



UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO”

ESCUELA DE POSTGRADO

**EVALUACIÓN MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE
AGUA (ICA) DEL RÍO SANTA CON VERTIMIENTOS DE
AGUAS SERVIDAS DOMÉSTICAS, PARA LA
CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO. SECTOR
HUARAZ-JANGAS, ANCASH 2019**

Tesis para optar el grado de maestro
en Ciencias e Ingeniería
Mención en Ingeniería de Recursos Hídricos

FRANCISCO ESPINOZA MANCISIDOR

Asesor: **Dr. FIDEL GREGORIO APARICIO ROQUE**

Huaraz – Ancash – Perú

2020

N° de Registro: T0729



**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN,
PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL**

REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM

Conforme al Reglamento del Repositorio Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI.
Resolución del Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

1. Datos del Autor:

Apellidos y Nombres: **Espinoza Mancisidor Francisco**

Código de alumno: **2005.6072.A**

Correo electrónico: fespinozam@uni.pe

Teléfono: **944930019**

DNI o Extranjería: **31673428**

2. Modalidad de trabajo de investigación:

Trabajo de investigación

Trabajo Académico

Trabajo de suficiencia profesional

Tesis

3. Título profesional o grado académico:

Bachiller

Título

Segunda especialidad

Licenciado

Magister

Doctor

4. Título del trabajo de investigación:

**EVALUACIÓN MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA) DEL RÍO SANTA
CON VERTIMIENTOS DE AGUAS SERVIDAS DOMÉSTICAS, PARA LA CONSERVACIÓN
DEL AMBIENTE ACUÁTICO. SECTOR HUARAZ-JANGAS, ANCASH 2019**

5. Facultad de:.....

6. Escuela, Carrera o Programa: Maestría en Ciencias e Ingeniería con Mención en Ingeniería de Recursos Hídricos

7. Asesor:

Apellidos y Nombres: **Aparicio Roque Fidel Gregorio**

Correo electrónico: fgar_58@hotmail.com

Teléfono: **945122204**

DNI o Extranjería: **31672306**

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Firma:

D.N.I.:

FECHA:

MIEMBROS DEL JURADO

Doctor Teófanés Mejía Anaya

Presidente

Magíster Mario Vladimir Leiva Collas

Secretario

Doctor Fidel Gregorio Aparicio Roque

Vocal

ASESOR

Doctor Fidel Gregorio Aparicio Roque

INDICE

	Página
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	4
Variables.....	4
II. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Antecedentes.....	6
2.2 Bases teóricas.....	11
2.2.1 Calidad de agua.....	11
2.2.2 Contaminación del agua.....	12
2.2.3 Límites Máximos Permisibles - LMP.....	13
2.2.4 Estándares de Calidad Ambiental (ECA).....	13
2.3. Definición de términos.....	14
III. METODOLOGÍA.....	23
3.1. Tipo y diseño de Investigación.....	23
3.2. Plan de recolección de la información y/o diseño estadístico.....	24
Población:.....	24
Muestra:.....	24
3.3. Instrumentos de recolección de la información.....	24
3.3.1. Muestreo.....	24
3.3.2. Instrumentos y fuentes de recolección de la información.....	25
3.4. Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información.....	25

