



ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA



Línea Base del Sistema de
Monitoreo y Vigilancia Hídrica
Estado de la Calidad de Agua
**Cuenca del Río
Guadalquivir**



Lista de Abreviaciones y Acrónimos

AA	Auditoría Ambiental
AOP	Actividad, Obra o Proyecto
COSAALT	Cooperativa de agua y alcantarillado sanitario de Tarija
IAA	Informe Anual Ambiental
MED	Marco de Evaluación de Desempeño
PEA	Programa Estratégico de Acción para la cuenca Binacional del Río Bermejo
RMCH	Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica
SIMOVH	Sistema de Monitoreo y Vigilancia Hídrica
VRHR	Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego
MMAYA	Ministerio de Medio Ambiente y Agua

RESUMEN.....	4
1 ANTECEDENTES	5
2 DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA.....	6
2.1 LOCALIZACIÓN	6
2.2 ALTIMETRÍA	6
2.3 FISIOGRAFÍA.....	7
2.4 GEOLOGÍA	7
2.5 SUELOS.....	8
2.6 MORFOLOGÍA DEL DRENAJE SUPERFICIAL.....	9
2.7 VEGETACIÓN	10
2.8 FAUNA.....	11
2.9 CLIMA	11
2.10 HIDROLOGÍA	13
2.11 DEGRADACIÓN AMBIENTAL.....	16
3 FUENTES DE CONTAMINACIÓN	17
3.1 DESCARGAS INDUSTRIALES CON LICENCIAS AMBIENTALES	18
3.2 DESCARGAS INDUSTRIALES POR SISTEMA DE ALCANTARILLADO	18
3.3 DESCARGAS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	19
3.4 ACTIVIDADES DE EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS Y AGREGADOS.....	19
4 DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD HÍDRICA ACTUAL (LÍNEA BASE) DE LA CUENCA DEL RÍO GUADALQUIVIR	21
4.1 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE GESTIÓN DE LA CALIDAD HÍDRICA PARA EL RÍO GUADALQUIVIR = (IGCH)	21
4.2 CÁLCULO GRADO DE AVANCE EN EL ALCANCE DE LOS INDICADORES DE LA CALIDAD HÍDRICA	23
4.2.1 Localización de los puntos de monitoreo.....	24
4.2.2 Determinación de la calidad deseada	26
4.2.3 Análisis de los parámetros evaluados	26
4.2.4 Selección de parámetros “clave”.....	28
4.2.5 Determinación de las desviaciones $\Delta B/\Delta I/\Delta O$ y Cálculo del Índice (ΔCH).....	30
4.2.6 Seguimiento MED.....	31
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	31
6 BIBLIOGRAFÍA.....	32

Resumen

El agua se ha convertido en uno de los recursos más vulnerables y de mayor importancia a nivel mundial, debido a los procesos asociados al cambio climático que agudizan las problemáticas asociadas a éste recurso. A medida que se da el crecimiento poblacional y la migración del campo a las ciudades, el asentamiento poblacional va creciendo de forma desordenada denotándose una falta de planificación territorial asociada a éste recurso,

En ese contexto, cada vez existe mayor demanda de agua haciéndose necesario la disponibilidad de fuentes de abastecimiento, a medida que se va requiriendo más fuentes de abastecimiento los cuerpos de agua son objeto del vertido de mayores cantidades de aguas residuales, tanto de origen doméstico, industrial, agro industrial, minero, etc.

En el caso particular del Río Guadalquivir, según el Informe de Auditoría Ambiental K2/AP11/S15-EI emitido por la Contraloría General del Estado (CGE) en la gestión 2015, la calidad del agua de la cuenca ha sido modificada drásticamente, lo cual ha llevado al deterioro de su aptitud de uso en relación a lo determinado en la gestión 2008.

Realizado un análisis comparativo de los resultados generados por la CGE, Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), entre otros, se ha evidenciado que las principales fuentes de contaminación que afectan a la cuenca del Río Guadalquivir son de tipo orgánico, las mismas relacionadas por el vertido de aguas residuales del tipo doméstico, principalmente en el tramo que atraviesa la ciudad de Tarija, así como la presencia de descargas provenientes de mataderos y curtiembres.

En cumplimiento de los hitos planteados en la Matriz de Evaluación del Desempeño (MED) del Programa Plurianual, se ha elaborado el presente documento de línea base para la cuenca del Río Guadalquivir, en el cual con base el análisis de las características físicas, climáticas y biológicas de la cuenca, así como la caracterización de los cuerpos de agua basados en análisis físicos, químicos y biológicos, se ha determinado: el Índice de Gestión de la Calidad Hídrica (0,0045), correspondiente al 19,1176% de avance, y el grado de avance en el alcance de los indicadores de la calidad hídrica (0,42). Este documento permitirá aplicar los indicadores determinados en el PP para la medición del cumplimiento de las metas establecidas a nivel nacional.

1 Antecedentes

La Cuenca del Río Guadalquivir durante la última década, al igual que todas las cuencas estratégicas priorizadas ha sufrido la degradación de la calidad hídrica. La influencia de las actividades productivas y el crecimiento poblacional de los municipios que se encuentran en sus límites territoriales, son aspectos que ha ocasionado el deterioro ambiental.

En la gestión 2015, la Contraloría General del Estado (CGE) Plurinacional de Bolivia, efectuó una Auditoría sobre los resultados de la Gestión Ambiental en la cuenca del Río Guadalquivir (Informe de Auditoría Ambiental K2/AP11/S15-EI), misma que fue desarrollada tomando como referencia el estado de la calidad hídrica en la gestión 2008 y la gestión 2015 como estado actual, estableciendo la variación del estado ambiental que se produjo en el periodo de 7 años.

El análisis consideró los componentes o constituyentes físicos, químicos y biológicos, asociados a cuatro criterios: a) problemas de contaminación, b) calidad de agua y su aptitud de uso, c) descargas de aguas residuales domésticas e industriales y d) la gestión de áridos y agregados y su regulación.

En la gestión 2008, los resultados presentados en la Auditoría Ambiental (AA) del Río Guadalquivir mostraron que la calidad del cuerpo de agua era suficiente para su aptitud de uso reflejando su capacidad para el desarrollo de las actividades agrícolas y para recreación (Clase B y Clase C). Con referencia a las aguas residuales domésticas e industriales, se contaba con plantas de tratamiento que no cumplían con los límites permisibles, en tanto que las actividades industriales no registraban un número importante estando ubicadas en los municipios de Tarija y San Lorenzo únicamente. Finalmente, con relación a la extracción de áridos y agregados no se tenía una base de datos del registro de las actividades.

El Informe de Auditoría concluye que con base a los resultados que la variación del estado ambiental del Río Guadalquivir en términos de parámetros fisicoquímicos y biológicos medibles, hubo una degradación en la calidad Hídrica de buena a media y de media a baja en algunos tramos, con notable incremento de la contaminación orgánica.

Con base en los resultados y criterios de análisis, la CGE realizó recomendaciones para las instituciones involucradas en la gestión de la calidad hídrica. En el caso del MMAyA las recomendaciones estaban relacionadas con la clasificación de cuerpos de agua, específicamente con la ausencia de un procedimiento que permita en el corto a mediano plazo, efectuar la clasificación y proponer un Plan de Acción para recuperar la aptitud de uso y el restablecimiento del ecosistema.

2 Descripción de la cuenca

2.1 Localización

La Cuenca del Río Guadalquivir tiene una extensión de 105.910 has., cuyas coordenadas geográficas extremas son: paralelos de 21° 15' y 21° 35' Latitud Sur y meridianos 64° 35' y 64° 56' de Longitud Oeste. La cuenca es tributaria del Río Bermejo, afluente del Río Paraguay y pertenece a la Cuenca del Río de La Plata. Por el norte limita con los afluentes del Río Pilaya, al sur con la Cuenca del Río Tolomosa, al este con la Cuenca del Río Santa Ana y al oeste con la Cuenca de Río Tomayapo. La parte más baja tiene una altura de 1.800 msnm y la parte más alta, ubicada en la Cordillera de Sama, tiene 4.344 msnm.

El curso principal del Río Guadalquivir, nace con el nombre de Río Chamata, tiene una longitud de 60 km la red de drenaje es típicamente dendrítica y sus afluentes más importantes por el lado derecho son los ríos: Calama, Erquis, Victoria y por el lado izquierdo, Corana, Carachimayo, y Sella. El área de la cuenca pertenece a la jurisdicción de la Provincia de Cercado (18.322,6 ha) en menor proporción y en mayor proporción a la Provincia de Méndez (87.588,2 ha), ocupando territorio de los municipios de San Lorenzo, Tarija, Padcaya y Uriondo del Departamento de Tarija.

En general, el Río Guadalquivir es solo un tramo fluvial medio de un río que se forma por el aporte de varios ríos, entre ellos Chamata, Vermillo, Trancas y otros que nacen a unos 50 km al noroeste de la ciudad de Tarija, en la falda oriental de la Serranía de Sama, a 3.400 m de altitud. Tras su confluencia y el paso por la comunidad de Tomatas Grande toma el nombre de Río Guadalquivir que conserva hasta la confluencia con el Río Camacho, 36 km al sureste de Tarija, en un enclave llamado La Angostura, donde el río pasa a denominarse Río Tarija.

