la SST para los diferentes algoritmos

**LinearRegression**

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.functions.LinearRegression -S 1 -R 1.0E-8

Relation: SST\_Tom\_Carga

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

SST (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

Linear Regression Model

SST (Kg/dia) =

3874.9439 \* CAUDAL (m3/s) +

7513.2428 \* Precipitación (mm) +

192994.1363 \* Eto (mm) +

-23474.9842 \* T (°C) +

-78042.2604

Time taken to build model: 0.01 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===



---

Correlation coefficient	0.8624
Mean absolute error	57010.7598
Root mean squared error	114337.2678
Relative absolute error	35.9724 %
Root relative squared error	50.6269 %
Total Number of Instances	27

### LeastMedSq

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.functions.LeastMedSq -S 4 -G 0

Relation: SST\_Tom\_Carga

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

SST (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

Linear Regression Model

SST (Kg/dia) =

670.2216 \* CAUDAL (m3/s) +

61.17 \* Precipitación (mm) +

1628.3285 \* Eto (mm) +

-35.0215 \* T (°C) +





-59.1006

Time taken to build model: 0.44 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.8433
Mean absolute error	96426.5865
Root mean squared error	221740.6856
Relative absolute error	60.8429 %
Root relative squared error	98.1835 %
Total Number of Instances	27

### **SMOreg**

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.functions.SMOreg -C 1.0 -N 2 -I  
"weka.classifiers.functions.supportVector.RegSMOImproved -L 0.001 -W 1 -P  
1.0E-12 -T 0.001 -V" -K "weka.classifiers.functions.supportVector.PolyKernel -C  
250007 -E 1.0"

Relation: SST\_Tom\_Carga

Instances: 27

Attributes: 5

- CAUDAL (m3/s)
- Precipitación (mm)
- Eto (mm)
- T (°C)
- SST (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===



SMOreg

weights (not support vectors):

- + 703.45 \* CAUDAL (m3/s)
- + 36.7449 \* Precipitación (mm)
- 1.7177 \* Eto (mm)
- 12.2 \* T (°C)
- + 4676.5511

Number of kernel evaluations: 378 (88.221% cached)

Time taken to build model: 0.01 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.8422
Mean absolute error	94983.6454
Root mean squared error	219548.0257
Relative absolute error	59.9324 %
Root relative squared error	97.2126 %
Total Number of Instances	27

### M5Rules

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.rules.M5Rules -M 4.0

Relation: SST\_Tom\_Carga

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)



Eto (mm)

T (°C)

SST (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

M5 pruned model rules

(using smoothed linear models) :

Number of Rules : 1

Rule: 1

SST (Kg/dia) =

4079.0068 \* CAUDAL (m3/s)

- 14473.2069 [27/53.981%]

Time taken to build model: 0.02 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.8418
Mean absolute error	53427.4128
Root mean squared error	121912.7415
Relative absolute error	33.7114 %
Root relative squared error	53.9812 %
Total Number of Instances	27



**M5P**

==== Run information ====

Scheme:weka.classifiers.trees.M5P -M 4.0

Relation: SST\_Tom\_Carga

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

SST (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

==== Classifier model (full training set) ====

M5 pruned model tree:

(using smoothed linear models)

LM1 (27/53.981%)

LM num: 1

SST (Kg/dia) =

4079.0068 \* CAUDAL (m3/s)

- 14473.2069

Number of Rules : 1

Time taken to build model: 0 seconds

==== Evaluation on training set ====

==== Summary ====



---

Correlation coefficient	0.8418
Mean absolute error	53427.4128
Root mean squared error	121912.7415
Relative absolute error	33.7114 %
Root relative squared error	53.9812 %
Total Number of Instances	27

**ANEXO C4.19:** Corrida de los Nitratos para los diferentes algoritmos**LinearRegression**

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.functions.LinearRegression -S 0 -R 1.0E-8

Relation: Nitrat\_Tom\_Carga

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Nitrat (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

## Linear Regression Model

Nitrat (Kg/dia) =

$$\begin{aligned} & 21.0379 * \text{CAUDAL (m3/s)} + \\ & -52.9833 * \text{Precipitación (mm)} + \\ & 961.843 * \text{Eto (mm)} + \\ & -172.9992 * \text{T (°C)} + \\ & 791.0512 \end{aligned}$$

Time taken to build model: 0 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient            0.9206



---

Mean absolute error	263.1873
Root mean squared error	416.2679
Relative absolute error	36.487 %
Root relative squared error	39.0436 %
Total Number of Instances	27

### LeastMedSq

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.functions.LeastMedSq -S 4 -G 0

Relation: Nitrat\_Tom\_Carga

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Nitrat (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

Linear Regression Model

Nitrat (Kg/dia) =

14.3902 \* CAUDAL (m3/s) +

-7.5947 \* Precipitación (mm) +

-101.7214 \* Eto (mm) +

-0.5757 \* T (°C) +



341.3184

Time taken to build model: 0.38 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.8975
Mean absolute error	271.8093
Root mean squared error	564.348
Relative absolute error	37.6823 %
Root relative squared error	52.9327 %
Total Number of Instances	27

### **SMOreg**

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.functions.SMOreg -C 1.0 -N 2 -I  
"weka.classifiers.functions.supportVector.RegSMOImproved -L 0.001 -W 1 -P  
1.0E-12 -T 0.001 -V" -K "weka.classifiers.functions.supportVector.PolyKernel -C  
250007 -E 1.0"

Relation: Nitrat\_Tom\_Carga

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Nitrat (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data





=== Classifier model (full training set) ===

SMOreg

weights (not support vectors):

- + 20.1247 \* CAUDAL (m3/s)
- 2.3708 \* Precipitación (mm)
- + 1.3343 \* Eto (mm)
- 1.0955 \* T (°C)
- + 74.7555

Number of kernel evaluations: 378 (92.513% cached)

Time taken to build model: 0.01 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.8987
Mean absolute error	224.8473
Root mean squared error	469.4195
Relative absolute error	31.1717 %
Root relative squared error	44.0289 %
Total Number of Instances	27

## M5RULES

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.rules.M5Rules -M 4.0

Relation: Nitrat\_Tom\_Carga

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)



Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Nitrat (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

M5 pruned model rules

(using smoothed linear models) :

Number of Rules : 4

Rule: 1

IF

CAUDAL (m3/s) <= 36.515

CAUDAL (m3/s) > 4.625

THEN

Nitrat (Kg/dia) =

12.3804 \* CAUDAL (m3/s)

- 27.1489 \* Precipitación (mm)

+ 424.3425 \* Eto (mm)

- 76.3232 \* T (°C)

+ 456.6756 [10/9.571%]

Rule: 2

IF

CAUDAL (m3/s) <= 22.91



THEN

$$\begin{aligned} \text{Nitrat (Kg/dia)} = & \\ & 12.9149 * \text{CAUDAL (m3/s)} \\ & + 36.3843 [9/1.817\%] \end{aligned}$$

Rule: 3

IF

$$T (^{\circ}\text{C}) > 14.65$$

THEN

$$\begin{aligned} \text{Nitrat (Kg/dia)} = & \\ & 658.9553 * \text{Eto (mm)} \\ & - 577.5873 * T (^{\circ}\text{C}) \\ & + 9240.8354 [6/18.725\%] \end{aligned}$$

Rule: 4

$$\begin{aligned} \text{Nitrat (Kg/dia)} = & \\ & + 4044.1507 [2/100\%] \end{aligned}$$

Time taken to build model: 0.03 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.9437
Mean absolute error	205.0633
Root mean squared error	360.648



---

Relative absolute error	28.429 %
Root relative squared error	33.8268 %
Total Number of Instances	27

## M5P

=== Run information ===

Scheme:weka.classifiers.trees.M5P -M 4.0

Relation: Nitrat\_Tom\_Carga

Instances: 27

Attributes: 5

CAUDAL (m3/s)

Precipitación (mm)

Eto (mm)

T (°C)

Nitrat (Kg/dia)

Test mode:evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

M5 pruned model tree:

(using smoothed linear models)

CAUDAL (m3/s) <= 36.515 :

| CAUDAL (m3/s) <= 4.625 : LM1 (9/2.183%)

| CAUDAL (m3/s) > 4.625 : LM2 (10/9.571%)

CAUDAL (m3/s) > 36.515 :

| T (°C) <= 14.65 : LM3 (2/60.011%)

| T (°C) > 14.65 : LM4 (6/23.561%)



LM num: 1

Nitrat (Kg/dia) =

$$\begin{aligned} & 12.5096 * \text{CAUDAL (m3/s)} \\ & - 23.375 * \text{Precipitai3n (mm)} \\ & + 424.3425 * \text{Eto (mm)} \\ & - 76.3232 * T (^{\circ}\text{C}) \\ & + 405.1223 \end{aligned}$$

LM num: 2

Nitrat (Kg/dia) =

$$\begin{aligned} & 12.3804 * \text{CAUDAL (m3/s)} \\ & - 27.1489 * \text{Precipitai3n (mm)} \\ & + 424.3425 * \text{Eto (mm)} \\ & - 76.3232 * T (^{\circ}\text{C}) \\ & + 456.6756 \end{aligned}$$

LM num: 3

Nitrat (Kg/dia) =

$$\begin{aligned} & 13.7204 * \text{CAUDAL (m3/s)} \\ & - 34.5544 * \text{Precipitai3n (mm)} \\ & + 627.2889 * \text{Eto (mm)} \\ & - 360.9961 * T (^{\circ}\text{C}) \\ & + 5129.9907 \end{aligned}$$

LM num: 4

Nitrat (Kg/dia) =



13.7204 \* CAUDAL (m3/s)  
- 34.5544 \* Precipitación (mm)  
+ 856.4908 \* Eto (mm)  
- 313.7255 \* T (°C)  
+ 3730.1066