IV. RESULTADOS	36
4.1. Presentación de Resultados	36
4.1.1 Características de la calidad del agua, ICA y ECA	36
4.1.2 ICA transversal a lo largo del río Santa por puntos de muestreo ..	38
4.1.3 Resultados del ICA longitudinal por fechas a lo largo de todos los puntos de muestreo	50
4.1.4 Modelo Matemático del ICA	59
4.2 Contrastación de la hipótesis.....	60
V. DISCUSIÓN	61
VI. CONCLUSIONES	66
VII. RECOMENDACIONES	68
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros y símbolos para la modelación del ICA	16
Tabla 2: Pesos relativos de cada parámetro.	17
Tabla 3: Resumen de Hipótesis para parámetros individuales	29
Tabla 4: Resumen del uso del estadístico “F” en contrastes conjuntos	31
Tabla 5: Valores de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de los puntos de muestreo del río Santa.	37
Tabla 6: Resultados del ICA transversal y ECA, de los puntos de muestreo del río Santa.	39
Tabla 7: El ICA Transversal en el Puente Quechcap.	40
Tabla 8: El ICA Transversal antes del río Quillcay.	41
Tabla 9: El ICA Transversal antes del río Casca.	42
Tabla 10: El ICA Transversal después del río Casca.	43
Tabla 11: El ICA Transversal antes del río Monterrey	44
Tabla 12: El ICA Transversal antes del río Chavín.....	45
Tabla 13: El ICA Transversal después del río Chavín.....	46
Tabla 14: El ICA Transversal después del río Ishinca.	47
Tabla 15: El ICA Transversal antes del vertimiento Jangas.....	48
Tabla 16: El ICA Transversal después del vertimiento Jangas.	49
Tabla 17. Resultados del ICA longitudinal y ECA, de los puntos de muestreo del río Santa	51
Tabla 18: El ICA Longitudinal de la fecha 30/01/2013	52
Tabla 19: El ICA Longitudinal de la fecha 04/04/2013	53
Tabla 20: El ICA Longitudinal de la fecha 10/05/2013.....	54

Tabla 21: El ICA Longitudinal de la fecha 18/07/2013.....	55
Tabla 22: El ICA Longitudinal de la fecha 02/10/2013.....	56
Tabla 23: El ICA Longitudinal de la fecha 02/10/ 2013.....	57
Tabla 24: Modelo matemático del ICA.	59

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de Puntos de Muestreo del estudio en el río Santa.....	5
Figura 2: Clasificación del ICA propuesta por Brown.....	17
Figura 3: Valoración de la calidad del agua en función de Coliformes Fecales	18
Figura 4: Valoración de la calidad del agua en función al pH.....	18
Figura 5: Valoración de la calidad del agua en función al DBO ₅	19
Figura 6: Valoración de la calidad del agua en función a Nitratos (NITR).....	19
Figura 7: Valoración de la calidad del agua en función a la Temperatura (T)	20
Figura 8: Valoración de la calidad del agua en función de los Sólidos Totales (ST) .	20
Figura 9: Valoración de la calidad del agua en función a Oxígeno Disuelto (OD)	20
Figura 10: Método para el cálculo del ICA	21
Figura 11: El ICA (%) Transversal Puente Quechcap.	40
Figura 12: Comportamiento del ICA (%), antes del río Quillcay.	41
Figura 13: Comportamiento del ICA (%) antes del río Casca.....	42
Figura 14: El ICA (%) Transversal, después del río Casca.	43
Figura 15: Comportamiento del ICA (%) antes del río Monterrey.....	44
Figura 16: Comportamiento del ICA (%) antes del río Chavín.	45
Figura 17: Comportamiento del ICA (%) después del río Chavín.....	46
Figura 18: Comportamiento del ICA (%) después del río Ishinka.....	47
Figura 19: Comportamiento del ICA (%) antes del vertimiento Jangas.....	48
Figura 20: Comportamiento del ICA (%) después del vertimiento Jangas.	49
Figura 21: El ICA longitudinal del ICA (%) para la fecha 30/01/2013.....	52
Figura 22: El ICA longitudinal (%) para la fecha 04/04/2013	53
Figura 23: El ICA longitudinal del ICA (%) para la fecha 10/05/2013	54

Figura 24: El ICA longitudinal (%) para la fecha 18/07/2013	55
Figura 25: El ICA longitudinal (%) para la fecha 02/10/2013	56
Figura 26: El ICA longitudinal (%) para la fecha 16/11/2013	57
Figura 27: Comportamiento de los ICA longitudinal (%) para las 06 fechas de muestreo.	58