2.2 Altimetría

La Cuenca del Río Guadalquivir está circunscrita por dos serranías la del Occidente y Oriente, la primera representada por la Cordillera de Sama con una altitud determinada por el Cerro Morro Negro de 4.344 msnm y ubicada al sur del área de estudio, descendiendo suavemente las altitudes hasta los 3.800 msnm hacia el norte. La Serranía Oriental está formada por los montes de Gamoneda, con altitud en la parte sur de 2.800 msnm y en la parte norte de 3.420 msnm (Cerro La Cuesta).

En la parte norte la Cuenca del Guadalquivir tiene una serie de cerros y lomas con altitudes del orden de 2.800 msnm. y en el valle central presenta relieve disectado, que es típico de una superficie erosionada. Antiguos rellenos coluviales se hallan en el descenso de la Serranía de Sama hacia el valle, entre las cotas de 3.000 y 2.400 msnm. Toda esta cadena montañosa, alcanza

el 70% de la superficie de la Cuenca del Guadalquivir, encierra un valle subhorizontal formado por sedimentos cuaternarios de origen fluvio lacustre, que ocupa las cotas de 1.850 y 2.200 msnm, en estos depósitos se ha presentado el fenómeno erosivo, llegando a la formación de áreas inaccesibles, caracterizadas por barrancos y cárcavas profundas.

Por sus características altimétricas, la Cuenca Alta del Río Guadalquivir, se presenta en una situación de desequilibrio, en la parte occidental más alta y desarrollada con respecto a la parte oriental.

2.3 Fisiografía

En la Cuenca del Guadalquivir se puede apreciar varias unidades fisiográficas, caracterizadas por un sistema complejo de paisajes, originado por la acción tectónica, por las glaciaciones cuaternarias y por factores morfogenéticos actuales (erosión hídrica).

De manera general, las siguientes unidades fisiográficas predominan: relieve montañoso, estructuralmente denudativo la misma esta flanqueado por la Serranía de Sama por el oeste y Gamoneda por el este alcanzando alturas de 4.400 y 2.600 msnm, respectivamente. Presenta laderas escarpadas a muy escarpadas, con pendientes mayores a 60% y son de moderadamente disectadas a muy disectadas. Predominan climas de muy fríos y semihúmedos a fríos semiáridos. El sector intermedio, de relieve colinoso, es estructuralmente denudativo, con colinas relativamente altas, pero que no superan los 2.500 msnm. Presenta sitios disectados y fuertemente inclinados con pendientes de 15 a 60%, con climas frecuentemente de templado a cálido. Finalmente, en la parte inferior, tiene el valle fluvio lacustre de relieve plano a ondulado: conformado por el pie de monte, terrazas fluvio lacustres y un plano inundable diferenciado. Presenta sitios muy disectados y quebrados. Las pendientes son de 0 a 15%. Tiene clima templado semiárido a templado árido.

2.4 Geología

La Cuenca está representada por rocas antiguas de Los Andes bolivianos y por depósitos sedimentarios de reciente época. Las serranías que rodean a la cuenca son rocas paleozoicas. Los sedimentos no consolidados son representados por depósitos cuaternarios de origen fluvio lacustre y se encuentran encerrados en la parte baja de la Cuenca. Las partes vulnerables desde el punto de vista de la erosión se encuentran en las vertientes oeste y norte de la cuenca, donde prevalecen las formaciones del Ordovísico. Sin embargo las cumbres de la Serranía Occidental están constituidas por las rocas más resistentes del Cámbrico, lo que permite una morfología con pendientes elevadas y una limitada erosión.

En cambio, en la Serranía de la Gamoneda, la alternancia de los diferentes tipos litológicos, diferentes edades y características físicas, conlleva la presencia de fajas erosionables estrechas que se desarrolla en sentido norte sud, siguiendo las líneas estructurales principales. Por otro lado, el fondo del valle, esta relleno por depósitos cuaternarios, que representa el sector más sensible a la erosión. En esta área está concentrada la mayoría de las actividades agropecuarias.

Los depósitos cuaternarios, empezaron a llenarse al final del Periodo Terciario con sedimentos transportados por los ríos desde las serranías circundantes hacia el lago que ocupaba el fondo del valle. Debido al cambio de nivel de base, originado por una falla geológica, se ha producido el vaciado de agua del lago. En la actualidad, la parte fluviolacustre se encuentra en franco proceso de degradación, dando lugar a la erosión regresiva que afectan a las zonas de pie de monte, aluviales y coluviales. Se puede concluir indicando que la formación geológica contribuye a su evolución; tipo de roca y estructura, sobre la cual el clima actúa como agente activo principal.

Dos son los factores que contribuyen a la característica de vulnerabilidad: la litología, la mayoría formada por rocas erodables situadas en las partes más altas y sedimentos blandos, situada en el fondo del valle, donde descargan con alta energía los ríos laterales. En segundo lugar, la estructura, o sea las fracturas y sus continuos movimientos desestabilizadores. De lo expuesto se puede indicar que los sedimentos cuaternarios y las rocas del Periodo Ordovísico constituyen los tipos más erosionables, debido a sus características físicas y químicas.

Cuadro 1. Formaciones litológicas y sus características

Época	Nombre	Descripción	Dureza	Permeabilidad
Cuaternario	Tarija	Gravas fluviales	Sueltos y poco consolidados	Variable
Pérmico triásico	Tarija	Areniscas y calizas	Muy duras	Baja permeabilidad
Carbónico	Tarija	Pelitas y arcillitas	Rocas físlas	Impermeables
Ordovísico	Sella	Lutitas	Físlas	Impermeables
Cámbrico	Sama	Areniscas Cuarcitas	Muy duras	Permeables (secundaria)

Fuente: Plan de Manejo Integral de los Recursos Naturales de la Alta Cuenca del Río Guadalquivir, 1999.

2.5 Suelos

De acuerdo al Estudio Semi detallado de Suelos del Valle Central de Tarija, algunas de las características de las series estudiadas que corresponden a la cuenca, se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Resumen de las principales características de los suelos estudiados

Serie	Textura	pH	Na	P	N (%)	M.O. (%)	Erosión
Canasmoro	Franco-arcillosos	6,4-6,8	Moderado a moderado bajo	Moderado a bajo	0,04-0,17	0,8-3,4	No significativa
Carachimayo	Franco-arcillosos	6,9-8,1	Alto a muy alto	Bajo	0,03	1,2	Ligera erosión hídrica laminar
Trancas	Franco-arenosos	8,2-8,5	Alto a muy alto	Muy bajo	0,01	0,3	Hídrica y eólica
Monte Cercado	Franco-arcillosos	7,9-8,7	Moderado a alto	Muy Bajo	0,03	0,6	Hídrica cárcavas
San Lorenzo	Franco-arcillo-limoso	6,2-6,4	Moderado	Moderado a bajo	0,13	2,7	No significativa
San Mateo	Franco	7,4-7,6	Moderado a bajo	Moderado a bajo	0,06	1,3	No significativa
Sella	Franco-arcillo-arenoso	6,5-7,0	Moderado abajo	Moderado a bajo	0,1	2,0	No significativa

Fuente: Plan de Manejo Integral de los Recursos Naturales de la Alta Cuenca del Río Guadalquivir, 1999.

2.6 Morfología del drenaje superficial

La morfología del drenaje superficial está controlada por la situación geológica estructural. Esto queda demostrado por los cursos poco lineares de los ríos, así por ejemplo, algunos tramos de cabecera como los ríos Chamata, Calama, Sella con dirección sur a norte, mientras que el flujo general es de norte a sur. En la margen derecha la mayoría de los ríos tienen su curso con la dirección de oeste a este.

El drenaje principal es el Río Guadalquivir, que desarrolla un curso de aproximadamente 60 km., orientado de norte a sur, girando a la altura de Canasmoro hacia el oeste, hasta su nacimiento; parte en la que recibe el nombre de Río Trancas.

Los cauces, del Río Guadalquivir y sus afluentes, presentan una inestabilidad manifiesta con divagaciones y anastomosis continuas, en las que zonas con depósitos impiden un flujo ordenado y uniforme de las descargas. El curso principal presenta en el tramo inferior pendientes de 0,75%, aguas abajo de Canasmoro y hasta el Río Trancas de 1,75%; desde éste punto hacia la parte alta el río pasa a un régimen torrencial con pendientes superiores al 5%. La irregularidad de las descargas de los caudales y la magnitud del transporte de sólidos, tanto en forma de suspensión como por acarreo, son características de estos cauces y del estado en que se encuentran los terrenos de la cuenca.