Number of Rules : 4

Time taken to build model: 0.03 seconds

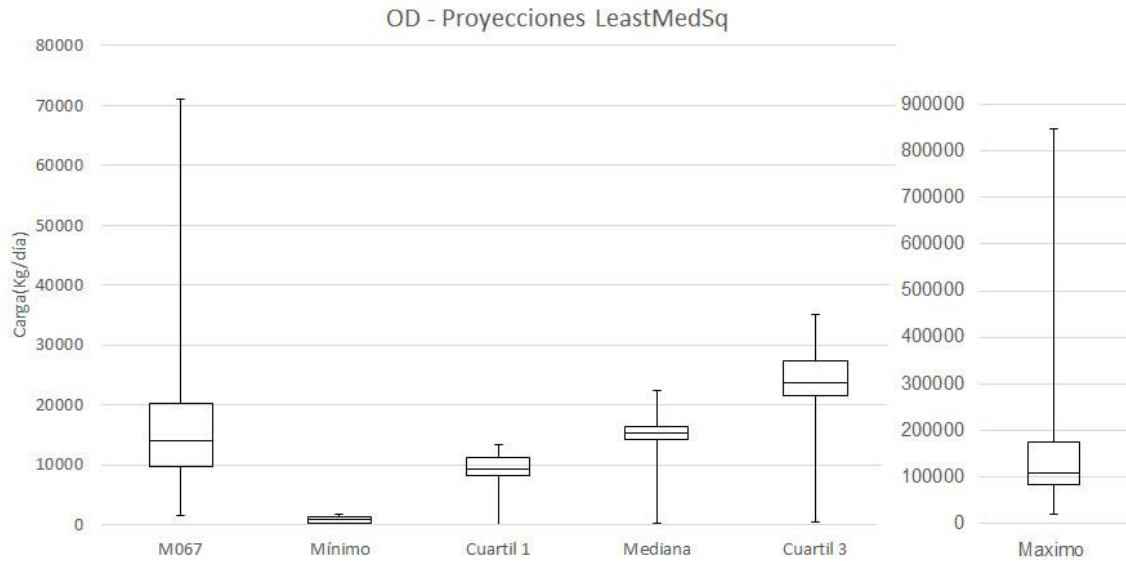
=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.9428
Mean absolute error	199.4122
Root mean squared error	359.5686
Relative absolute error	27.6455 %
Root relative squared error	33.7255 %
Total Number of Instances	27



**ANEXO C4.20:** Proyecciones para el OD obtenidas mediante la ecuación establecida por el algoritmo leastmedsq y el resumen de los datos correspondientes



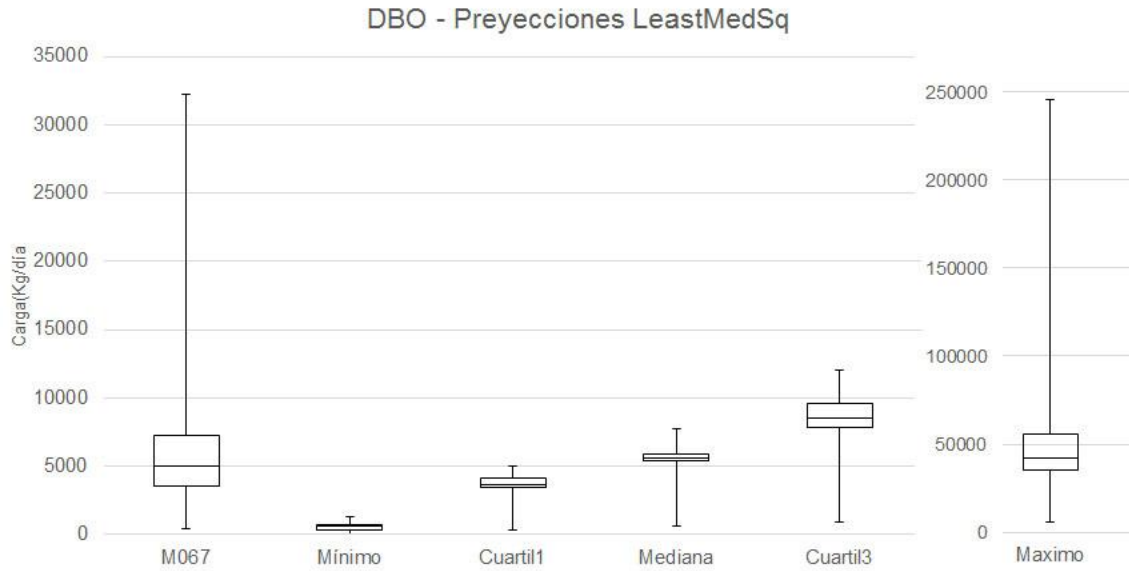


Modelos	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo	
bccr_bcm2_0_run1	690.4798236	8190.504941	12213.33338	18286.26135	76674.38124	
cnrm_cm3_run1	676.3454287	6721.729363	10419.46965	15807.68657	93829.80039	
giss_aom_run1	1871.695168	11288.64376	16479.30093	23737.16023	82330.28432	
miroc3_2_hires_run1	319.920752	8955.320792	13672.57135	20777.95478	165531.0567	
miroc3_2_medres_run1	1170.707433	9479.651268	14324.57451	20986.35436	91148.05715	
miroc3_2_medres_run2	1237.092282	10681.33333	15668.28902	23615.42237	848236.1228	
mpi_echam5_run4	823.4823737	8904.705164	13741.6908	19843.4115	74925.78319	
cccma_cgcm3_1_run1	1677.896988	10164.44023	14582.98429	21010.40283	82653.35342	
cccma_cgcm3_1_run2	1638.50879	10649.37286	15592.16	22187.39348	78002.86299	
cccma_cgcm3_1_run3	1428.922016	10805.24933	15295.7535	21699.04451	86948.90182	
cccma_cgcm3_1_t63_run1	819.8104213	7974.092959	11828.23361	17526.56097	109227.7089	
csiro_mk3_0_run1	733.9148591	10409.13734	15191.02683	21630.7729	72454.6845	
csiro_mk3_5_run1	1295.4901	13170.98695	19281.65505	27448.02261	216862.4575	
gfdl_cm2_0_run1	0	8265.717193	14854.00346	24339.20999	192820.8971	
giss_model_e_r_run1	0	0	119.5659784	407.4666525	17638.15814	
iap_fgoals1_0_g_run1	1615.133163	11053.6415	16034.77982	22884.34772	76219.37288	
iap_fgoals1_0_g_run2	1799.111468	12144.51818	17709.04622	24682.1295	76226.10475	
iap_fgoals1_0_g_run3	1633.401353	11838.65222	16489.03112	23178.95157	73371.20968	
mri_cgcm2_3_2a_run1	839.5638699	11523.23823	19406.21877	31377.28199	114268.6603	
mri_cgcm2_3_2a_run2	1679.067167	13331.96288	22330.30625	35201.38979	151911.961	
mri_cgcm2_3_2a_run3	1414.155901	11173.75363	18293.81637	28739.49192	108756.8905	
mri_cgcm2_3_2a_run4	435.8664166	11579.8147	19550.30697	31679.58511	120375.4294	
mri_cgcm2_3_2a_run5	872.6144064	11155.6135	20265.17353	32729.91792	127634.5608	
ncar_ccsm3_0_run3	333.7733538	8133.551255	14656.72867	25880.17826	226592.7563	
ncar_ccsm3_0_run5	297.4113901	7101.742919	13250.96566	27334.91895	196776.4391	
ncar_ccsm3_0_run6	716.0913498	8413.630488	14500.74126	26405.61173	184174.1413	
ncar_ccsm3_0_run7	314.2403582	7864.822843	14248.15118	27592.9685	324144.638	
ncar_ccsm3_0_run8	1035.270517	8749.98056	15000.64592	27450.13844	234294.1068	
ncar_pcm1_run1	1393.541124	8925.455266	13515.32042	19365.25594	73402.55536	
ingv_echam4_run1	51.63012327	9059.635623	15406.51211	22662.6003	81542.53975	
ipsl_cm4_run1	119.4183079	8239.830135	15798.80336	25037.64257	152858.3528	
miub_echo_g_run1	0	9146.833087	16055.90536	24363.01492	108828.8657	
miub_echo_g_run2	0	8541.039056	14588.45973	22162.38536	101134.9019	
miub_echo_g_run3	0	8207.351623	15143.08041	22990.24818	85693.4711	
M067						
Mínimo	1437.0717	0	0	119.5659784	407.4666525	17638.15814
Cuartil 1	9703.20005	314.2403582	8265.717193	14324.57451	21630.7729	81542.53975
Mediana	14080.5621	831.5231218	9313.242177	15243.39017	23676.2913	108792.8781
Cuartil 3	20239.8914	1403.848513	11104.6275	16272.46824	27391.47078	174852.599
Máximo	70974.294	1799.111468	13331.96288	22330.30625	35201.38979	848236.1228





**ANEXO C4.21:** Proyecciones para la DBO obtenidas mediante la ecuación establecida por el algoritmo leastmedsq y el resumen de los datos correspondientes