CONTENIDO DE FORMULAS

Página

Fórmula (1) ICA de Brown.....	16
Fórmula (2) ILCAG.....	22
Fórmula (3) ICAg.....	22
Fórmula (4) H_0	29
Fórmula (5) $F(k-1,n-k)$	30
Fórmula (6) R^2 Coeficiente de determinación	33
Fórmula (7) ICA Fórmula general.....	35
Fórmula (8) ICA modelo matemático.....	60

RESUMEN

El agua es un bien indispensable para el desarrollo vital del hombre, se está contaminándose con las actividades antropogénicas como es el caso de los ríos, quebradas y mares que perjudican la salud poblacional y ambiental. El presente estudio, tiene como objetivo evaluar mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Santa con vertimientos de aguas servidas domésticas, con respecto al Estándar de Calidad Ambiental del agua (ECA) para la conservación del ambiente acuático en el sector de Huaraz - Jangas. En el desarrollo del trabajo se realizó el muestreo de 10 puntos a lo largo del río en 06 fechas del año hidrológico 2012-2013, se procedió a determinar el ICA en base de las características fisicoquímicos y bacteriológicos: Coliformes Fecales (CF), Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO_5), Oxígeno Disuelto (OD), pH, Sólidos Totales (ST), Nitratos (NITR), Temperatura (T) y Caudal (Q). Se consideró como Variables Independientes, las características del agua del río con vertimientos domésticos con su caudal y la Variable Dependiente la calidad del agua del río. El ICA (%) obtenido del período de estiaje, desde el primer punto de muestreo, las zonas de vertimientos hasta el final fueron: 51.5, 42.7 y 49.8% respectivamente, con el ICA en la zona de los vertimientos de calidad Mala por debajo del valor del del ECA normativo de 51% y en el período de avenidas de: 63.8, 63.55 y 58.91% respectivamente, que corresponde a la clasificación de calidad Regular.

Palabras clave: Calidad del Agua; Índice de Calidad del Agua; Aguas residual doméstico; Contaminación.

ABSTRACT

Water is an essential good for the vital development of man, being contaminated with anthropogenic activities such as rivers, which harm population and environmental health. The objective of this study is to evaluate, through the Water Quality Index (ICA) of the Santa River with discharges of domestic wastewater, with respect to the Environmental Quality Standard (ECA) for the conservation of the aquatic environment, in the sector of Huaraz - Jangas. In the development of the work was done with the sampling of 10 points of the river in 06 dates of the hydrological year 2012-2013, proceeded to determine the ICA on the basis of the physicochemical and bacteriological characteristics: Fecal Coliforms (CF), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Dissolved Oxygen (DO), pH, Total Solids (ST), Nitrates (NITR), Temperature (T) and Flow (Q). It was considered as Independent Variables, the characteristics of the river water with domestic discharges with its flow and the Dependent Variable, the environmental quality of the river water. The ICA (%) obtained from the dry season, from the first sampling point, the dumping areas until the end were: 51.5, 42.7 and 49.8% respectively, with the ICA in the area of the Mala quality discharges below the value of the normative ECA of 51% and the avenues period of: 63.8, 63.55 and 58.91% respectively, which corresponds to the Regular quality classification.

Key Words: Water Quality; Water Quality Index; Domestic wastewater; Pollution.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento vital de las diferentes actividades del hombre y los seres vivos, con las diferentes actividades de la humanidad en la actualidad se contaminan permanentemente en todas sus presentaciones, como lo son los ríos, quebradas, lagos, lagunas, mares y las aguas subterráneas. Estas aguas principalmente de los ríos y quebradas, están constantemente expuestos a la contaminación al recibir las descargas de los vertimientos de las aguas servidas domésticas sin previo tratamiento, conforme las normas ambientales lo establecen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los Estándares de la Calidad Ambiental del agua (ECA), comprometiendo la salud poblacional y ambiental.