2.7 Vegetación

La vegetación nativa es descrita combinando la fisiografía, clima y altura. En cada distrito se observa tres formaciones vegetales: bosque, matorral y vegetación herbácea, además se incluye las áreas de agricultura y plantaciones forestales. Se observa que las características geomorfológicas, hídricas, de clima, y de alturas, han determinado la evolución de una cobertura vegetal dispersa, adaptada a factores limitantes. A esto hay que añadir la influencia, marcada, antrópica que paulatinamente han modificado la vegetación nativa, a las actuales condiciones. Las características de los tipos funcionales de bosques son las siguientes:

- *Bosque*: están ubicados mayormente en la ribera del Río la Victoria. Está representado por la especie perennifolio de *Podocarpus parlatorei* (Pino del Cerro), además se presenta árboles caducifolios del género *Alnus* y *Fágara*.

Estos bosques tienen la característica de tener epífitas y están mezcladas con variedades de matorrales siempre verdes y hierbas. En la actualidad, se encuentran en franco proceso de disminución, por la presión antrópica.

- *Matorrales*: están diseminados en las colinas y serranías bajas hasta 2.300 m.s.n.m. su cobertura es de rala a abierta. Están formados por plantas deciduas, xerofíticas, compuestas por: Churqui (*Acacia caven*), Taquillo, Molle (*Schinus molle*) y Algarrobo (*ceratonia siliqua*). Estas especies, de manera especial *Acacia caven*, son apetecibles por el hombre, para el uso de leña; también es palatable para los ovinos y caprinos.
- *Vegetación Herbácea*: se encuentran mayormente a partir de los 2.300 msnm hasta la Cima del Sama. Se observa grupos de matorrales, en terrenos con mayor suelo y humedad. Las gramíneas que más predominan son *Stipa ichu* (paja), *Calamagrostis* (pasto) y entre los arbustales el género *Eupatorium* (Thola).

La vegetación está sometida a un pastoreo extensivo, tanto en las zonas bajas como en las submontañas y montañas; a esto se suma el corte de los árboles y arbustos para fines de leña. Entonces la cubierta vegetal y la protección del suelo son muy precarias. De las especies de flora detectadas en la cuenca alta, el Aliso (*Alnus glutinosa*), Pino del Cerri (*Podocarpus parlatorei*) y Kewiña (*Polylepis tomentella*), son especies vulnerables y en peligro de extinción.

En resumen, el estado de deterioro de la vegetación es alto por efecto de la sobreexplotación para leña, sobrepastoreo, y agricultura. Esto está dando lugar a que el agua no se infiltre y más bien el escurrimiento es cada vez mayor, lo cual contribuye a la degradación más rápida de los suelos.

2.8 Fauna

La fauna se encuentra mayormente en las quebradas, donde existe agua, también se encuentran en los pastizales y bosques. La población de las aves está disminuyendo, debido a la destrucción de hábitats y presión de los cazadores. Los animales más comunes son: Comadreja (*Mustela nivalis*), Murciélago (*Chiroptera sp.*), Liebre (*Caprolagus hispidus*), Zorrillo (*Mephitidae*), Viscacha (*Lagidium viscacia*), Venado (*Ozotoceros Bezoarticus*) y diversas especies de roedores (mamíferos); Pato, Cóndor, Lechuza, Monterita boliviana, Mirlo de agua, Pepitero colorado (aves); Churuma, Mizquincho, Doradito (peces) y Cangrejos (crustáceos).

2.9 Clima

Los centros básicos de acción que condicionan el desarrollo de la formación de los diferentes climas, son generalmente los anticiclones subtropicales semi estacionarios del Atlántico, así como el centro de baja presión originado al este de Los Andes con influencia al sur este del país. A esto se suma las condiciones orográficas y de orientación en la caracterización de los climas del Valle Central de Tarija, incidiendo de manera específica en la precipitación.

De acuerdo a las estaciones climatológicas ubicadas en la Cuenca Alta, y tomando los valores de precipitación y temperatura y alturas sobre el nivel del mar, se ha realizado una zonificación climática (aplicando el método de Caldas-Lang modificado), encontrando que la cuenca tiene cinco unidades climáticas, cuyas características se encuentran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Características principales del clima

Unidad Climática	A.S.N.M. (m)	T. Media (°C)	Pp. Media (mm)	ETP (mm)	Déficit Hídrico	Área (%)
Templado Sub húmedo	1800	15-18	800-1200	1050	4 meses	0.05
Templado semi árido	2000	16-18	550-700	1286	Casi todos los meses	60.90
Templado árido	1900	17-18	300-500	1250	Casi todos los meses	0.19
Frío semi húmedo	2950	11-14	500-1200	1160	6 meses	3.51
Frío semi árido	3000	11-14	600-800	1163	6 meses	35.35

Fuente: Plan de Manejo Integral de los Recursos Naturales de la Alta Cuenca del Río Guadalquivir, 1999.

a. Temperatura

La temperatura media anual de la cuenca es de 18°C, en el sector este del Río Guadalquivir y 13°C en el sector oeste. La temperatura máxima extrema es de 40,5°C y la mínima extrema es

de -9,5°C. En las cotas de 2100 y 1800 msnm, que son las que se encuentran las áreas agrícolas, las temperaturas tienen oscilaciones de más o menos de 2° C., respecto a los valores señalados anteriormente.

b. Humedad relativa

La humedad relativa es moderada, con un promedio anual de 60%, sobrepasando este valor durante los meses de diciembre a abril. Una de las características interesantes con respecto a la humedad es la presencia de aire húmedo y frío en las estaciones de invierno que, acompañadas de vientos, dan origen a una sensación térmica diferente a la observada en los termómetros.

Los valores de evaporación y evapotranspiración potencial llegan a 1.760 y 1.272 mm respectivamente, lo que indica déficit máximo de 675 mm mensuales al final de la estación seca. Los meses más críticos son de agosto a septiembre. Los meses de balance hídrico positivo (diciembre-febrero) son utilizados para realizar la mayor parte de los cultivos agrícolas.

c. Vientos

La velocidad de los vientos de julio a octubre alcanza de 18 a 36 Km/h, con eventos extraordinarios de 90 Km/h. La frecuencia de vientos del sur y sur este. Los vientos son considerados como moderados y no constituyen un peligro para la agricultura.

d. Heladas

Las heladas se presentan en los meses de junio a septiembre, con ocurrencia de heladas hasta 26 días al año. Considerando la información de 30 años de registro, se puede llegar a estimar la probabilidad del régimen de heladas. El periodo libre de heladas esta alrededor de 273 días, quedando un periodo medio con heladas de 92 días comprendidas entre el 25 de mayo y el 25 de agosto. Los efectos negativos se presentan generalmente en toda la cuenca, limitando el desarrollo de cultivos agrícolas.

e. Granizada

Es muy difícil pronosticar la ocurrencia de la granizada, normalmente se presenta entre los meses de octubre - marzo y se origina principalmente debido a la presencia de corrientes convectivas de aire húmedo, que forman las nubes de tipo cúmulos nimbus. Debido al fuerte impacto físico, produce daños severos a la agricultura, sobre todo en las partes bajas de la cuenca.

f. Sequías

Como efecto del cambio climático es más frecuente la incidencia del Fenómeno del Niño y la Niña, dando lugar a una deficiencia de agua, situación que afecta a sector agropecuario y genera el déficit de agua potable para la ciudad de Tarija.

g. Inundaciones:

Las inundaciones se presentan por la gran concentración de lluvias en un corto periodo de tiempo y la disminución de la cobertura vegetal, que origina grandes descargas de sedimentos al Río Guadalquivir originando su colmatación y dando lugar a desbordes y daños materiales aguas abajo. También es atribuible a la explotación de áridos sin un plan bajo conceptos de manejo técnico sostenible que garantice su explotación sin riesgos.

2.10 Hidrología

a. Precipitaciones

El régimen pluvial en la Cuenca Guadalquivir está caracterizado por dos periodos bien definidos: el periodo húmedo de noviembre a marzo con el 85% de la concentración total, y el periodo seco se presenta de abril a octubre con el 15 % de concentración total. Con presencia de periodos muy secos de mayo a agosto, con concentraciones menores al 1% del total.

Debido a que las masas de aire húmedo provenientes del sur este, se condensan al chocar con la Cordillera de Sama, origina elevada precipitación (1.100 mm); las que van disminuyendo a medida que se aleja de la cordillera, así en la Serranía de Gamoneda la precipitación es de 500 y 400 mm.

La precipitación media anual de la cuenca es de 687 mm (valor estimado de las isoyetas del mapa 8), valor comprendido entre las medias anuales de la estación AASANA (609,9 mm) y la de Coimata (743,3 mm).