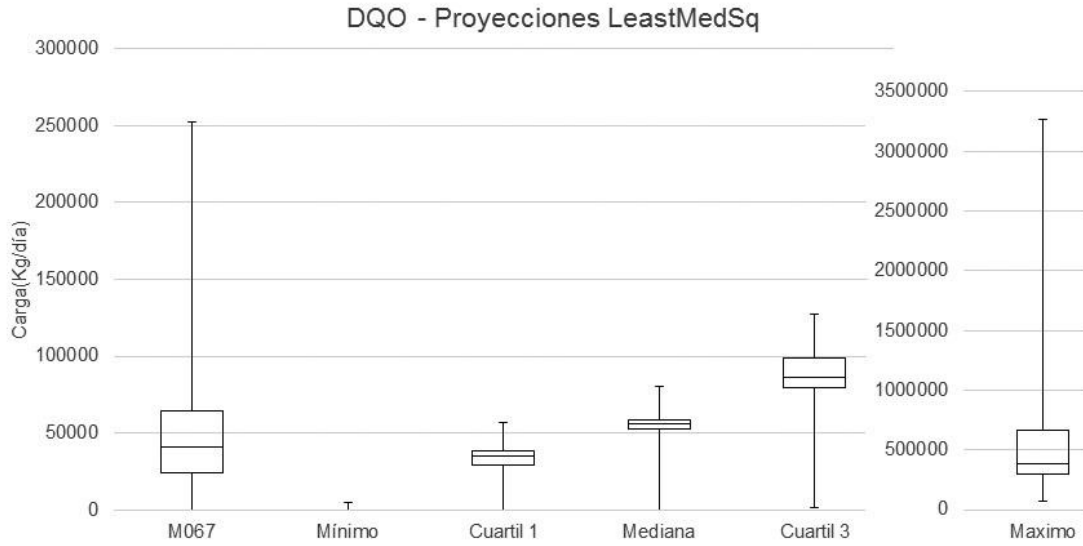




Modelos	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo	
bccr_bcm2_0_run1	284.3811682	3129.70588	4612.104692	6869.646575	29133.53912	
cnrm_cm3_run1	366.5995436	2842.68195	4081.034713	6066.090817	30667.9841	
giss_aom_run1	696.5860646	4175.378479	5924.756473	8492.380726	37448.62857	
miroc3_2_hires_run1	358.4607518	3608.3779	5253.46348	7777.78025	51157.47578	
miroc3_2_medres_run1	515.9525111	3660.61043	5267.690974	7634.063127	39405.3724	
miroc3_2_medres_run2	548.6032637	4086.781303	5796.539225	8514.359611	245618.588	
mpi_echam5_run4	285.1992445	3420.152695	5012.873788	7295.023317	33763.35411	
cccma_cgcm3_1_run1	724.0018902	3882.487578	5376.608333	7691.394089	34734.54276	
cccma_cgcm3_1_run2	666.8003065	4002.118492	5690.632609	8113.344525	36111.94868	
cccma_cgcm3_1_run3	620.341145	4096.029927	5603.713299	7847.572155	37215.42117	
cccma_cgcm3_1_t63_run1	622.1251629	3209.607112	4526.558444	6557.258124	42777.96242	
csiro_mk3_0_run1	645.2879888	3906.319749	5488.286906	7815.718732	34878.34198	
csiro_mk3_5_run1	1259.55952	5004.873204	7036.165839	9871.788372	65834.17269	
gfdl_cm2_0_run1	429.3503234	3314.875928	5464.677011	8619.621187	66136.59653	
giss_model_e_r_run1	0	363.5834028	625.9390098	875.8524072	5669.72437	
iap_fgoals1_0_g_run1	507.2305722	4082.023285	5730.722725	8173.427815	29095.58315	
iap_fgoals1_0_g_run2	667.4914437	4490.941579	6284.127638	8749.986765	43465.69231	
iap_fgoals1_0_g_run3	655.5702585	4280.486242	5897.796435	8254.630161	30929.30872	
mri_cgcm2_3_2a_run1	498.7480759	4294.913091	6960.340448	10829.65314	54088.30068	
mri_cgcm2_3_2a_run2	660.7513	4839.461928	7771.354229	12049.50405	50173.01144	
mri_cgcm2_3_2a_run3	456.7326162	4232.942109	6557.531282	10013.5222	46241.78648	
mri_cgcm2_3_2a_run4	560.8965368	4306.342662	6943.516019	10940.26829	50327.16807	
mri_cgcm2_3_2a_run5	458.9369907	4195.128164	7099.717309	11232.95132	42028.87565	
ncar_ccsm3_0_run3	782.3195177	3350.87088	5455.911791	9031.338487	66963.16783	
ncar_ccsm3_0_run5	780.4977507	3046.556912	5127.803768	9503.11091	59225.00093	
ncar_ccsm3_0_run6	722.6360241	3403.64526	5465.585104	9253.011034	56935.29535	
ncar_ccsm3_0_run7	1033.914871	3293.360624	5440.857547	9777.122112	95180.44098	
ncar_ccsm3_0_run8	951.7983502	3582.995459	5678.408431	9650.713108	71160.87699	
ncar_pcm1_run1	612.3283728	3450.754809	4965.916041	7093.093754	32309.81579	
ingv_echam4_run1	161.0325727	3655.416673	5605.507041	8133.58473	31733.56051	
ipsl_cm4_run1	247.5757649	3412.861184	5807.359473	8949.860571	51699.68718	
miub_echo_g_run1	195.7004544	3691.41715	5779.142836	8611.269854	35277.4076	
miub_echo_g_run2	187.0425555	3496.731178	5349.862924	7956.313295	38323.49788	
miub_echo_g_run3	292.8196159	3421.051392	5547.027176	8182.267677	39850.21108	
M067						
Mínimo	414.493248	0	363.5834028	625.9390098	875.8524072	5669.72437
Cuartil1	3532.58253	366.5995436	3412.861184	5349.862924	7815.718732	34878.34198
Mediana	5036.56825	586.6124548	3676.01379	5604.61017	8503.370169	42403.41903
Cuartil3	7235.07495	667.1458751	4145.579045	5852.577954	9576.912009	55511.79802
Máximo	32246.7559	1259.55952	5004.873204	7771.354229	12049.50405	245618.588



**ANEXO C4.22:** Proyecciones para la DQO obtenidas mediante la ecuación establecida por el algoritmo leastmedsq y el resumen de los datos correspondientes

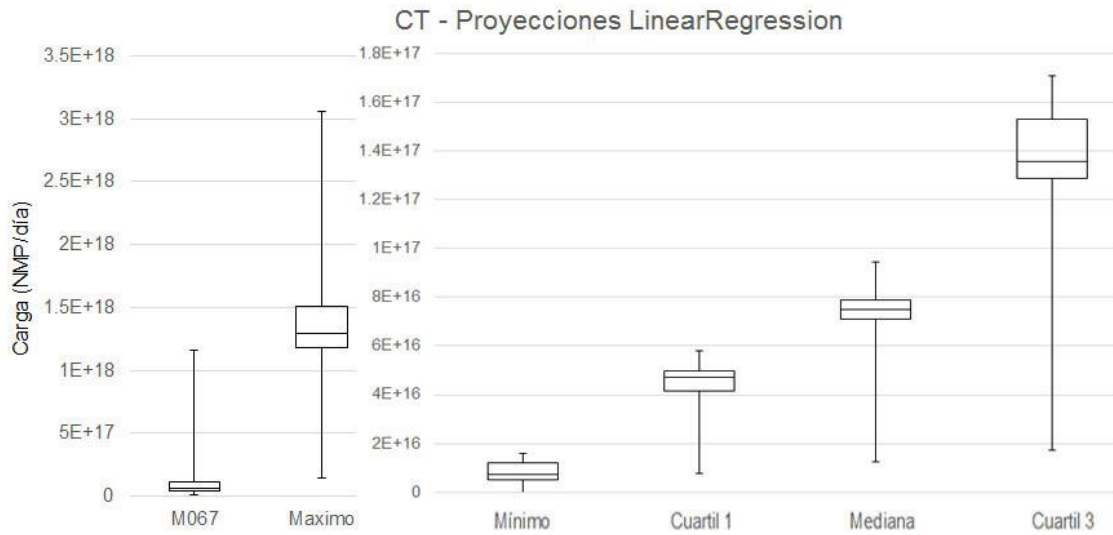




Modelos	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo
bccr_bcm2_0_run1	0	27178.28854	43055.02087	66536.75624	284517.1819
cnrm_cm3_run1	0	27688.15847	41645.63092	61793.89551	356342.741
giss_aom_run1	0	37674.10459	57934.84369	85700.46926	302941.0234
miroc3_2_hires_run1	0	38396.37442	55359.70413	81584.40884	630276.4519
miroc3_2_medres_run1	0	34369.20014	52254.15926	76997.32335	339481.1755
miroc3_2_medres_run2	0	39578.59632	58094.40112	87109.18162	3272029.49
mpi_echam5_run4	0	26593.36357	48305.7054	74079.00049	266083.9258
cccma_cgcm3_1_run1	0	37647.69684	54385.19555	78673.73199	307801.2247
cccma_cgcm3_1_run2	0	39473.59839	58272.15636	83825.98164	300457.1457
cccma_cgcm3_1_run3	1769.127593	40291.70056	57529.69138	81753.28244	326256.5663
cccma_cgcm3_1_t63_run1	0	34388.92019	48397.64561	69258.17222	415600.8235
csiro_mk3_0_run1	0	34866.7871	52350.81696	76755.21842	265042.6348
csiro_mk3_5_run1	5177.883376	56911.25065	80208.87878	110632.8053	820989.0406
gfdl_cm2_0_run1	0	30661.45441	55475.42764	90717.91654	737448.1532
giss_model_e_r_run1	0	0	0	1242.136264	72668.07452
iap_fgoals1_0_g_run1	0	36492.93919	56539.77296	81905.88626	278889.7711
iap_fgoals1_0_g_run2	0	40838.99114	63283.94638	89610.94264	280457.8585
iap_fgoals1_0_g_run3	0	39099.90846	57642.73445	82630.08453	268524.3347
mri_cgcm2_3_2a_run1	0	35986.7017	66875.11076	112969.6404	371405.5175
mri_cgcm2_3_2a_run2	0	43297.67984	78865.90858	127488.6502	558139.6694
mri_cgcm2_3_2a_run3	0	35263.27699	62366.68882	104068.8291	386951.7963
mri_cgcm2_3_2a_run4	0	36345.05365	67347.73369	114489.4169	442660.2079
mri_cgcm2_3_2a_run5	0	34830.53127	71113.86323	118589.613	485561.0754
ncar_ccsm3_0_run3	0	30260.20107	53787.6839	93501.51624	857874.9531
ncar_ccsm3_0_run5	0	27702.14541	49551.1299	98073.36102	730397.0971
ncar_ccsm3_0_run6	0	31649.771	53437.11539	95705.83154	695136.7222
ncar_ccsm3_0_run7	0	29356.54222	52826.62974	100148.5947	1224502.95
ncar_ccsm3_0_run8	0	33289.33723	55968.15195	99906.50174	891470.086
ncar_pcm1_run1	0	28190.07726	45512.5532	67726.98921	269027.9097
ingv_echam4_run1	0	28797.03599	53886.43071	81342.34985	301290.5167
ipsl_cm4_run1	0	28731.69325	57170.21422	92622.76308	589664.0883
miub_echo_g_run1	0	31233.04113	56842.52637	87801.67849	396904.5709
miub_echo_g_run2	0	28445.27112	51233.29356	79349.30185	375973.0695
miub_echo_g_run3	0	27623.75845	53636.52615	82381.43283	316875.1794
	M067				
Mínimo	0	0	0	1242.136264	72668.07452
Cuartil 1	24076.59448	0	28797.03599	79349.30185	301290.5167
Mediana	40863.5083	0	34609.72573	86404.82544	381462.4329
Cuartil 3	64435.105	0	38022.03563	98989.93138	662706.587
Máximo	251968.3073	5177.883376	56911.25065	127488.6502	3272029.49



**ANEXO C4.23:** Proyecciones para los CT obtenidas mediante la ecuación establecida por el algoritmo linear regression y el resumen de los datos correspondientes