El río Santa como cuerpo receptor a lo largo del Callejón de Huaylas que recorre desde su origen hasta su desembocadura al Océano Pacífico, recibe las descargas de los vertimientos de toda naturaleza, tanto de residuos sólidos, aguas industriales, pasivos ambientales mineros existentes en la zona, aguas servidas domésticas, etc., sin el previo tratamiento como corresponde; razón por la cual, en el sector de la ciudad de Huaraz - Jangas, se determinó realizar la evaluación de la magnitud del efecto de la contaminación del río que se viene generando con los vertimientos de las aguas servidas domésticas sin el previo tratamiento, lo que ocasiona como consecuencia la alteración de la calidad del agua en este cuerpo receptor que sobre pasan los parámetros normativos ambientales establecidos, que alteran negativamente la calidad del agua para sus diferentes usos a aguas debajo de la zona de estudio. Los resultados obtenidos con la evaluación del estado de la calidad del agua determinados mediante el ICA, servirá para tomar las acciones de minimización de este efecto de impacto ambiental y recuperar su estado mínimo

necesario para restablecer el nivel normativo de la conservación del ambiente acuático de este río.

Se consideró como objetivo, evaluar mediante el modelo matemático de Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas, para la conservación estándar ambiental en el sector Huaraz – Jangas (Ancash). Se ha desarrollado en el Capítulo I, lo que comprende los objetivos, la hipótesis y las variables.

En el capítulo II, se presenta los antecedentes de trabajos similares ejecutados, las bases teóricas y conceptual relacionado al tema. En el Capítulo III, se presenta la metodología, relacionado al tipo y diseño de la Investigación, correspondiendo el presente trabajo a una investigación cuantitativa, con los datos de los registros de la calidad del agua realizada en el laboratorio de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo y el procesamiento de los datos obtenidos de las características fisicoquímicas – bacteriológicas, en el Capítulo IV, los resultados obtenidos, en el Capítulo V, se presenta la discusión de los resultados obtenidos basadas en la base teórica y la metodología considerada, en el Capítulo VI las conclusiones basadas en el desarrollo del trabajo con los objetivos considerados, en el Capítulo VII, las recomendaciones relacionadas con el trabajo de investigación de no se pudieron formar parte en el presente estudio y finalmente en el Capítulo VIII las referencias bibliográficas relacionadas con los antecedentes de trabajos similares realizados, del marco teórico y las bases conceptuales.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas, para la conservación del ambiente acuático, en el sector Huaraz – Jangas, Ancash.

Objetivos específicos

- Determinar el nivel de las características físicos-químicos y bacteriológicos de las aguas del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas, para la evaluación de la conservación del ambiente acuático.
- Determinar el caudal del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas en el periodo de estudio para la evaluación de su conservación del ambiente acuático.
- Determinar el ICA del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas, con sus características físico – químicos y los caudales, para el periodo de estudio y puntos de muestreo para la evaluación de su conservación del ambiente acuático.
- Evaluar los resultados del ICA del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas en el periodo de estudio y puntos de muestreo en función del ECA normativo para su conservación del ambiente acuático.

Hipótesis

Hipótesis general

La evaluación mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Santa, con vertimientos de las aguas servidas domésticos, influye significativamente la conservación del ambiente acuático.

Hipótesis específicas

- El nivel de las características físicas – químico y bacteriológicos de las aguas del río Santa, con vertimientos de las aguas servidas domésticas, influye significativamente la conservación del ambiente acuático.
- Los caudales del río Santa, con vertimientos de las aguas servidas domésticas, influye significativamente la conservación del ambiente acuático.
- La Determinación del ICA del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas, para el periodo de estudio y puntos de muestreo influye significativamente la conservación del ambiente acuático.
- La evaluación los resultados del ICA del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas en el periodo de estudio y puntos de muestreo en función del ECA normativo influye significativamente la conservación del ambiente acuático.