En las precipitaciones medias mensuales, se observa gran variabilidad, siendo los meses más altos de octubre a marzo (33 a 249 mm) y los meses más secos de abril a septiembre (de 1 a 15 mm)

Cuadro 4. Lluvias mensuales máxima y mínimas (Estación AASANA)

Mes	Lluvia Máxima (mm)	Lluvia Mínima (mm)
Enero	261,1	48,6
Febrero	219,8	39,9

Mes	Lluvia Máxima (mm)	Lluvia Mínima (mm)
Marzo	181,6	5,6
Abril	95,5	0,0
Mayo	27,0	0,0
Junio	22,0	0,0
Julio	21,0	0,0
Agosto	35,0	0,0
Septiembre	34,0	0,0
Octubre	69,1	1,0
Noviembre	133,8	3,0
Diciembre	240,7	29,2

Fuente: SENAMHI, 2014

Es necesario recordar que las lluvias son de tipo orográfico y convectivo con tormentas de gran intensidad y corta duración. A esto hay que añadir los daños causados por las precipitaciones intensas, como ser la destrucción de obras de alcantarillas, obras de defensa y pequeños diques de tierra, se concluye que estimaciones de lluvias máximas de duración de dos horas son las más adecuadas.

b. Caudales

Los regímenes de escurrimiento de los ríos siguen el régimen de precipitaciones. El caudal empieza a aumentar desde el mes de octubre y alcanza su máximo en el mes de febrero, para luego descender más tarde. El periodo de estiaje es largo y los ríos menores pierden su caudal. El régimen hidrológico es por lo tanto irregular y torrencial.

Cuadro 5. Caudales medios anuales de diferentes puntos de aforo

Estación de Aforo	Río	Área Cuenca (Km ²)	Q Medio año (m ³ /s)	Q Especifico (L/s/Km ²)
Canasmoro	Guadalquivir	230	2,44	10,60
Erquis	Erquis	57	0,80	14,00
Obrajes	Guadalquivir	850	6,10	10,70
Sella Oda	Sella	-	1,71	-
Trancas	Guadalquivir	-	0,85	-

Fuente: SENAMHI, 2014

El caudal medio de la cuenca alta del Río Guadalquivir es de 6,76 m³/s y 6,40 l/s/Km², de caudal específico. Una vez iniciado el descenso del escurrimiento por una estación de aforo, en el cual

el aporte del escurrimiento es solamente el subterráneo, esta curva recibe el nombre de “curva de agotamiento”, que representa la disminución del agua almacenada en los acuíferos. En los ríos de Tarija, esta curva se inicia en abril hasta septiembre. Caudales mínimos se presentan en septiembre o en octubre, dependiendo del inicio de la época de lluvia. Para la gestión 2014, se observa que los caudales máximos son de octubre a marzo y los caudales mínimos son los meses de abril a septiembre.

En la gestión 2017, se realizó la primera campaña de monitoreo de calidad de agua asociada al Sistema de Monitoreo y Vigilancia Hídrica (SIMOVH) del Río Guadalquivir, en la cual a través de la participación del SENAMHI se realizó la determinación de caudales en 13 estaciones de monitoreo, cuyos datos se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Caudales registrados en la campaña de monitoreo 2017

Estación de Aforo	Río	Caudal (m ³ /seg)	Área (m ²)	Velocidad (m/seg)
Trancas	Trancas	0,052	0,25	0,283
Carachimayo	Carachimayo	0,499	0,96	0,676
Santa Bárbara	Guadalquivir	0,93	0,36	0,366
Tomatitas	Erquis	0,108	0,32	0,451
Tipas	Guadalquivir	0,524	1,33	0,484
Barrio Petrolero	Guadalquivir	0,418	0,69	0,767
Temporal	Guadalquivir	1,021	1,96	0,758
La Huerta	Camacho	0,477	0,92	0,676
Chaguaya	Camacho	0,331	1,35	0,540
Unión Río Alisos y Camacho	Camacho	0,061	0,53	0,143
Cruce Saladillo	Camacho	0,051	0,25	0,239
Ancón Chico	Guadalquivir	0,776	1,75	0,574
La Angostura	Guadalquivir	1,077	5,26	0,277

Fuente: SENAMHI, 2017

El caudal medio registrado de la gestión 2017 para el Río Guadalquivir es de 0,55 m³/seg, siendo que el periodo seco se inicia en mayo y concluye en octubre. La campaña de monitoreo así como los datos registrados corresponden a la época seca.

c. Aptitud de Uso

El documento intitulado “Estudio de saneamiento ambiental del Río Guadalquivir – Diagnóstico de la situación sanitaria del Río Guadalquivir”¹ hace referencia a la explotación de las aguas superficiales en esta cuenca, una de ellas para el abastecimiento de agua potable, y el uso de los recursos hídricos para riego a través de la derivación del agua superficial en numerosas acequias.

Según el estudio, la zona alta de la Cuenca del Guadalquivir era esencialmente pecuaria y de subsistencia, cuya producción estaba destinada al consumo familiar (90%) y el excedente a la comercialización del mercado local (10%), esto debido principalmente a la escasa disponibilidad de terrenos aptos para la agricultura y la limitada extensión de los mismos. Los productos sobre los cuales se concentraba la producción eran: maíz (*Zea mays*), papa (*Solanum tuberosum*), arveja (*Pisum sativum*), trigo (*Triticum aestivum*), como alimentos básicos, y haba, poroto, cebolla (*Allium cepa*) y algunas leguminosas, en menor proporción para su comercialización. En la cuenca se realizaban también actividades turísticas, de esparcimiento y recreación acuática, centralizadas con el tiempo en la cuenca alta.

La Auditoría Ambiental (AA) del Río Guadalquivir efectuada por la Contraloría General del Estado Plurinacional, realizó la confirmación de la información manifestada en el documento de referencia, evidenciando la existencia de actividad agrícola en la parte alta y baja de la cuenca, teniéndose acequias y canales como medios de abastecimiento de agua para el riego de los cultivos. Con relación a la actividad recreativa, la misma se encuentra aún presente desde la Comunidad de Trancas hasta Tomatitas, siendo menos frecuente en lugares de la cuenca baja.

2.11 Degradación ambiental

Los principales problemas de degradación ambiental identificados en el diagnóstico de la cuenca alta del Río Guadalquivir son:

- Erosión de los suelos; fenómeno que afecta a toda la cuenca con diferentes grados de intensidad y reduce paulatinamente la capacidad de producción de la tierra. Los factores naturales que coadyuvan a este problema tienen que ver con la inestabilidad de las formaciones geológicas, el relieve montañoso con fuertes pendientes, las altas intensidades y concentración de lluvias en tres meses del año, y los factores antrópicos, principalmente la pérdida de la cobertura vegetal del suelo debido a la deforestación,

¹ Documento que forma parte del Programa Estratégico de acción para la Cuenca Binacional del Río Bermejo

sobrepastoreo, la destrucción de la cobertura vegetal para habilitar terrenos de cultivo y el inadecuado uso del suelo.

- Limitado y deficiente aprovechamiento del recurso hídrico; la fuerte estacionalidad de la precipitación pluvial resulta en la baja disponibilidad de agua en la época seca del año, problema que se agrava debido a la insuficiente y deficiente infraestructura de regulación del agua.
- Baja producción y productividad agropecuaria; el principal factor antrópico para este problema es el uso de prácticas agropecuarias y forestales inapropiadas (monocultivo, cultivo en laderas, sobrepastoreo y deforestación) y entre los factores naturales se tiene la baja capacidad de producción natural del suelo, la escasa superficie de suelos aptos para la actividad agropecuaria, el corto período de lluvias y las frecuentes sequías, heladas, granizadas y crecidas de los ríos
- Contaminación del agua; se presenta en el tramo del Río Guadalquivir a su paso por la Ciudad de Tarija la que es causada, por una parte, por el vertido directo al río de aguas servidas sin tratamiento, y, por otra, los desechos sólidos. El resultado de esta contaminación se manifiesta en el incremento de enfermedades infectocontagiosas, disminución de la calidad de agua para consumo humano y riego, disminución de la flora y fauna acuática y deterioro de áreas recreativas.
- Pérdida de la biodiversidad, se manifiesta en la paulatina disminución de la población de especies de aves, mamíferos y peces y por la pérdida de ecosistemas naturales causados por destrucción de hábitats y la caza y pesca indiscriminada.
- Inundaciones, heladas granizadas y sequías, son fenómenos frecuentes que afectan áreas rurales y urbanas causando pérdidas de cosechas en el área rural. Asimismo, las inundaciones afectan la infraestructura urbana, principalmente, la de la ciudad de Tarija.

3 Fuentes de contaminación

La cuenca del Río Guadalquivir un espacio de vida y desarrollo es un área delimitada que funciona como un sistema complejo y abierto, conformado por elementos sociales, económicos, culturales, normativos, político administrativo, biofísicos y ambientales que se encuentran interrelacionados entre sí, generando flujos, influencias y líneas de acción que permiten su permanente modificación en un todo.

3.1 Descargas industriales con licencias ambientales

De acuerdo a la información facilitada por los municipios a la Contraloría General del Estado, en el marco de la Auditoría Ambiental de Río Guadalquivir, en la gestión 2015, el Municipio de Tarija tenía el registro de 23 Actividades, Obras o Proyectos (AOPs) desde la gestión 2008. Para el mismo periodo, San Lorenzo tenía registrado 11 AOPs. Padcaya y Uriondo hasta la gestión 2014 no tenían registrado el número de empresas con licencias ambientales en sus municipios.