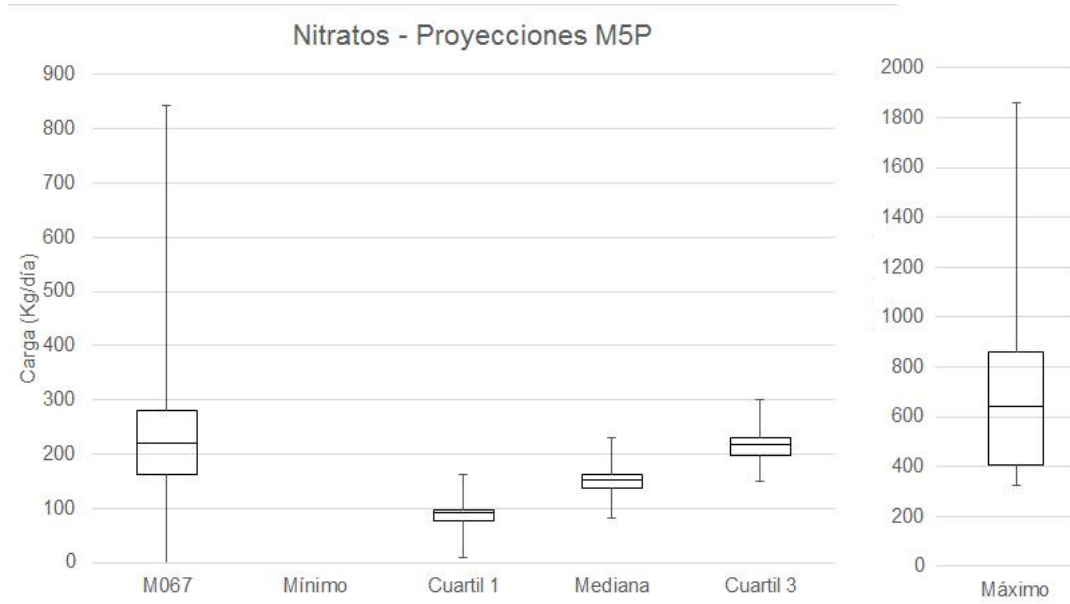




M067	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo	
bccr_bcm2_0_run1	7.71625E+15	4.11684E+16	6.25735E+16	1.13811E+17	9.16709E+17	
cnrm_cm3_run1	8.25558E+15	3.63794E+16	5.71819E+16	1.05405E+17	1.36328E+18	
giss_aom_run1	1.50057E+16	5.0391E+16	7.5398E+16	1.34259E+17	1.28213E+18	
miroc3_2_hires_run1	1.55079E+16	4.42999E+16	7.0135E+16	1.35618E+17	1.20601E+18	
miroc3_2_medres_run1	1.12243E+16	4.48944E+16	7.09279E+16	1.29819E+17	1.6345E+18	
miroc3_2_medres_run2	1.17342E+16	4.7927E+16	7.78835E+16	1.4653E+17	1.78265E+18	
mpi_echam5_run4	5.06244E+15	4.15995E+16	6.471E+16	1.21242E+17	1.34241E+18	
cccma_cgcm3_1_run1	1.60448E+16	4.71921E+16	7.08328E+16	1.26846E+17	1.28516E+18	
cccma_cgcm3_1_run2	1.34881E+16	4.95037E+16	7.26595E+16	1.29389E+17	1.16342E+18	
cccma_cgcm3_1_run3	1.46756E+16	4.85173E+16	7.2683E+16	1.28219E+17	1.12145E+18	
cccma_cgcm3_1_t63_run1	9.24123E+15	4.16619E+16	6.35389E+16	1.16812E+17	1.72343E+18	
csiro_mk3_0_run1	1.01225E+16	4.62794E+16	7.11582E+16	1.28102E+17	1.27007E+18	
csiro_mk3_5_run1	1.33138E+16	5.79186E+16	9.43362E+16	1.61728E+17	1.52144E+18	
gfdl_cm2_0_run1	5.31966E+15	4.21127E+16	6.91791E+16	1.28794E+17	3.05306E+18	
giss_model_e_r_run1	0	7.8597E+15	1.26781E+16	1.71501E+16	1.45875E+17	
iap_fgoals1_0_g_run1	1.26641E+16	5.015E+16	7.45713E+16	1.31624E+17	8.86177E+17	
iap_fgoals1_0_g_run2	1.40639E+16	5.4225E+16	7.96536E+16	1.37954E+17	1.87156E+18	
iap_fgoals1_0_g_run3	1.33781E+16	5.1174E+16	7.49517E+16	1.31115E+17	1.13687E+18	
mri_cgcm2_3_2a_run1	5.57206E+15	5.15763E+16	8.84069E+16	1.6169E+17	1.8476E+18	
mri_cgcm2_3_2a_run2	7.20166E+15	5.47036E+16	9.31387E+16	1.70559E+17	1.49449E+18	
mri_cgcm2_3_2a_run3	6.54796E+15	4.97903E+16	8.18928E+16	1.45581E+17	1.40284E+18	
mri_cgcm2_3_2a_run4	8.91704E+15	5.02668E+16	8.80201E+16	1.60369E+17	1.49496E+18	
mri_cgcm2_3_2a_run5	6.76011E+15	5.25725E+16	8.86076E+16	1.58591E+17	1.18173E+18	
ncar_ccsm3_0_run3	6.23913E+15	3.9798E+16	7.54533E+16	1.4807E+17	1.28467E+18	
ncar_ccsm3_0_run5	4.29564E+15	3.5962E+16	7.28185E+16	1.54811E+17	1.28715E+18	
ncar_ccsm3_0_run6	6.57604E+15	3.9131E+16	7.47364E+16	1.50915E+17	1.23491E+18	
ncar_ccsm3_0_run7	7.17927E+15	3.90067E+16	7.74776E+16	1.62532E+17	1.30792E+18	
ncar_ccsm3_0_run8	6.36241E+15	4.06039E+16	7.91656E+16	1.59645E+17	1.32897E+18	
ncar_pcm1_run1	1.05848E+16	4.24741E+16	6.49689E+16	1.1875E+17	1.1849E+18	
ingv_echam4_run1	2.6206E+15	4.90119E+16	7.53988E+16	1.35614E+17	1.03484E+18	
ipsl_cm4_run1	5.00747E+15	4.91386E+16	7.88189E+16	1.42507E+17	2.09322E+18	
miub_echo_g_run1	4.11973E+15	4.7272E+16	7.59661E+16	1.42781E+17	1.12161E+18	
miub_echo_g_run2	4.30911E+15	4.57107E+16	7.24984E+16	1.32168E+17	1.41663E+18	
miub_echo_g_run3	5.19661E+15	4.6583E+16	7.38111E+16	1.32712E+17	1.48942E+18	
M067						
Mínimo	1.16943E+16	0	7.8597E+15	1.26781E+16	1.71501E+16	1.45875E+17
Cuartil 1	4.16081E+16	5.31966E+15	4.16619E+16	7.09279E+16	1.28794E+17	1.1849E+18
Mediana	6.34675E+16	7.19047E+15	4.7232E+16	7.4844E+16	1.35616E+17	1.29753E+18
Cuartil 3	1.18423E+17	1.21992E+16	4.99701E+16	7.89922E+16	1.52863E+17	1.5082E+18
Máximo	1.165E+18	1.60448E+16	5.79186E+16	9.43362E+16	1.70559E+17	3.05306E+18



**ANEXO C.4.24:** Proyecciones para los nitratos obtenidas mediante la ecuación establecida por el algoritmo m5p y resúmenes de los datos correspondientes



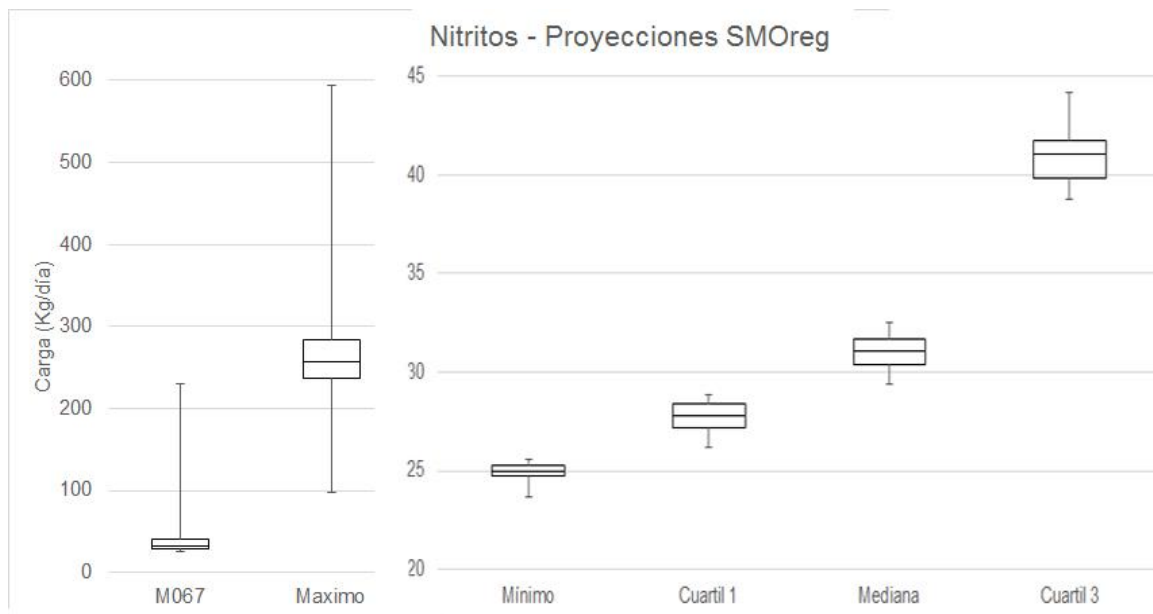


Modelos	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo	
bccr_bcm2_0_run1	0	91.9421791	148.034728	214.875954	410.582147	
cnrm_cm3_run1	0	60.588328	113.129069	169.973575	385.423581	
giss_aom_run1	0	104.60811	163.352167	226.912554	920.339466	
miroc3_2_hires_run1	0	34.8237243	97.700239	168.921315	391.434304	
miroc3_2_medres_run1	0	69.9351852	134.984015	208.5886	650.509031	
miroc3_2_medres_run2	0	63.7743477	129.225188	205.751872	392.802817	
mpi_echam5_run4	0	57.0264974	155.31508	276.856108	464.791453	
cccma_cgcm3_1_run1	0	75.6282895	134.792469	199.393712	539.172564	
cccma_cgcm3_1_run2	0	81.1993376	137.012357	197.403474	420.241738	
cccma_cgcm3_1_run3	0	74.8558587	135.728833	199.132625	734.3182	
cccma_cgcm3_1_t63_run1	0	41.0198626	97.3753019	149.180779	374.541888	
csiro_mk3_0_run1	0	102.442278	162.370179	229.134549	673.109489	
csiro_mk3_5_run1	0	9.03423852	81.7355421	156.440962	324.733798	
gfdl_cm2_0_run1	0	80.3980888	139.149264	197.325652	1491.03556	
giss_model_e_r_run1	0	163.354757	230.608688	300.171118	1709.30677	
iap_fgoals1_0_g_run1	0	102.255414	164.000074	229.91146	1860.95891	
iap_fgoals1_0_g_run2	0	92.5745626	154.566364	224.144756	900.098786	
iap_fgoals1_0_g_run3	0	94.1946425	162.278504	231.151844	653.825115	
mri_cgcm2_3_2a_run1	0	93.3670013	161.446064	255.439488	1209.96062	
mri_cgcm2_3_2a_run2	0	94.0840694	164.623207	259.311727	1255.08495	
mri_cgcm2_3_2a_run3	0	97.529727	162.678515	261.280743	735.097343	
mri_cgcm2_3_2a_run4	0	96.2646319	166.432846	272.238855	1005.33798	
mri_cgcm2_3_2a_run5	0	98.2984055	165.386107	254.916482	1181.56714	
ncar_ccsm3_0_run3	0	92.7790261	144.763465	193.748438	407.254189	
ncar_ccsm3_0_run5	0	85.0651931	138.595893	188.837154	404.308805	
ncar_ccsm3_0_run6	0	86.3077357	142.485476	191.803146	406.803291	
ncar_ccsm3_0_run7	0	88.5581312	142.482012	193.384267	396.223857	
ncar_ccsm3_0_run8	0	84.2102347	141.146376	196.787398	403.322137	
ncar_pcm1_run1	0	111.22677	167.250182	232.814147	515.904263	
ingv_echam4_run1	0	96.3981448	160.051613	223.037402	617.023698	
ipsl_cm4_run1	0	79.803364	139.791993	207.709743	736.871559	
miub_echo_g_run1	0	92.5501737	154.70699	220.325233	641.51847	
miub_echo_g_run2	0	94.7390296	157.482553	223.633696	643.350458	
miub_echo_g_run3	0	89.4754228	153.988606	224.743578	675.100997	
	M067					
Mínimo	0	0	9.03423852	81.7355421	149.180779	324.733798
Cuartil 1	163.0228738	0	76.6720581	137.408241	196.921962	406.916016
Mediana	218.8837058	0	90.708801	151.011667	217.600594	642.434464
Cuartil 3	280.2055833	0	95.8832313	162.347261	230.841748	859.291979
Máximo	843.5798974	0	163.354757	230.608688	300.171118	1860.95891