Variables

Variables Independientes

Características de las aguas y el caudal del río Santa con vertimientos domésticos.

Variables dependientes

El índice de Calidad del agua (ICA) con vertimientos de aguas servidas domésticos del río Santa y la Conservación del estándar ambiental del agua (ECA).

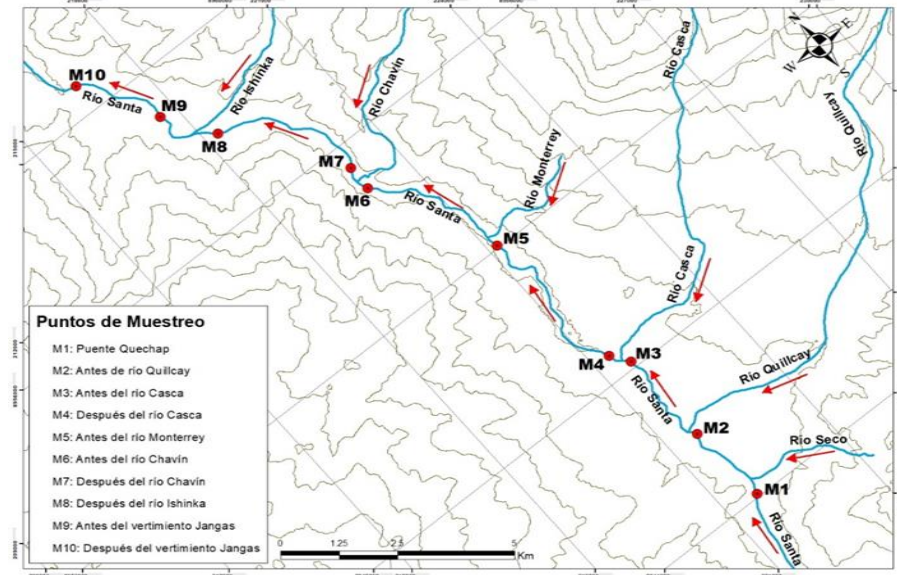


Figura 1. Ubicación de Puntos de Muestreo del estudio en el río Santa

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Abdel-Satar & Gober (2016), sostienen que la actividad antropogénica, la escorrentía agrícola, los desechos industriales y municipales, afectó potencialmente la calidad del agua del río Nilo. Los contaminantes entran en el sistema del Nilo por descargas directas o escorrentía superficial, en el cual los valores de la mayoría de las variables estudiadas mostraron un cambio en el período estacional y se mantuvieron bajos durante la temporada de lluvias con un alto caudal de río, el impacto antropogénico generó el mayor riesgo de contaminación, donde las concentraciones totales de metales y los índices ambientales indicaron que las muestras de agua del Nilo están significativamente contaminadas. El ICA determinado indica que la calidad del agua del Nilo se deteriora y se extendió de 55 (marginal) a 27 (pobre), mientras que los rangos de ICA para beber fueron 72–92 y 52–88, los valores máximos de todos los ICA, se registraron en la zona de la descarga continua de contaminantes, principalmente la sal nutritiva y los metales pesados, lo que afectó la salud del río y disminuyó su capacidad de auto-purificación.

Bytyçi, Çadraku, Zhush, Ismaili, Fetoshi ShalaAbazi (2017), sostienen que aguas superficiales en la cuenca del río *Lepenc*, han estado bajo la influencia de un gran número de factores de contaminación de naturaleza antropogénica, mediante el estudio basada en el ICA, en la cuenca del río *Lepenc*, los datos determinados en primavera, verano y otoño del 2017, las aguas en la cuenca de este río, incluidos los ríos *Nerodime* y *Lepenc*, varían de ICA de 36 a 76.