Cuadro 7. Empresas con licencia ambiental en los municipios de San Lorenzo y Tarija (2009-2014)

N	Nombre	Rubro	Cat.	Municipio	Año
1	EMBOL S.A.	Elaboración de bebidas gaseosa	4	Tarija	2009-2014
2	Pil Tarija S.A.	Productos de transformación de la leche	3	Tarija	2010 y 2014
3	Cervecería Boliviana Nacional S.A.	Elaboración de bebidas malteadas y de malta.	3	Tarija	2013
4	Cerámica San Luis S.R.L.	Fabricación de productos de arcilla y cerámica no refractaria	3	Tarija	2013 y 2014
5	Viñedo y Bodegas Campo de Solana	Elaboración de bebidas fermentadas pero no destiladas.	3	Tarija	2013 y 2014
6	Bodegas Milcast S.R.L.	Elaboración de vinos y bebidas frescas.	2	Tarija	2014
7	Curtiembre San Juan	Curtido de cueros	3	Tarija	2014
8	Issa Concretec – Planta de Hormigón Tarija	Fabricación de artículos de hormigón, cemento y yeso	3	Tarija	2014
9	Matadero Avícola Rico Pollo	Granja de pollos parrilleros	3	San Lorenzo	2014

Fuente: Auditoría Ambiental del Río Guadalquivir CGE, 2015

3.2 Descargas industriales por sistema de alcantarillado

De acuerdo a información presentada por COSSALT, en la gestión 2015, esta instancia tenía registradas a 36 industrias de las cuales solo 8 contaban con convenio, algo más del 20% del total de las industrias registradas. Realizado el respectivo análisis de los informes presentados por estas industrias, se puede concluir que todas las industrias monitoreadas por COSAALT con convenio suscrito, tenían al menos un reporte que presentaba por lo menos un parámetro con valores por encima de los límites establecidos en la normativa.

Cuadro 8. Actividades industriales que suscribieron convenios con COSAALT (2009-2015)

N	Nombre de la actividad productiva	Rubro de actividad	Año de suscripción
1	Cervecería Boliviana Nacional S.A.	Bebidas (elaboración de cerveza)	2009
2	Bodegas Milcast S.R.L.	Elaboración de vinos y bebidas frescas	2011
3	Avícola de Pollo Pintón	Producción y procesamiento de carnes de ave de corral	2012
4	Embotelladora cascada del sur "EMBOSUR"	Elaboración de bebidas y gaseosas	2012
5	Lavandería Manantial II	Lavado de camiones y movilidades grandes	2014
6	Lavandería Guzmán	Lavado de movilidades en general	2014

*Para la gestión 2008, COSAALT ya había suscrito convenio con 2 industrias

Fuente: Auditoría Ambiental del Río Guadalquivir CGE, 2015

3.3 Descargas de plantas de tratamiento de aguas residuales

Respecto a las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), en la cuenca se cuenta con 6 plantas de tratamiento de aguas residuales. El municipio de Tarija cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales bajo la administración de COSAALT, denominada San Luis. El municipio de San Lorenzo cuenta con la planta de tratamiento de Canasmoro. Finalmente Uriondo cuenta con cuatro PTARs ubicadas en el Valle de la Concepción, Chocloca, San Antonio y en la comunidad de Calamuchita.

3.4 Actividades de extracción de áridos y agregados

De acuerdo a la información remitida por los municipios de la cuenca del Río Guadalquivir, el municipio que cuenta con mayor registro de actividades y empresas relacionadas a la actividad de extracción de áridos y agregados es Tarija, seguidamente de Uriondo. Las actividades reportadas hasta la gestión 2015 se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 9. Actividades de extracción de áridos y agregados con licencia ambiental

N	Empresa	Volumen de extracción anual (m3)	Municipio
1	CONCITAR	31,275	San Lorenzo
2	ERIJA	Sin información	San Lorenzo
3	CIDAR	Sin información	San Lorenzo
4	Áridos ROGELIOS	Sin información	San Lorenzo
5	Manuel Garzón	Sin información	San Lorenzo
6	CONCASBAL	Sin información	Tarija
7	Áridos SEGOVIA	Sin información	Tarija

N	Empresa	Volumen de extracción anual (m3)	Municipio
8	José Luis Velásquez Dávalos	Sin información	Tarija
9	Sindicato mixto SAN ÁNDRES	Sin información	Tarija
10	Jorge Tobala Flores	Sin información	Tarija
11	Jaime Castellanos Balcazar	Sin información	Tarija
12	René Eduardo Miranda de la Serna	Sin información	Tarija
13	Áridos 16 DE ENERO	Sin información	Tarija
14	Ricardo Richard Estrada Cortez	Sin información	Tarija
15	Transporte de áridos EL CHAPAQUITO	Sin información	Tarija
16	Asociación de volqueteros LA CIRCUNVALACIÓN	Sin información	Tarija
17	Alberto Sossa Morales	Sin información	Tarija
18	Cooperativa Transporte 6 DE AGOSTO	Sin información	Tarija
19	Wilson Morón Martínez	Sin información	Tarija
20	Luis Adam Michel Mendoza	Sin información	Tarija
21	Planta de tratamiento de áridos Ana María Guerrero Reinhard	Sin información	Tarija
22	Áridos ANGOSTURA	Sin información	Tarija
23	Áridos CUELLAR	Sin información	Tarija
24	Áridos GARZÓN	Sin información	Tarija
25	Constructora ERIKA	Sin información	Tarija
26	JOSBRA	Sin información	Tarija
27	Marcelo Aparicio Leño	Sin información	Tarija
28	Ronald Fernández Aparicio	Sin información	Tarija
29	CASA FUERTE	Sin información	Tarija
30	RIOS S.R.L.	Sin información	Tarija
31	Áridos SOSA	Sin información	Tarija
32	Asociación Accidental GUADALQUIVIR	14,000 m3	Uriondo
33	CEIBO	5,000 m3	Uriondo
34	ERIKA	13,200 m3	Uriondo
35	CASA GRANDE	3,000 m3	Uriondo
36	Asociación Accidental Silvia & Lazcano & Asociados	2,000 m3	Uriondo
37	IBAZA	6,500 m3	Uriondo
38	ECOVIL SRL	1,800 m3	Uriondo
39	ERIKA		Padcaya
40	1ro DE MAYO		Padcaya

*Las empresas mencionadas en el cuadro realizan explotación industrial, no se toman en cuenta a las empresas que realizan explotación artesanal dado que se encuentran dentro del campo informal.

Fuente: Auditoria al Río Guadalquivir CGE, 2015

4 Determinación de la calidad hídrica actual (Línea base) de la cuenca del Río Guadalquivir

En el Programa Plurianual de Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Manejo Integral de Cuencas (PP) correspondiente al monitoreo del PNC, aprobado en la gestión 2017, se han definido dos índices para la determinación de la Línea Base de Calidad Hídrica es decir la situación actual (gestión 2017), estos dos índices están relacionado a la capacidad de gestión de la calidad hídrica de las entidades autónomas territoriales (gobernaciones y municipios) y el grado de avance en la calidad hídrica de los cuerpos de agua.

4.1 Cálculo del Índice de Gestión de la Calidad Hídrica para el Río Guadalquivir = (IGCH)

a. Información previa

Con referencia a la información previa para la línea base para la determinación del Índice de Gestión de Calidad Hídrica (IGCH), se toma en cuenta los criterios y fuentes de sustento con las que se cuenta hasta la gestión 2017, para las cuencas priorizadas. Por otra parte aclarar que al ser un resultado de impacto es susceptible a ser afectado por temas externos no controlados como los factores de cambio climático o la implementación de nuevas AOP's que generen descargas a los cuerpos de agua lo que puede repercutir a una variabilidad del cálculo del indicador y los resultados.

b. Sustentos para el cálculo de línea base

La línea base será desarrollada para cada uno de los índices de las cuencas estratégicas priorizadas y de forma individual, para lo cual en el presente documento se efectúa un análisis de la información sustento por co-indicador

- *Identificación del micro cuenca /subcuenca con prioridad de gestión de la calidad hídrica*
- *Decisión política de encaminar el proceso de clasificación de cuerpos de agua*
- *Caracterización del estado de situación de la calidad hídrica*
- *Clasificación del cuerpo de agua y medidas de restauración y protección*
- *Implementación del Plan de Acción*

El cálculo de IGCH_{GUA} está definido como:

$$IGCH = \sum (IG_{Gua} * RD_{Gua})$$

Donde:

RD_{Gua} (**Relevancia demográfica de la cuenca estratégica**) = (Población de la cuenca estratégica según Censo 2012 o censo más reciente oficialmente disponible)/(población total de Bolivia según Censo 2012 o censo más reciente oficialmente disponible)

Subindicador: **Índice de Gestión de Calidad Hídrica (IGCH)**

$$IGCH = \frac{(i * 10\%) + (ii * 15\%) + (iii * 25\%) + (iv * 25\%) + (v * 25\%)}{3,4}$$

Valoración de la RD_{Gua} (Relevancia demográfica de la cuenca estratégica)

Cuadro 10. RD_{Gua} (Relevancia demográfica de la Cuenca del Río Guadalquivir)

Población de la Cuenca del Río Guadalquivir	Población Bolivia	RD_{Gua} (Relevancia demográfica de la cuenca estratégica)
241.677 habitantes*	10.059.856 habitantes	0,0240