**ANEXO C.4.25:** Proyecciones para los nitritos obtenidas mediante la ecuación establecida por el algoritmo SMOreg y resúmenes de los datos correspondientes

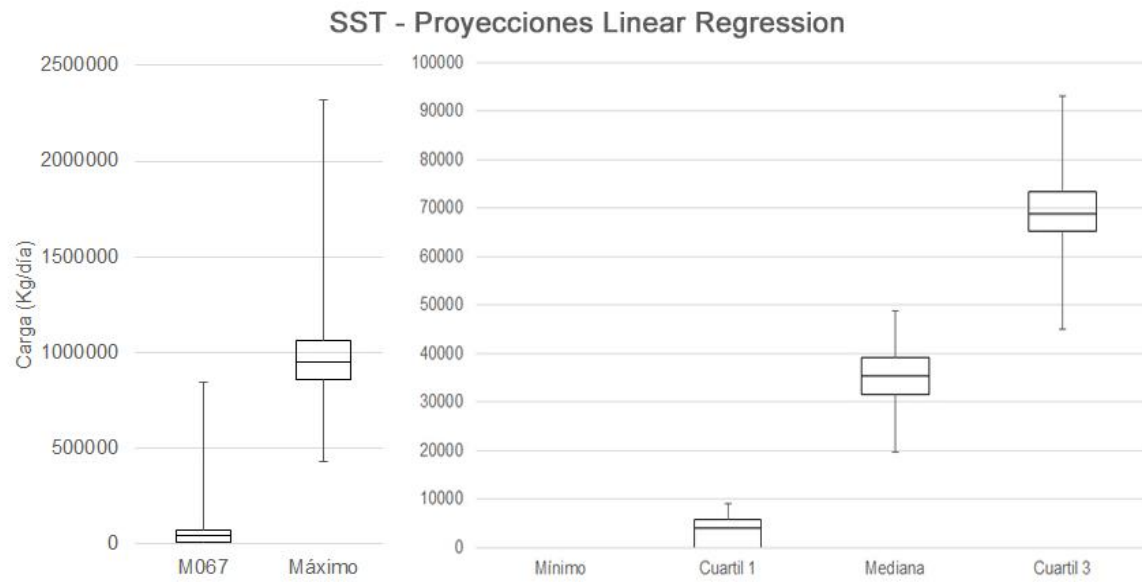




Modelos	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo	
bccr_bcm2_0_run1	25.1048073	27.5902019	30.3269536	38.9075538	187.448127	
cnrm_cm3_run1	24.1727588	26.4997033	29.0883902	37.0510202	277.477086	
giss_aom_run1	25.3186418	28.5831896	31.5920643	41.0481394	245.453906	
miroc3_2_hires_run1	24.0528891	26.3861973	29.8540723	40.5193408	236.479067	
miroc3_2_medres_run1	24.957897	27.4714573	30.8738949	40.2009721	319.136612	
miroc3_2_medres_run2	24.9157468	27.5800383	31.1245703	41.8777089	284.699147	
mpi_echam5_run4	23.6207711	28.2350517	30.8036835	39.7834856	263.947937	
cccma_cgcm3_1_run1	24.6961008	27.6716184	30.7716918	39.7060193	251.386071	
cccma_cgcm3_1_run2	24.5572283	27.8265631	30.696263	39.7864386	228.636972	
cccma_cgcm3_1_run3	24.680542	27.8107659	30.8220288	39.7151062	221.701675	
cccma_cgcm3_1_t63_run1	24.0439834	26.5413396	29.395166	38.2071486	321.756545	
csiro_mk3_0_run1	25.2628585	28.1417691	31.2592854	40.5741555	248.10601	
csiro_mk3_5_run1	23.7971816	26.8194797	31.6091511	41.699754	289.709157	
gfdl_cm2_0_run1	24.9016367	26.8826305	29.4881689	38.7011637	593.129752	
giss_model_e_r_run1	25.0994815	26.7399118	27.5887162	29.8644829	96.9808774	
iap_fgoals1_0_g_run1	25.2937038	28.7321376	31.5604842	40.8723087	243.096484	
iap_fgoals1_0_g_run2	25.1955343	28.8428729	31.7436327	41.0753175	320.537645	
iap_fgoals1_0_g_run3	25.331578	28.4644266	31.3290049	40.3129032	236.809334	
mri_cgcm2_3_2a_run1	25.2784698	28.5847694	32.5078651	43.6926086	349.582263	
mri_cgcm2_3_2a_run2	25.2891283	28.4841028	32.1489973	44.1719873	282.971739	
mri_cgcm2_3_2a_run3	25.4869681	28.6650816	31.9425429	41.8634044	258.300275	
mri_cgcm2_3_2a_run4	25.3441767	28.4452728	32.3899584	43.2266591	270.463268	
mri_cgcm2_3_2a_run5	25.5561375	28.7099902	32.4644741	42.9938259	221.505423	
ncar_ccsm3_0_run3	24.8704289	27.2091815	30.4562452	41.2525814	248.926471	
ncar_ccsm3_0_run5	24.7673109	26.8672301	30.0524338	40.7396532	256.189149	
ncar_ccsm3_0_run6	24.6789772	26.9250429	30.1506289	41.7464098	239.124803	
ncar_ccsm3_0_run7	24.7635324	27.2248033	30.3197655	40.953938	256.72349	
ncar_ccsm3_0_run8	24.7027142	27.1626801	30.6121419	41.2954301	260.385328	
ncar_pcm1_run1	25.3846039	27.9955867	31.0442672	39.5067889	231.346207	
ingv_echam4_run1	25.0766834	28.3655055	31.9333535	41.7577693	200.650537	
ipsl_cm4_run1	24.8590513	27.9442762	31.7048991	41.6244903	456.672757	
miub_echo_g_run1	24.9698797	27.7636556	31.4479986	42.5919003	217.835466	
miub_echo_g_run2	25.0737688	27.9145879	31.5556193	41.1378462	274.264707	
miub_echo_g_run3	25.1260163	28.0356669	31.6770796	41.2049913	288.194659	
	M067					
Mínimo	26.0917194	23.6207711	26.3861973	27.5887162	29.8644829	96.9808774
Cuartil 1	28.8459194	24.6977541	27.1743055	30.3592765	39.7842238	236.561634
Mediana	31.7337984	24.9638884	27.8186645	31.0844187	41.0010387	256.45632
Cuartil 3	40.5260395	25.2745669	28.425331	31.6600975	41.7347458	284.267295
Máximo	230.389173	25.5561375	28.8428729	32.5078651	44.1719873	593.129752



**ANEXO C.4.26:** Proyecciones para los sólidos suspendidos totales obtenidas mediante la ecuación establecida por el algoritmo Linear Regression y resúmenes de los datos correspondientes





Modelos	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo
bccr_bcm2_0_run1	0	0	31544.6289	64267.8891	659964.564
cnrm_cm3_run1	0	0	23494.1975	53457.9906	1036529.28
giss_aom_run1	0	6225.99346	39397.8242	73402.0155	898733.797
miroc3_2_hires_run1	0	0	30592.466	68438.9959	859054.058
miroc3_2_medres_run1	0	0	33068.2417	63189.0633	1196167.41
miroc3_2_medres_run2	0	961.708768	35249.7599	69327.6413	1051652.21
mpi_echam5_run4	0	0	37692.5009	69784.5333	970039.285
cccma_cgcm3_1_run1	0	0	34501.0289	66537.6869	924107.712
cccma_cgcm3_1_run2	0	148.995296	33504.628	68215.0182	831878.763
cccma_cgcm3_1_run3	0	1890.49573	34643.2062	64988.2125	821233.725
cccma_cgcm3_1_t63_run1	0	0	19866.93	50293.827	1183718.12
csiro_mk3_0_run1	0	5007.08222	37725.3196	71512.6779	912121.799
csiro_mk3_5_run1	0	3928.67012	33880.28	67790.2068	1073665.85
gfdl_cm2_0_run1	0	0	30213.5142	66645.7462	2320578.93
giss_model_e_r_run1	0	0	19624.169	44923.3379	431843.664
iap_fgoals1_0_g_run1	0	4101.11268	37353.9679	72295.7174	1019086.3
iap_fgoals1_0_g_run2	0	5170.38285	38652.0609	72939.2552	1120728.2
iap_fgoals1_0_g_run3	0	2906.8905	36551.0599	70954.6142	887646.425
mri_cgcm2_3_2a_run1	0	8351.70444	47908.4586	90016.97	1332306.73
mri_cgcm2_3_2a_run2	0	9161.13447	48891.369	93051.7233	1065303.49
mri_cgcm2_3_2a_run3	0	6206.09992	47160.7218	89442.5085	948913.088
mri_cgcm2_3_2a_run4	0	7819.07961	47726.5872	92958.7962	997635.791
mri_cgcm2_3_2a_run5	0	6516.03583	47092.3751	88967.1242	831643.314
ncar_ccsm3_0_run3	0	5352.13495	30557.5325	60769.3526	913006.974
ncar_ccsm3_0_run5	0	3854.96132	30430.9445	62712.3263	945369.48
ncar_ccsm3_0_run6	0	5553.43043	31409.6117	64579.5941	869595.535
ncar_ccsm3_0_run7	0	4145.69143	31642.2887	66679.2323	947968.262
ncar_ccsm3_0_run8	0	6213.2303	33583.1345	66426.0994	958942.71
ncar_pcm1_run1	0	2006.4474	35524.3421	68318.4282	838475.949
ingv_echam4_run1	0	5862.81697	42229.6081	74489.8741	717223.146
ipsl_cm4_run1	0	228.79582	38457.9712	75699.6835	1731319.36
miub_echo_g_run1	0	5791.44513	40983.0687	75329.303	787921.352
miub_echo_g_run2	0	4426.33082	38948.1556	72655.2039	1017230.75
miub_echo_g_run3	0	2854.59044	41224.6137	72830.4196	1074583.42
	M067				
Mínimo	0	0	19624.169	44923.3379	431843.664
Cuartil 1	10317.9586	0	37.2488239	31569.0439	861689.427
Mediana	43389.6778	0	3891.81572	35387.051	948440.675
Cuartil 3	75663.9527	0	5731.94145	39285.4071	1061890.67
Máximo	845161.465	0	9161.13447	48891.369	2320578.93