Los valores más altos del ICA durante las tres temporadas se obtuvieron en la estación de medición Prevalla (S1), y en todo momento el agua fue de buena calidad con una ligera tendencia a aumentar la calidad desde la primavera hasta otoño. Según los valores del ICA, el agua superficial en esta cuenca era de calidad media y mala. Calidad media era registrado en la parte superior de la cuenca, mientras que en la parte media e inferior de la cuenca hubo una disminución de la calidad del agua, dicha disminución de la calidad del agua se debe a la población habitada, agrícola y áreas industriales, así como otras actividades humanas (antropogénicas) que se realizan en la zona.

Quinatto, Nale Zambelli, Souza, Rafaeli, Cardoso y Skoronski (2019), determinaron en el estudio de evaluación de la calidad del agua del río Carahá en Lages (Brasil), utilizando el concepto de carga de contaminantes y comparando los resultados con el ICA, seleccionaron trece puntos a lo largo del río durante un período de 16 meses. Los resultados mostraron que los valores del ICA oscilan entre 24.95 en la fuente y los picos en 40 en la salida. La clasificación del agua, por lo tanto, varía de "muy mala" a "mala". El cálculo de la carga de contaminantes mostró una eliminación constante de contaminantes en el río, lo que demuestra que la calidad del agua se degrada continuamente. El uso del cálculo de la carga de contaminantes para el río Carahá, por lo que mediante el ICA la evaluación de la contaminación proporciona la información más apropiada para la gestión de los recursos hídricos.

Álvarez, Rubiños, Gavi, Alarcón y Herández (2006), determinaron que el ICA como método estandarizado fue desarrollado para comparar la “categoría” como una subclasificación de la calidad de agua en forma integral, se hicieron tres muestreos (2005 - 2006) para determinar: Oxígeno Disuelto, Coliformes Fecales, pH, Demanda bioquímica de oxígeno, Nitratos, Fósforo total, Turbidez y Sólidos Totales Disueltos. Para predecir la calidad integral del agua, se realizaron un análisis de regresión múltiple entre los ocho parámetros analizados. Posteriormente, para cada variable, se identificaron los patrones de comportamiento y se consignaron los modelos matemáticos. Los resultados obtenidos indicaron que la calidad del agua para uso urbano, agua de bebida, piscícola y agrícola fue de Calidad Media (ICA = 50 - 69), en el 29% de los sitios muestreados dentro de la cuenca hidrológica del Río Amajac, así mismo, el 59% de las localidades fue de Mala calidad (ICA = 30-49) y finalmente, el 12% de los sitios se encontró altamente contaminado (ICA < 30).

Sánchez (2017), aplicó el modelo matemático del Índice de Calidad del Agua (ICA) propuesto por Dinius 1987 y determinó la calidad de agua del río Santa, con fines agropecuarios en el tramo Marcará-Carhuaz, que considera la suma del 80% del Índice de calidad fisicoquímica del agua (ICAfa) más el 20% del Índice Lótico de Capacidad Ambiental General del agua (ILCAG), obtuvo los resultados tanto para el periodo de avenida y de estiaje; en avenidas: ICA Puente Florida = 43.91% e ICA Pasando Río Buín = 50.64%; en estiaje: ICA Puente Florida = 36.05% e ICA Pasando Río Buín = 37.84%,

concluyó indicando que el agua del río Santa para fines agropecuarios presenta un nivel de contaminación “MALO” ($36.05 \% < ICA < 50.64 \%$).

Según García (2014), sostiene que con la evaluación espacial y temporal realizada de la calidad del agua de la subcuenca, mediante el ICA de la ecuación de Brown, el río Ronquillo y la estación Barrio Urubamba II del río Urubamba, califican en la categoría Regular (ICA: 50-56); la estación Barrio Urubamba I y las dos estaciones del río San Lucas, califican en la categoría Mala (ICA: 45–49).