Fuente: Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, 2017

La Valoración del $IGCH_{Gua}$ se presenta en el siguiente Cuadro:

Cuadro 11. Índice de Gobernabilidad Hídrica de la cuenca del Río Guadalquivir

Co-indicador	Documentación de sustento	Nivel	Ponderación
Co-indicador (i)	Sí	1	10
Co-indicador (ii)	Sí	2	30
Co-indicador (iii)	Sí	1	25
Co-indicador (iv)	No	0	0
Co-indicador (v)	No	0	0
$IGCH_{Rocha} / 3,4 =$			19,1176 %

Fuente: Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, 2017

Entonces:

$$IGCH_{Gua} = 19,1176\% * 0,024$$

$$IGCH_{Gua} = 0,0045$$

Cabe mencionar, que el proceso de clasificación del Río Guadalquivir ha sido iniciado en la gestión 2013, periodo durante el cual se tuvo los primeros acercamientos con las autoridades sub nacionales para dar inicio con el proceso de clasificación, cuyo marco normativo era únicamente el RMCH, que sentaba los lineamientos generales para la clasificación de cuerpos de agua. A la fecha los municipios en coordinación con la Gobernación de Tarija, están

recopilando y generando información para dar curso a la elaboración de la documentación solicitada para la clasificación de Río Guadalquivir, cuya actividad más cercana es el segundo monitoreo de calidad hídrica a realizarse en el primer semestre de la gestión 2018.

En este sentido, considerando que ya se han realizado acciones orientadas a la clasificación de este cuerpo de agua, previas al establecimiento de la metodología de cálculo del indicador IGCH (es decir, la documentación ha sido generada antes de la gestión 2017, año de la formulación de la continuidad del Programa Plurianual 2017-2020), no se han generado como respaldos los documentos previstos en el Marco de Evaluación de Desempeño 2017-2020; sin embargo existen documentos que podrían ser considerados análogos (ver tabla) a la documentación de respaldo prevista, los cuales si bien no se ajustan a los medios de verificación establecidos en el PP, muestran los avances realizados en el proceso de clasificación y por ende, responden al objetivo final y al carácter previsto en los nuevos co-indicadores del MED.

Cuadro 12. Documentos que respaldan los co-indicadores i, ii y iii del MED para el indicador IGH

Co-indicador	Nivel de cumplimiento	Respaldos análogos considerados para la línea base
Co-indicador (i)	1	Auditoría sobre los resultados de la gestión ambiental en la Cuenca del Río Guadalquivir
Co-indicador (ii)	2	Actas, listas de participantes e informes de reuniones, talleres, entre otros.
Co-indicador (iii)	1	Sistema de Monitoreo y Vigilancia Hídrica Actas, listas de participantes e informes de reuniones, talleres, entre otros

Fuente: Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, 2017

4.2 Cálculo grado de avance en el alcance de los indicadores de la calidad hídrica

La metodología de cálculo establece como requisito para la determinación de este índice, el monitoreo de la calidad de agua en cada una de las cuencas priorizadas durante las gestiones 2016 y 2017. Para ello se conformó los Sistemas de Monitoreo y Vigilancia Hídrica nuevos o se efectuaron monitoreo que permiten contar con datos de la caracterización fisicoquímica de cada uno de los cuerpos de agua y poder compararlas con los límites permisibles establecidos en Cuadro A 1 del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH).

Para el cálculo del Índice (ΔCH), como el nivel deseado a alcanzar de línea base se tomará, los límites permisibles la clase C.

4.2.1 Localización de los puntos de monitoreo

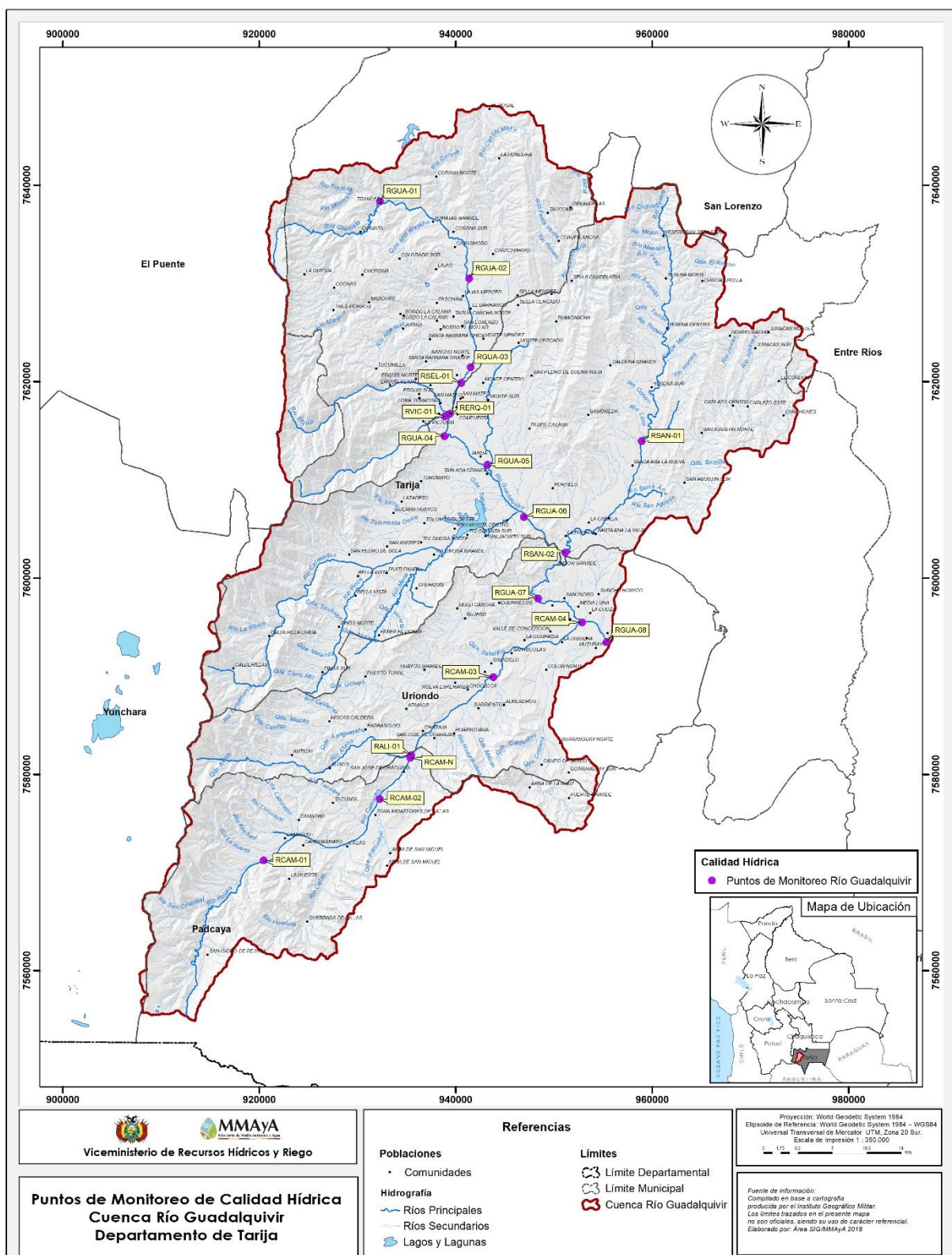
En la gestión 2017, el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, en coordinación con diferentes instituciones de la cuenca realiza la implementación del Sistema de Monitoreo y Vigilancia Hídrica de la cuenca del Río Guadalquivir, en el mismo se define la red de monitoreo conformada por 18 puntos, de los cuales: 8 se encuentran sobre el Río Guadalquivir, 4 sobre el Río Camacho, 2 sobre el Río Santa Ana, 1 sobre el Río Sella, 1 sobre el Río Victoria, 1 sobre el Río Erquis y 1 sobre el Río Alisos. En el cuadro 15 se muestran las coordenadas de los puntos mencionados.

Cuadro 13. Red de monitoreo del SIMOVH Guadalquivir

Código	Nombre	Este	Norte	Zona UTM
GUA-01	Río Guadalquivir, puente Trancas	309692	7642944	20
GUA-02	Río Guadalquivir, puente Carachimayo	319048	7635455	20
GUA-03	Río Guadalquivir, puente Santa Bárbara	319524	7626455	20
GUA-04	Río Guadalquivir, toma de agua Las Tipas	317150	7619355	20
GUA-05	Río Guadalquivir, Barrio Petrolero	321613	7616618	20
GUA-06	Río Guadalquivir, el Temporal - Angosto	325519	7611441	20
GUA-07	Río Guadalquivir, Ancón Chico	327294	7603215	20
GUA-08	Río Guadalquivir, El Angosto	334348	7595103	20
SEL-01	Río Sella, antes del Río Guadalquivir	318651	7624833	20
VIC-01	Río Victoria, antes de Río Guadalquivir	317096	7621344	20
ERQ-01	Río Erquis, antes del Río Guadalquivir	317604	7621633	20
SAN-01	Río Santa Ana, puente Chaco	337188	7619617	20
SAN-02	Río Santa Ana, puente Bermejo	329864	7607987	20
CAM-01	Río Camacho, La Huerta	300462	7575532	20
CAM-02	Río Camacho, aguas abajo Chaguaya	312000	7582228	20
CAM-03	Río Camacho, Almendros-Saladillo-San Antonio	323048	7595052	20
CAM-04	Río Camacho, antes del Río Guadalquivir	331851	7600969	20
ALI-01	Río Alisos, puente Alisos	315009	7586816	20

Fuente: Sistema de Monitoreo y Vigilancia Hídrica, 2017

Mapa 1. Red de monitoreo del SIMOVH Guadalquivir



Fuente: Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, 2017

La red de monitoreo se encuentra establecida sobre los municipios de: San Lorenzo (6 puntos), Tarija (5 puntos), Padcaya (2 puntos) y Uriondo (5 puntos).