## ANEXO C4.27: Resumen de los datos correspondientes al delta proyectado para la DBO

Modelos	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo
bccr_bcm2_0_run1	-70377.1265	-6739.721347	-3559.210157	-1963.125445	2938.580281
cnrm_cm3_run1	-68842.68152	-7430.28716	-4061.839308	-2629.140863	9576.972278
giss_aom_run1	-62062.03705	-5152.115457	-2216.946973	-1219.604185	472.9688123
miroc3_2_hires_run1	-67512.58816	-5960.01814	-3071.155281	-1807.301957	17966.02729
miroc3_2_medres_run1	1538.276669	6005.808595	9057.593215	14300.93166	109782.4989
miroc3_2_medres_run2	-60343.80768	-5378.647897	-2567.609567	-1418.085627	222356.4446
mpi_echam5_run4	-65747.31151	-6281.171835	-3232.627762	-1971.494216	184.9024666
cccma_cgcm3_1_run1	-64776.12287	-5855.541021	-2704.090911	-1614.816931	390.5702421
cccma_cgcm3_1_run2	-63398.71695	-5487.300659	-2487.645747	-1337.265283	2723.192148
cccma_cgcm3_1_run3	-64350.89464	-5668.497746	-2603.102702	-1388.971688	1598.815196
cccma_cgcm3_1_t63_run1	-56732.70321	-6853.6026	-3715.552719	-2223.876412	8853.082986
csiro_mk3_0_run1	-64632.32364	-5760.557241	-2762.151607	-1602.015233	2593.980239
csiro_mk3_5_run1	-57158.59454	-4435.558209	-1897.760571	327.1580476	50496.28566
gfdl_cm2_0_run1	-35019.04139	-5717.923678	-2963.856264	-1153.050355	33518.85927
giss_model_e_r_run1	-96352.75229	-12693.30918	-7779.660261	-5159.453482	-1204.197513
iap_fgoals1_0_g_run1	-71642.10449	-5468.33273	-2502.164148	-1391.30273	871.77923
iap_fgoals1_0_g_run2	-56044.97331	-4997.932196	-2128.292615	-1028.345087	1799.57378
iap_fgoals1_0_g_run3	-68581.3569	-5407.19883	-2363.268121	-1224.026191	1476.44439
mri_cgcm2_3_2a_run1	-46056.01588	-3948.82078	-1675.691616	-501.7380073	9353.393638
mri_cgcm2_3_2a_run2	-52272.58103	-2884.122024	-1003.241585	733.3644203	18517.2588
mri_cgcm2_3_2a_run3	-53640.39979	-4460.125762	-1875.931576	-817.372173	9466.317706
mri_cgcm2_3_2a_run4	-49183.49755	-3774.810706	-1633.795523	-380.9975193	11518.80306
mri_cgcm2_3_2a_run5	-58057.31391	-3897.969319	-1653.805341	305.1802587	16244.0822
ncar_ccsm3_0_run3	-63713.51622	-5906.046745	-3006.277023	-855.7649341	50011.00771
ncar_ccsm3_0_run5	-67345.58053	-6228.733148	-3173.963298	-644.369156	43887.1139
ncar_ccsm3_0_run6	-65640.43941	-5833.123485	-2977.496077	-925.7262464	44016.92123
ncar_ccsm3_0_run7	-64264.29969	-6050.89842	-3033.731257	-965.7498717	79842.55395
ncar_ccsm3_0_run8	-65095.67178	-5600.861876	-2792.149816	-715.1016638	57055.50756
ncar_pcm1_run1	-67200.84983	-6401.083326	-3220.964818	-1961.016729	-483.7078879
ingv_echam4_run1	-67777.10511	-5787.696123	-2944.525175	-1425.269205	3327.882172
ipsl_cm4_run1	-57533.76636	-5312.96059	-2623.897014	-1135.979663	22009.08493
miub_echo_g_run1	-66464.18625	-5634.608853	-2821.499215	-1317.430576	9847.948755
miub_echo_g_run2	-61187.16774	-5968.237463	-3096.805889	-1603.954808	7162.672745
miub_echo_g_run3	-59660.45455	-5849.953732	-3021.428512	-1502.187331	5482.799045

Mínimo	-96352.75229	-12693.30918	-7779.660261	-5159.453482	-1204.197513
Cuartil1	-66464.18625	-5960.01814	-3033.731257	-1602.015233	1799.57378
Mediana	-63556.11658	-5651.553299	-2733.121259	-1221.815188	9409.855672
Cuartil3	-56945.64887	-5155.446393	-2245.780368	-766.2369184	38702.98659
Máximo	1538.276669	6005.808595	9057.593215	14300.93166	222356.4446



**ANEXO C4.28:** Resumen de los datos correspondientes al delta proyectado para la DQO

Modelos	Mínimo	Cuartil 2	Mediana	Cuartil 4	Máximo
bccr_bcm2_0_run1	-8869.725185	23292.34406	37906.77196	59555.1687	269237.1636
cnrm_cm3_run1	-12210.18006	23976.91558	36553.7556	54670.69377	344218.7672
giss_aom_run1	-4018.240245	33754.22437	52825.20216	78562.7998	278911.6351
miroc3_2_hires_run1	-11480.20073	34547.3751	50217.59276	74563.94835	609512.5949
miroc3_2_medres_run1	-11480.20073	30359.23609	47191.46313	69890.73639	324201.1572
miroc3_2_medres_run2	-8331.026471	35527.14578	52874.15376	79958.86936	3256749.471
mpi_echam5_run4	-6734.194852	22641.66431	43336.30578	67107.47168	242054.5375
cccma_cgcm3_1_run1	-11480.20073	33946.46173	49256.08661	71596.43576	283771.8364
cccma_cgcm3_1_run2	-11480.20073	35529.08602	53000.83187	76582.66249	284001.9122
cccma_cgcm3_1_run3	-5790.961392	36529.82626	52473.90752	74732.11872	302227.178
cccma_cgcm3_1_t63_run1	-8331.026471	30529.09441	43430.23731	61901.29526	399812.375
csiro_mk3_0_run1	-8331.026471	31057.4201	47196.60115	69616.07358	241013.2466
csiro_mk3_5_run1	-3605.674059	52831.39489	74827.53615	103688.3683	813169.4248
gfdl_cm2_0_run1	-16855.42822	26593.83608	50379.17179	83571.26124	721659.7047
giss_model_e_r_run1	-31663.23488	-6476.893078	-4353.91255	-2730.813136	46756.23304
iap_fgoals1_0_g_run1	-9653.916254	32483.99209	51480.43745	74995.69758	254860.3828
iap_fgoals1_0_g_run2	-4018.240245	36709.57193	58304.42086	82520.72182	263086.153
iap_fgoals1_0_g_run3	-4018.240245	35171.44542	52841.00364	75782.14457	244494.9464
mri_cgcm2_3_2a_run1	-7657.006712	32115.15315	61453.31435	106179.0265	354505.0431
mri_cgcm2_3_2a_run2	-7065.232024	39271.43021	73701.56663	120617.7361	535968.6084
mri_cgcm2_3_2a_run3	-8331.026471	31253.03005	57002.61897	97119.88957	372802.0725
mri_cgcm2_3_2a_run4	-8650.904894	32447.18126	62141.71911	107408.0399	420489.147
mri_cgcm2_3_2a_run5	-4517.266837	30676.71983	65825.22205	111817.6728	468501.7335
ncar_ccsm3_0_run3	-9814.009056	25486.80596	47926.43866	86930.70083	847164.793
ncar_ccsm3_0_run5	-9814.009056	23298.21383	43384.48026	91486.77563	722577.4813
ncar_ccsm3_0_run6	-9814.009056	27613.73541	47732.65418	87652.71008	687135.6131
ncar_ccsm3_0_run7	-7111.548708	25060.86234	46657.22532	92698.21235	1216683.334
ncar_ccsm3_0_run8	-9814.009056	29091.00378	50274.20325	92255.16463	883490.6864
ncar_pcm1_run1	-11480.20073	24332.58427	40324.57419	60634.59867	244998.5215
ingv_echam4_run1	-15556.52164	24716.74925	49212.43762	74592.50836	280453.3563
ipsl_cm4_run1	-13690.8497	25174.28674	52275.87092	85666.69666	575033.429
miub_echo_g_run1	-15556.52164	27231.66098	51856.67106	80857.89703	378694.4614
miub_echo_g_run2	-15556.52164	24764.62705	46413.89761	72270.89127	360693.0512
miub_echo_g_run3	-13303.03482	23813.77298	48675.3187	75634.00723	292845.7911

Mínimo	-31663.23488	-6476.893078	-4353.91255	-2730.813136	46756.23304
Cuartil 1	-11480.20073	24838.68587	46790.78477	71765.04964	279297.0654
Mediana	-9733.962655	30444.16525	50245.89801	77572.73114	357599.0472
Cuartil 3	-7247.913209	33898.40239	52865.86623	90528.25924	600892.8035
Máximo	-3605.674059	52831.39489	74827.53615	120617.7361	3256749.471