4.2.2 Determinación de la calidad deseada

Se tomará como referencia la aptitud de uso aguas abajo de la cuenca o la aptitud de uso que se desea recuperar, según los informes de auditoría elaborados por la Contraloría General del Estado para el Río Guadalquivir de recreación - Clase C.

4.2.3 Análisis de los parámetros evaluados

La red de monitoreo en el Río Guadalquivir fue implementada en la gestión 2017 por el VRHR, con dos componentes uno en el cuenca del Río Guadalquivir con puntos de monitoreo denominado “cuerpo de agua principal” y otro secundario denominado “cuerpos de agua secundarios”, que corresponden a los tributarios o afluentes del Río Guadalquivir.

El análisis para la línea base corresponde a la gestión 2017 realizado en el mes de octubre que pertenece a la época de lluvias; el monitoreo de Calidad Hídrica del Río Guadalquivir, tiene en total de 19 puntos de monitoreo distribuidos en ocho puntos en el mismo Río Guadalquivir y otros 11 en los ríos tributarios, en su generalidad se tomaron una muestra de monitoreo por río tributario excepto el Río Camacho donde se tomaron cinco muestras. En función a los parámetros definidos en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica Cuadro A-1, se analizó en esta primera fase la mayoría de los constituyentes, los cuales permiten contar con datos del estado de situación del Río Guadalquivir en la gestión de 2017. El análisis de resultados muestran los siguientes datos:

a. Parámetros básicos

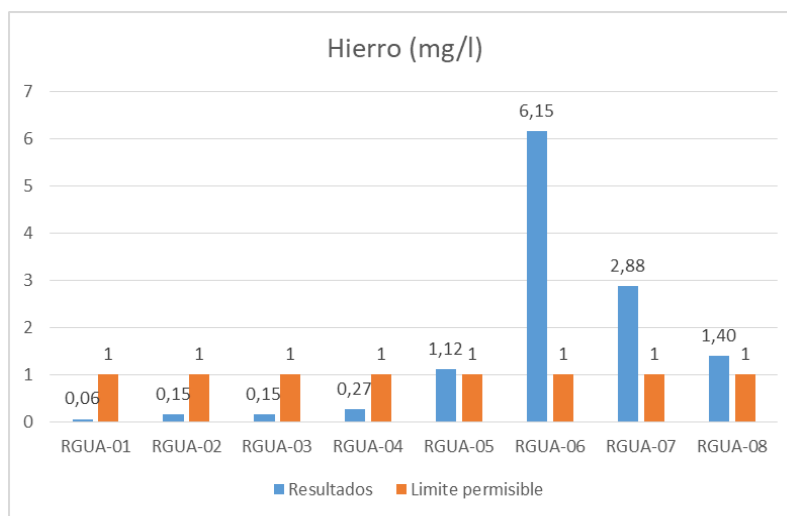
En la cuenca del Río Guadalquivir dentro de los parámetros básicos que se hallan con tendencias sobre de los límites permisibles establecidos en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH), está el *pH* en un solo punto ubicado en el puente Santa Bárbara del Municipio de San Lorenzo y en *Sólidos Suspendidos Totales* cuyos valores están muy próximos al límite de clase D. Con referencia a los ríos tributarios, no existen excedentes a la norma para clase D, sin embargo la conductividad eléctrica y turbidez se muestran valores con excedentes para Clase B y C, tanto en el Río Guadalquivir como uno de los puntos monitoreados del Río Camacho.

b. Constituyentes Inorgánicos Metálicos y Metaloides

Los constituyentes inorgánicos metálicos y metaloides en la cuenca presentan valores sobre los límites permisibles en la gestión 2017 en los parámetros de *cromo y fierro*, en especial en los

puntos ubicados en Tarija y Uriondo en la cuenca del Río Guadalquivir y también como en un tributario el Río Camacho, los aportes de hierro son generalmente asociados a actividades de explotación de agregados o también puede ser de origen natural y el origen de cromo por actividades de curtido de cuero. Cabe mencionar que si estimamos los caudales de los ríos entre 1-5 m/s el estimado de carga contaminante en hierro es de 2656,8 kg/ día como máximo valor (Punto RGUA-06).

Gráfico 1. Variabilidad del parámetro Hierro en la cuenca del Río Guadalquivir



Fuente: Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, 2017

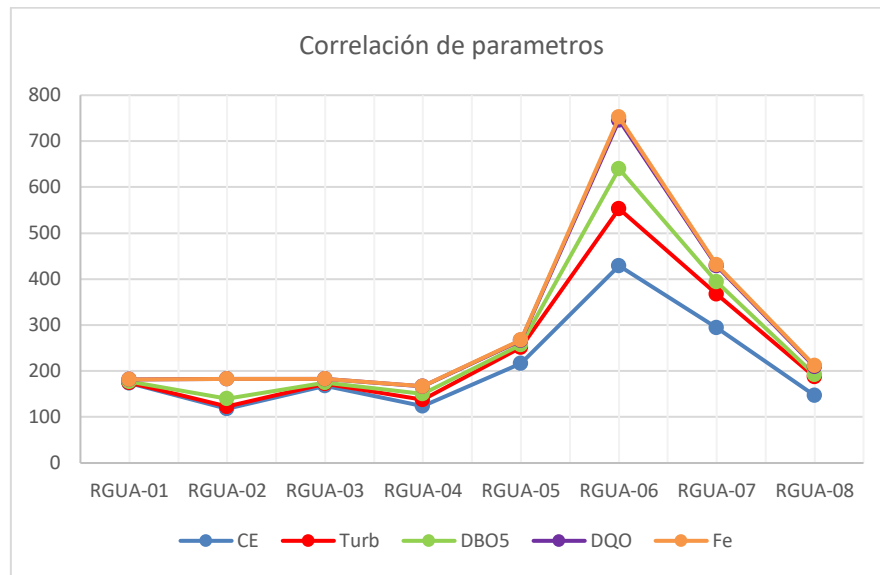
c. Constituyentes Inorgánicos No Metálicos

Con referencia a los constituyentes Inorgánicos No Metálicos se registran dos valores de *fosfatos* que exceden el límite máximo permisible en la normativa vigente. En el punto ubicado a la altura del puente Carachimayo, municipio de San Lorenzo, el valor registrado es 0,3 veces mayor al límite máximo establecido para Clase D, valor que disminuye a lo largo de Guadalquivir, registrándose un nuevo valor crítico en el punto ubicado en Ancón Chico, municipio de Uriondo, que excede 2 veces el límite máximo permisible.

d. Constituyentes orgánicos agregados

En estos elementos constituyentes en el Río Guadalquivir presentan valores sobre los Límites permisibles en *DBO* y *DQO* en el punto del Temporal –Angosto en el Municipio de Tarija, en los otros puntos monitoreados presentan valores por encima de los límites permisibles para clase B o C por lo que se requiere seguimiento. Por otra parte en plaguicidas existe la presencia del *Eldrin* y el *Paratión* aspecto preocupante debido a que estos compuestos corresponden a los agroquímicos que debían ya estar erradicados debido que pertenecen a compuestos orgánicos persistentes (Convenio de Estocolmo).

Gráfico 2. Correlación de parámetros fuera de límite permisible



Fuente: Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, 2017

Como se puede apreciar en el gráfico anterior, existe una notable correlación entre los parámetros de Conductividad Eléctrica, Turbidez, DBO₅, DQO y Fe, que son los parámetros que exceden los límites permisibles. Si bien no existe una correlación comprobada entre los parámetros de Conductividad Eléctrica, Turbidez, DBO₅, DQO y Fe, el análisis de la gráfica nos permite observar esta correlación entre los mencionados parámetros. Para los parámetros de DBO₅ y DQO, se puede evidenciar la correlación científica y exacta a lo largo de todo el Río Guadalquivir.

4.2.4 Selección de parámetros “clave”

Por los resultados presentados producto del monitoreo del Río Guadalquivir y sus tributarios (2017), así como los resultados realizados por la Contraloría General del Estado (2015), muestran que las tendencias están orientadas al deterioro de las condiciones de calidad hídrica. Para validar los parámetros “Clave” o de seguimiento y emplearlos en los años posteriores para el cálculo de los Índices e indicadores planteados en el MED, se analizó el informe de Auditoría Ambiental de la Contraloría General del Estado, si bien los puntos de monitoreo no son los mismos en ubicación y cantidad se encuentran ciertas coincidencias en los parámetros por ejemplo en el parámetro de *pH*, así como el parámetro de *turbidez*, encontrándose para éste último coincidencias entre los resultados analizados, los cuales se encuentran en estrecha relación con los sólidos disueltos presentes en la cuenca.

El *chromo* y el *hierro* en constituyentes inorgánicos estos últimos constituyentes es importante en relación a las descargas procedentes de actividades como es el matadero de Quebrada Cabeza de Toro y las curtiembres ubicadas en el mismo sector. Es importante considerar en términos de constituyentes agregados la *DQO*, que si bien el en monitoreo de la gestión 2017, no presenta excedentes a la norma para clase D, mantiene excedentes para clase C y Clase B, este será un parámetro de referencia en relación a las descargas domiciliarias y su influencia en la Calidad Hídrica de la Cuenca.

Cabe mencionar que el Informe de Auditoría Ambiental a la Cuenca del Río Guadalquivir, muestra la necesidad de recuperar la calidad hídrica del cuerpo de agua, dado que en el transcurso de una década las condiciones mostraron el deterioro de la cuenca y por ende también la pérdida la aptitud de uso pasado en algunos tramos de Clase B a Clase C.

Del mismo modo, según el informe de la AA del Río Guadalquivir el punto ubicado en cercanías del Puente San Luis, presenta malas condiciones de calidad hídrica debido a presencia del matadero y curtiembres este punto es de suma importancia por la incidencia de las actividades contaminantes orgánicas.

a. Parámetros “clave” para la determinación del Índice (ΔCH).

Un criterio importante para poder calcular el Nivel de recuperación de la calidad Hídrica, es la identificación de parámetros “clave”, por cada uno de los constituyentes básicos, orgánicos e inorgánicos. Esta identificación está basada en los resultados de monitoreo y de la identificación de las fuentes potenciales contaminantes, está dirigido a aportar criterios para la aplicación de medidas de remediación de forma estratégica. Los parámetros “Clave” son:

Turbidez: La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión; mide la claridad del agua, por tanto permitirá realizar el seguimiento a las actividades de extracción de áridos y agregados que se realizan en la cuenca.

Hierro: éste parámetro es un indicador de la presencia de actividades de áridos y agregados, en el caso de que su presencia esté relacionada al sustrato de suelo, así como las actividades que deben tratar con residuos líquidos asociados a la sangre, ya que el hierro es un componente principal de este líquido; por tanto es un elemento importante para dar seguimiento a este tipo de actividades.

Fosfatos: dentro de los constituyentes inorgánicos no metálicos, el fosfato es compuesto presente en los detergentes de uso doméstico, por tanto es un indicador del vertido de

aguas residuales domiciliarias o actividades que usen este tipo de compuestos en su línea productiva.

DQO: es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación asociada a la materia orgánica.

Cuadro 14. Resumen de evaluación para la selección de parámetros clave

Constituyente	Evaluación		Parámetros Clave
	Parámetros fuera de límite permisibles	Justificación	
Parámetros Básicos	Se evidencia 1 punto fuera de límite en los parámetros ph y turbidez, respectivamente.	Bajo el criterio de “mayor desviación del límite permisible”, se prioriza la selección del parámetro de turbidez sobre el ph.	Turbidez
Constituyentes inorgánicos	Se evidencia un punto fuera del límite permisible para el parámetro Cr^{+3} y 4 puntos fuera del límite establecido para el parámetro de Fe (el valor máximo excede 5 veces el límite máximo permisible para clase C)	Bajo los criterios de “mayor presencia” y “mayor desviación del límite permisible”, se considera para el cálculo el parámetro de Fe.	Fe
	Se evidencian dos puntos fuera del límite permisible en el caso del parámetro PO_4 .	De acuerdo al criterio de “mayor desviación del límite permisible”, se considera el mismo para el cálculo del índice, además de ser éste el parámetro que no presenta correlación alguna con los demás parámetros.	PO_4
Constituyentes orgánicos	Para los parámetros de DBO y DQO, se evidencia que existen dos valores que exceden los límites permisibles para ambos casos, siendo que los valores máximos coinciden en el mismo punto.	En aplicación del criterio de “correlación” probada que existe entre la DBO y DQO, se selecciona la DQO, ya que éste parámetro mide la DBO.	DQO

Fuente: Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, 2017

4.2.5 Determinación de las desviaciones $\Delta B/\Delta I/\Delta O$ y Cálculo del Índice (ΔCH)

Tomando los criterios de la metodología y fórmula de cálculo citado en el punto 4 se tiene los siguientes resultados:

Cuadro 15. Grado de avance en el alcance de los indicadores de la calidad hídrica

Parámetro	Constituyente	Promedio mg/l	Limite permisible Clase C mg/l	$\Delta B/ \Delta I/ \Delta O$
Turbidez	Básico	124,00	100,00	$\Delta B = 0,19$
Fierro	Inorgánico	2,89	1,00	$\Delta I = 0,61$
Fosfatos	Inorgánico	2,31	1,00	
DQO	Orgánico	74,50	40,00	$\Delta O = 0,46$
$\Delta CH = (\Delta B + \Delta I + \Delta O) / 3$				0,42

Fuente: Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, 2017

4.2.6 Seguimiento MED

Tal y como establece la metodología y criterios de selección para el seguimiento y cálculo de la variación anual del indicador MED, se realizará en la gestión 2018, la determinación de los parámetros de: Turbidez, Fierro, Fosfatos y DQO correspondiente a la época seca.

Asimismo, respecto a la presencia de Endrín y Paratión, se realizaran controles periódicos sobre éstos compuestos, los cuáles serán reportados en las siguientes gestiones como parte del avance proyectado como resultado de las gestiones realizadas para la eliminación de éstos compuestos. Cabe recalcar que los mismos no serán parte del cálculo de la formula correspondiente.

5 Conclusiones y Recomendaciones

Efectuado el análisis correspondiente a la cuenca del Río Guadalquivir - gestión 2017, se concluye que en la cuenca alta media y sus tributarios ha presentado características y comportamiento de parámetros y constituyentes que ameritan continuar con su seguimiento en la gestión 2018, especialmente en los constituyentes Inorgánicos Metálicos y Metaloides de mucha atención como Fierro. Los componentes Inorgánicos No Metálicos que presentaron tendencia a incrementarse son los fosfatos y constituyentes agregados que presenta valores de DBO y DQO con excedentes con relación a los establecidos en la norma (RMCH).

Por otra parte en plaguicidas existe la presencia de Eldrin y Paratión, aspecto preocupante debido a que estos compuestos corresponden a los agroquímicos que debían ya estar erradicados debido que pertenecen a compuestos orgánicos persistentes (Convenio de Estocolmo), siendo recomendable la realización de la evaluación toxicológica de las aguas del Río Guadalquivir.

Para alcanzar los objetivos del MED 2018, se debe focalizar los esfuerzos en las descargas en la zona del puente San Luis, específicamente en los afluentes que desembocan en la quebrada del Toro que reciben las descarga procedentes de Mataderos la disminución en fierro en 3 mg/l, ayudarían a lograr los objetivos de la gestión 2018, es importante mocionar que este punto también contribuye a la disminución de los otros parámetros clave, por la correlación evidenciada en el correspondiente análisis.

Para el avance en el indicador de gestión de la calidad hídrica, se recomienda realizar reuniones de coordinación con los actores locales de la cuenca, con el objetivo de centralizar la documentación de respaldo solicitada en la metodología, en el caso de que ya se cuente con avances que aún no han sido formalizados. Para los coindicadores sobre los cuales no se han realizado se debe establecer mecanismos de coordinación, para la determinación de las acciones a implementar y documentos a generar para el avance del indicador.

En relación al indicador de avance de la calidad hídrica, es importante enfocar las acciones para la recuperación de la calidad de la cuenca en el punto GUA-06, en la quebrada Cabeza de Toro. En este sentido, se deben realizar controles enmarcadas en la fiscalización de las AOPs para evita el vertido directo de aguas residuales provenientes de mataderos y curtiembres. Se deberá establecer acciones conjuntas

Tabla 16. Resumen de Indicadores Cuenca del Río Guadalquivir

Índice	Valor IGCH/ ΔCH <i>Guadalquivir</i>	Micro cuenca priorizada	Parámetros de control	Puntos de control
Índice de Gestión de la Calidad Hídrica para la cuenca del Río Guadalquivir = (IGCH) <i>Guadalquivir</i>	0,0045	N/A	N/A	N/A
Grado de avance de la calidad hídrica definidos para cuerpos de agua priorizados (ΔCH) <i>Guadalquivira</i>	0,42	N/A	Turbidez, Fe Fosfatos y DQO.	GUA-06

Fuente: Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, 2017

6 Bibliografía

- Plan de Manejo Integral de los Recursos Naturales de la Alta Cuenca del Río Guadalquivir, 1999
- Informe de auditoría sobre los resultados de la gestión ambiental en la cuenca del Río Guadalquivir, 2016

- Programa Plurianual de. Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Manejo Integral de Cuencas. 2017-2020, 2017
- Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, 1995