### ANEXO C.4.29: Resumen de los datos correspondientes al delta proyectado para los nitritos

Modelos	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo
bccr_bcm2_0_run1	-72.7713908	-21.5174236	-13.8605082	-7.60125747	32.7996397
cnrm_cm3_run1	-97.0736169	-22.566144	-14.8005559	-9.84378247	80.9852188
giss_aom_run1	-47.2805835	-19.9918494	-10.9185627	-6.41623854	23.1971103
miroc3_2_hires_run1	-80.9150326	-20.6827048	-12.1260306	-7.96480637	36.0537408
miroc3_2_medres_run1	-74.7981499	-19.2101657	-12.4882785	-8.45145836	73.1631684
miroc3_2_medres_run2	-77.1399024	-18.2760748	-11.6575409	-8.33289406	50.1870236
mpi_echam5_run4	-95.9634048	-19.6609764	-13.2877185	-8.13318684	23.7499167
cccma_cgcm3_1_run1	-79.0956363	-20.515766	-12.6615736	-7.73180341	34.0054867
cccma_cgcm3_1_run2	-82.5213416	-21.2819014	-12.1804743	-7.13806882	73.9884839
cccma_cgcm3_1_run3	-83.967195	-20.1213363	-12.4246979	-7.63282718	67.2059566
cccma_cgcm3_1_t63_run1	-52.037997	-22.9993513	-14.0097668	-9.06597858	75.7831017
csiro_mk3_0_run1	-80.5044503	-20.5790242	-11.6833015	-7.20449437	23.8152663
csiro_mk3_5_run1	-95.3834907	-18.8585755	-11.4882436	-7.22381584	68.3874598
gfdl_cm2_0_run1	-95.4528836	-22.8326579	-12.8537943	-7.27869174	347.156309
giss_model_e_r_run1	-157.414588	-28.4698673	-20.0893647	-11.7691894	-1.48593458
iap_fgoals1_0_g_run1	-36.6929386	-20.7637286	-11.272005	-6.35006116	46.7537631
iap_fgoals1_0_g_run2	-36.7649141	-20.2109703	-11.3196415	-6.4644235	74.5642013
iap_fgoals1_0_g_run3	-55.8121257	-21.164621	-11.8686441	-6.86422092	19.7723395
mri_cgcm2_3_2a_run1	-95.1135529	-20.3110743	-10.3976349	-3.76869358	103.608819
mri_cgcm2_3_2a_run2	-95.1435802	-20.6291096	-9.85800796	-4.16738299	108.962221
mri_cgcm2_3_2a_run3	-95.319933	-20.4576082	-10.0132137	-5.16675872	92.863857
mri_cgcm2_3_2a_run4	-95.1841004	-21.224072	-9.35119729	-4.43728886	57.3712515
mri_cgcm2_3_2a_run5	-95.1202126	-20.9361907	-9.93604443	-4.49897816	94.0042131
ncar_ccsm3_0_run3	-91.1998595	-19.0038369	-12.2925793	-8.89890486	15.5146664
ncar_ccsm3_0_run5	-72.5955041	-19.6810981	-11.9070118	-8.63212041	37.0850933
ncar_ccsm3_0_run6	-74.1183493	-19.6410416	-11.7903683	-8.43800808	35.9027737
ncar_ccsm3_0_run7	-78.9143808	-19.0601625	-12.0109924	-8.27877526	40.3575785
ncar_ccsm3_0_run8	-76.2309461	-20.0623469	-11.3515885	-8.24386437	41.7908176
ncar_pcm1_run1	-41.020963	-20.6353872	-12.8625985	-7.85905738	10.9143695
ingv_echam4_run1	-78.9196869	-18.8189723	-10.7680073	-6.76338048	35.9105526
ipsl_cm4_run1	-76.6700867	-20.3327853	-11.2786111	-5.6341694	335.310134
miub_echo_g_run1	-77.317594	-18.0369806	-11.2226282	-6.99340107	22.0640288
miub_echo_g_run2	-85.6085441	-18.9672372	-11.1688545	-7.46520915	62.8544748
miub_echo_g_run3	-88.6669667	-19.4525978	-10.3643948	-7.0144875	66.1570716
Mínimo	-157.41	-28.47	-20.09	-11.77	-1.49
Cuartil 1	-95.12	-20.89	-12.47	-8.27	33.10
Mediana	-79.80	-20.32	-11.74	-7.37	48.47
Cuartil 3	-74.29	-19.50	-11.18	-6.54	74.42
Máximo	-36.69	-18.04	-9.35	-3.77	347.16



**ANEXO C4.30:** Resumen de los datos correspondientes al delta proyectado para el OD

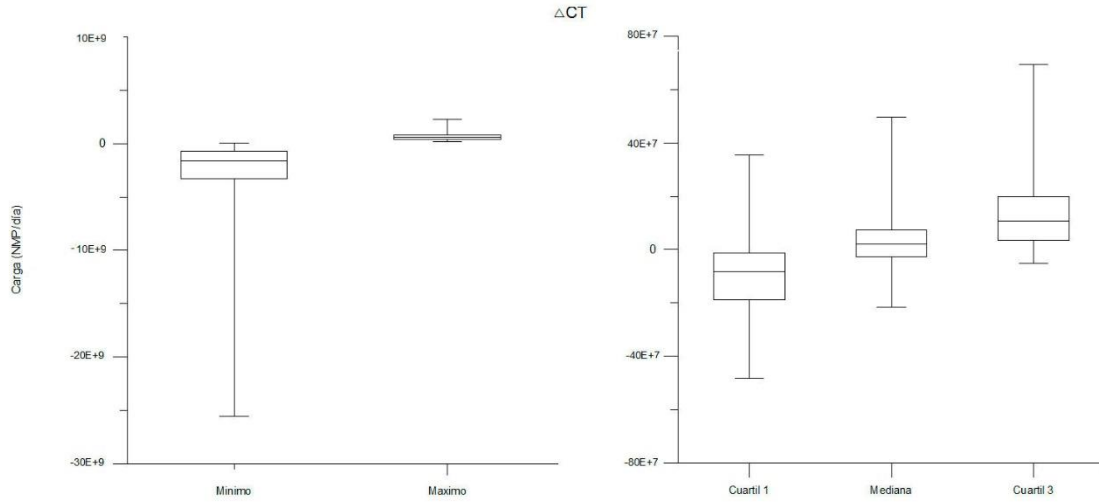
Modelos	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo
bccr_bcm2_0_run1	-29710.03293	-497.3781343	1329.610277	3665.880965	19798.91819
cnrm_cm3_run1	-52942.51155	1663.199676	3293.35582	5470.443823	28760.10495
giss_aom_run1	-17530.83361	-3856.084117	-2482.752581	-1175.508673	4838.278753
miroc3_2_hires_run1	-101541.7017	-1479.829905	580.6667968	2327.79061	20912.08943
miroc3_2_medres_run1	-52091.91597	-2369.753799	677.8877882	3015.876801	9299.433496
miroc3_2_medres_run2	-797901.6576	-3831.287426	-526.9400026	1313.886359	9715.037643
mpi_echam5_run4	-16920.52501	-646.4533209	169.9106861	1646.261687	19125.19305
cccma_cgcm3_1_run1	-19232.61302	-1434.719692	-540.1553	260.3070004	5092.104235
cccma_cgcm3_1_run2	-36962.81124	-2722.791548	-1140.973281	-102.8221694	13451.09041
cccma_cgcm3_1_run3	-27940.59128	-2756.91901	-1143.742767	15.32882651	8682.717959
cccma_cgcm3_1_t63_run1	-60885.85415	453.4338443	1870.547208	4326.375332	19762.32376
csiro_mk3_0_run1	-15173.75635	-2150.224421	-848.5150819	625.7958993	13917.69297
csiro_mk3_5_run1	-194651.9545	-9090.809895	-4161.168989	607.9129362	6672.296846
gfdl_cm2_0_run1	-144479.0423	-5351.652043	-1542.985634	3925.247081	28321.85916
giss_model_e_r_run1	1043.693867	9556.645961	13878.72496	19930.19838	68113.94914
iap_fgoals1_0_g_run1	-10630.72882	-3200.28053	-1833.055235	-666.1020943	14395.56901
iap_fgoals1_0_g_run2	-22885.40233	-5701.97044	-3430.672817	-898.7371036	10780.51206
iap_fgoals1_0_g_run3	-19124.20724	-3665.406905	-2284.542671	-988.60547	4896.070572
mri_cgcm2_3_2a_run1	-51171.28167	-12014.23736	-3645.974706	-622.3043807	14567.5856
mri_cgcm2_3_2a_run2	-84212.60127	-15820.48311	-7321.078207	-2676.351769	4496.503803
mri_cgcm2_3_2a_run3	-58355.93822	-9664.273374	-2295.237334	-490.3263727	12390.1921
mri_cgcm2_3_2a_run4	-55989.55838	-12767.98311	-3558.038026	-865.5825275	15054.72604
mri_cgcm2_3_2a_run5	-75379.96471	-14271.14053	-5097.172046	-329.9060351	14664.35431
ncar_ccsm3_0_run3	-195503.6563	-7444.614112	-1085.018806	5027.428803	24190.50577
ncar_ccsm3_0_run5	-174565.9361	-10779.29976	1632.75849	5872.956642	21152.45339
ncar_ccsm3_0_run6	-162051.9621	-7880.18914	409.4232262	4832.0619	21018.01264
ncar_ccsm3_0_run7	-301934.135	-6287.400038	331.3651446	4756.797003	19841.00908
ncar_ccsm3_0_run8	-208857.7567	-8708.953095	614.6755329	4080.190353	17284.19668
ncar_pcm1_run1	-9617.394818	-586.299637	324.4191051	1848.346964	18806.53383
ingv_echam4_run1	-30376.99704	-4118.686348	-1914.889694	1593.24602	40874.70765
ipsl_cm4_run1	-105099.7461	-6390.955569	-2333.690574	1596.361528	34942.06616
miub_echo_g_run1	-61382.11486	-4648.299117	-1782.003385	1863.648982	30312.18789
miub_echo_g_run2	-50800.43673	-3500.851728	-686.1961823	2462.109871	41661.93043
miub_echo_g_run3	-27967.89519	-4297.229065	-937.8761426	2545.287496	37466.02328

Mínimo	-797901.6576	-15820.48311	-7321.078207	-2676.351769	4496.503803
Cuartil 1	-105099.7461	-7880.18914	-2295.237334	-329.9060351	10780.51206
Mediana	-54040.73717	-4207.957706	-1112.996043	1594.803774	16169.46136
Cuartil 3	-25412.99681	-2546.272673	327.8921249	3470.561941	22671.47958
Máximo	1043.693867	9556.645961	13878.72496	19930.19838	68113.94914





**ANEXO C4.31:** Resumen de los datos correspondientes al delta proyectado para los CT





Modelos	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo
bccr_bcm2_0_run1	-874462261.2	36525653.42	97293856.4	167609961.9	684751001
cnrm_cm3_run1	-1622087283	142070251.1	191407332.7	258140825	1020824263
giss_aom_run1	-518131698.1	-82114846.71	-38743597.77	3977582.724	198307774.6
miroc3_2_hires_run1	-3181884637	38606569.87	114581810.1	165536944.5	767636402.6
miroc3_2_medres_run1	-1614305667	-13018690.46	92559327.61	158049822.5	364546431.4
miroc3_2_medres_run2	-25553274754	-54963269.84	48135396.77	105213234.5	398334619.8
mpi_echam5_run4	-578022091.4	17566637.96	55072689.08	100188718.3	637352115
cccma_cgcm3_1_run1	-541494460.4	20983777.23	47421777.1	72131529.29	227468913
cccma_cgcm3_1_run2	-1127428097	-28116516.28	24204582.47	67486989.64	501875732.2
cccma_cgcm3_1_run3	-823501360.5	-23346940.94	27806184.6	69086331.1	348240244.6
cccma_cgcm3_1_t63_run1	-1886316993	114562876.3	155794193.9	238817832.4	738356562
csiro_mk3_0_run1	-428047014.8	-27809483.79	14518712.98	63161129.28	490876494.1
csiro_mk3_5_run1	-6145228761	-181807868.1	-26952657.32	116793937.3	316603159.4
gfdl_cm2_0_run1	-4588677793	-115606797.8	6313528.655	198113496.6	982617292.1
giss_model_e_r_run1	76434775.72	355498200.9	496107625.2	693305502.8	2250787974
iap_fgoals1_0_g_run1	-297471583.7	-57490388.19	-12239243.99	22885003.32	500978257.1
iap_fgoals1_0_g_run2	-691799679.1	-137056180.4	-64426232.69	12372181.02	392150072.5
iap_fgoals1_0_g_run3	-581081729.8	-78382653.34	-32450994.24	8684908.023	196858286.4
mri_cgcm2_3_2a_run1	-1638430133	-360838196	-95431924.33	15256660.58	521035841
mri_cgcm2_3_2a_run2	-2744965249	-482259744	-214654592.2	-52626245.12	197659451.1
mri_cgcm2_3_2a_run3	-1828638968	-276543701.3	-62709273.73	14397465.59	445754975
mri_cgcm2_3_2a_run4	-1766335503	-389459766.4	-104475778.8	7524541.392	519966526.1
mri_cgcm2_3_2a_run5	-2431057414	-432355535.6	-144649261.7	33551141.21	519861754.7
ncar_ccsm3_0_run3	-6246057922	-189170273.5	20935703.21	237243335.8	832143542.1
ncar_ccsm3_0_run5	-5570861832	-294113209	120503475.1	261156410.2	739116217.3
ncar_ccsm3_0_run6	-5178958813	-202798096.3	74779264.57	222946474.6	749117644.7
ncar_ccsm3_0_run7	-9667163177	-146123132.6	69028319.18	220932765.4	691971416.1
ncar_ccsm3_0_run8	-6681895570	-226169436	80253079.38	202235920.3	626343402
ncar_pcm1_run1	-264649491.6	21610478.26	50585721.96	97191893.16	641945368.4
ingv_echam4_run1	-930555158.5	-85472532.06	-14723661.18	97104090.73	1364306780
ipsl_cm4_run1	-3314333249	-148549968.2	-15758354.03	111092660.2	1180078671
miub_echo_g_run1	-1912489496	-104337287.8	-9385024.674	108938483.9	1024751066
miub_echo_g_run2	-1577678850	-64434600.3	22923490.89	126772316.8	1378706643
miub_echo_g_run3	-854095417.2	-89789137.32	17107286.24	133707328.5	1251624202

Mínimo	-25553274754	-482259744	-214654592.2	-52626245.12	196858286.4
Cuartil 1	-3314333249	-189170273.5	-26952657.32	33551141.21	398334619.8
Mediana	-1702382818	-87630834.69	19021494.73	102700976.4	573689621.5
Cuartil 3	-757650519.8	-25578212.37	62050504.13	181825220.5	799889972.3
Máximo	76434775.72	355498200.9	496107625.2	693305502.8	2250787974



**ANEXO C.4.32:** Resumen de los datos correspondientes al delta proyectado para los sólidos suspendidos totales.

Modelos	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo	
bccr_bcm2_0_run1	-255826.054	-14108.6234	-7511.20891	0	203561.213	
cnrm_cm3_run1	-411382.981	-21411.5598	-17333.44	-5893.55793	355797.55	
giss_aom_run1	-62721.8892	-4176.48783	-2144.94225	0	136178.903	
miroc3_2_hires_run1	-223154.409	-14038.6729	-8393.14728	0	210687.658	
miroc3_2_medres_run1	-207473.772	-15259.1129	-7901.3722	0	351005.945	
miroc3_2_medres_run2	-209471.625	-13277.59	-7289.03204	0	271399.174	
mpi_echam5_run4	-399693.985	-11541.3272	-3647.33288	0	150279.895	
cccma_cgcm3_1_run1	-214408.092	-10163.32	-8220.36216	-1884.05175	168903.303	
cccma_cgcm3_1_run2	-224712.305	-10734.9791	-7002.63248	0	335859.014	
cccma_cgcm3_1_run3	-229668.471	-10742.8325	-8154.40506	-1444.86754	338844.228	
cccma_cgcm3_1_t63_run1	-105064.43	-28055.7421	-17313.2665	-3391.97714	338556.659	
csiro_mk3_0_run1	-216909.973	-6896.66326	-3693.0484	0	127329.284	
csiro_mk3_5_run1	-276254.69	-15258.7452	-6398.4196	0	284366.609	
gfdl_cm2_0_run1	-276254.69	-13376.3856	-6055.0108	0	1475417.47	
giss_model_e_r_run1	-542162.232	-36756.8384	-13774.392	-7548.93417	1212.95614	
iap_fgoals1_0_g_run1	-45278.1887	-6896.37421	-2409.64594	0	311546.681	
iap_fgoals1_0_g_run2	-26100.4894	-5729.56266	-2353.17995	0	297845.89	
iap_fgoals1_0_g_run3	-142140.249	-6518.25335	-3716.38417	0	75401.4507	
mri_cgcm2_3_2a_run1	-371539.345	-2384.39136	734.363208	17901.3298	487145.264	
mri_cgcm2_3_2a_run2	-370686.233	0	3068.26715	19254.5327	507018.87	
mri_cgcm2_3_2a_run3	-371995.006	-387.835504	2676.14298	15968.0434	416602.486	
mri_cgcm2_3_2a_run4	-371502.121	-2368.9548	527.234825	20257.4341	297143.789	
mri_cgcm2_3_2a_run5	-371806.923	-2155.8773	1067.03192	16809.923	441313.306	
ncar_ccsm3_0_run3	-276254.69	-20626.5249	-9514.97106	0	90853.1278	
ncar_ccsm3_0_run5	-196591.862	-22496.3173	-12253.2209	0	197981.371	
ncar_ccsm3_0_run6	-200742.482	-20000.8656	-10991.9885	0	188016.523	
ncar_ccsm3_0_run7	-217369.858	-18680.1141	-9504.44706	0	247200.36	
ncar_ccsm3_0_run8	-208100.041	-15641.4379	-9046.23285	0	222115.873	
ncar_pcm1_run1	-107663.528	-9088.46963	-5740.38522	-1738.38818	109417.555	
ingv_echam4_run1	-211424.252	-4522.29111	-794.739228	922.863241	215604.143	
ipsl_cm4_run1	-207682.203	-7258.19451	0	2625.00913	1455064.67	
miub_echo_g_run1	-233853.592	-6819.89977	-1081.84451	1528.52732	152056.727	
miub_echo_g_run2	-216289.019	-6374.46495	-2915.73037	285.440294	283272.409	
miub_echo_g_run3	-242793.45	-6419.77392	-1676.49414	1916.73039	329359.339	
Mínimo	Mínimo	-542162.232	-36756.8384	-17333.44	-7548.93417	1212.95614
Cuartil 1	Cuartil 1	-276254.69	-15259.021	-8349.951	0	173681.608
Mediana	Mediana	-220262.133	-10449.1495	-5897.69801	0	277335.791
Cuartil 3	Cuartil 3	-207525.88	-6385.79219	-1793.60617	763.507505	338772.336
Máximo	Máximo	-26100.4894	0	3068.26715	20257.4341	1475417.47



### ANEXO C.4.33: Resumen de los datos correspondientes al delta proyectado para los nitratos

Modelos	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo
bccr_bcm2_0_run1	-205.324071	54.98607385	63.05596513	68.79836275	669.960373
cnrm_cm3_run1	-165.239126	93.99065705	106.1279636	114.6001333	692.546296
giss_aom_run1	-759.477501	51.1661055	55.2888081	59.0676211	458.037275
miroc3_2_hires_run1	-74.7074024	99.14575739	110.4708794	124.55586	772.037456
miroc3_2_medres_run1	-277.181918	62.64873361	81.17827335	88.51987572	590.247887
miroc3_2_medres_run2	-62.3551623	66.15644471	83.61616221	92.508096	636.463578
mpi_echam5_run4	-201.60671	-13.0090235	52.46187369	93.45921477	803.116152
cccma_cgcm3_1_run1	-320.993389	75.54769493	81.61007524	89.01411452	579.626494
cccma_cgcm3_1_run2	-244.671975	74.86714999	84.29807939	88.22355083	637.15225
cccma_cgcm3_1_run3	-472.69286	78.83321312	82.5566909	89.61399934	606.915146
cccma_cgcm3_1_t63_run1	-65.5753679	110.5348891	121.2898974	135.6557134	709.286735
csiro_mk3_0_run1	-31.6843072	49.879286	53.66094568	59.21672742	412.186358
csiro_mk3_5_run1	0	118.0604565	127.263424	144.8401646	803.116152
gfdl_cm2_0_run1	-1096.57835	68.84253975	76.30996994	91.31861671	803.116152
giss_model_e_r_run1	-1265.42822	-59.2868369	23.52549225	45.92551994	105.483191
iap_fgoals1_0_g_run1	-1285.58515	48.06349133	56.09205756	64.31195339	680.120505
iap_fgoals1_0_g_run2	-629.619598	54.35727013	60.54966534	69.75010521	803.116152
iap_fgoals1_0_g_run3	-109.681676	43.75895693	54.41108694	66.70757212	709.286735
mri_cgcm2_3_2a_run1	-861.233174	14.99880398	58.83911797	68.48947331	618.222501
mri_cgcm2_3_2a_run2	-887.981862	33.09911156	48.26917505	66.09312415	598.033184
mri_cgcm2_3_2a_run3	-574.235378	5.266529834	55.88271164	68.60537189	565.600214
mri_cgcm2_3_2a_run4	-842.929957	1.98748463	52.59420078	62.90569627	531.28584
mri_cgcm2_3_2a_run5	-832.839696	15.33459417	53.51133548	64.2150003	560.686062
ncar_ccsm3_0_run3	-99.9582418	66.7181889	71.91641188	87.95402046	647.307927
ncar_ccsm3_0_run5	-67.3139421	69.52498738	78.38662914	101.3962952	582.712677
ncar_ccsm3_0_run6	-73.9158366	71.53575402	80.60850159	89.78730824	640.89251
ncar_ccsm3_0_run7	-166.368776	68.61604707	77.27853161	91.38453532	589.091564
ncar_ccsm3_0_run8	-99.2892688	70.79447143	78.99743451	87.34564506	690.385981
ncar_pcm1_run1	-150.481703	44.4330539	49.99554048	56.51765349	620.044857
ingv_echam4_run1	-136.893669	56.29540078	62.27950528	68.89481033	457.734884
ipsl_cm4_run1	-475.246219	67.55233907	77.69457911	84.93268848	585.61327
miub_echo_g_run1	-182.300282	54.63281209	64.79065384	72.63525593	507.62858
miub_echo_g_run2	-159.977926	53.49424444	59.17880684	71.1067307	505.030584
miub_echo_g_run3	-387.282567	50.90950813	57.52852591	72.517185	649.343669
Mínimo	-1285.58515	-59.2868369	23.52549225	45.92551994	105.483191
Cuartil 1	-615.773543	45.34066326	55.43728399	67.15304742	569.106784
Mediana	-203.46539	55.64073732	63.92330948	78.7839722	619.133679
Cuartil 3	-102.3891	70.47710042	81.03583041	90.93578959	687.819612
Máximo	0	118.0604565	127.263424	144.8401646	803.116152