Según Meher, Sharma, Gautam, K y Mishra (2015), la calidad del agua del río Gangesriver (India), se evaluó utilizando el Índice de calidad del agua (ICA), en un tramo de aproximadamente de 720 km de largo, el resultado mostró que el agua del río Ganges de Rishikesh a Allahabad varió de 28.93 a 73.24, lo que denota la degradación de la calidad del agua a lo largo del río abajo. Además, los valores de la mayoría de los parámetros evaluados aumentaron significativamente a lo largo del río a aguas abajo, debido a que los contaminantes ambientales locales contribuyeron de manera incremental el deterioro de la calidad del agua del río, por lo que en base a estos resultados se requieren realizar planes urgentes para la prevención de la contaminación del agua de los ríos estudiados.

Según Pérez (2017), sostiene que las variaciones espaciales y temporales de la calidad del agua realizados con la información de los años 2014 y 2015 , de la influencia de los vertimientos de la planta de tratamiento

de las aguas residuales, con los resultados obtenidos mediante el ICA de Brown-NSF en el río Moquegua, antes del vertimiento presenta un ICA-NSF de 51,44 que representa calidad media y en el tramo después del vertimiento tiene un ICA-NSF de 44,18 que representa calidad Mala, los cuales superan el ECA con la categoría 4.

Bedregal, Mendoza, Ubillus, Montoya, Airasi y Fajardo (2011), determinaron en las campañas de invierno y primavera, en las estaciones de monitoreo E-1A (Quebrada del efluente Volcán) y E-2B (Cia. Minera Casapalca) en todas las campañas, así como las estaciones E-2A (Los Quenuales) y E-2C (Minera Perubar-Rosaura), los valores de ICA entre 45 y 64, que corresponde a la categoría de calidad de agua marginal, es decir, que la calidad del agua está siendo frecuentemente amenazada, quedando fuera de los niveles de calidad deseados. Así mismo, los autores aseveran que un valor de índice de calidad menor a 44, calificado como pobre, se ha obtenido en la estación de monitoreo E-1A en la campaña de verano, lo que significa que en ese período de tiempo la calidad del agua del río Rímac ha sido amenazada continuamente y varios parámetros de medición estuvieron fuera de los niveles de calidad deseados.

Según Sierra (2011), sostiene que la gestión de la calidad del agua en el Perú, desde un punto de vista de la Ley de Recursos Hídricos (Ley 29338), está orientada principalmente a la autorización de los vertimientos de aguas residuales tratadas, a la clasificación de los cuerpos de agua y a la vigilancia de la calidad del agua. Los instrumentos técnicos tomados en cuenta son: los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los Estándares de Calidad Ambiental

para el Agua (ECA) establecidos en el D.S N° 004-2017-MINAM. En el caso de la clasificación de los cuerpos de agua establecida por la ANA según la Resolución Jefatural N° 202.2010-ANA.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Calidad de agua

Los ríos y las quebradas recogen impurezas provenientes del suelo y de las descargas de aguas residuales domésticas e industriales, donde la calidad requerida del agua, depende del uso que se le vaya a dar y del propósito de dicho uso. Para establecer los criterios de calidad deberán medirse, los contribuyentes físicos, químicos y bacteriológicos del agua. La formulación y el conocimiento de criterios de calidad del agua son necesarios, entre otros aspectos, para: autoridades encargadas del control de polución, las cuales deben regular la descarga de aguas residuales sobre fuentes superficiales y subterráneas de este recurso. (Romero, 2009).

La calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra con unas directrices de calidad del agua o estándares. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y de este modo, proteger la salud de las personas (ONU – DAES, 2014).

2.2.2 Contaminación del agua

La contaminación del agua está determinada por un contenido de impurezas orgánicas o inorgánicas encima de los LMP y ECA. Las causas de la contaminación pueden deberse a la toxicidad y la falta o agotamiento de oxígeno en el recurso. La toxicidad es medida por la ocurrencia de envenenamiento de seres vivos con metales y otros productos orgánicos, sin embargo, la falta o el agotamiento del oxígeno y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es medido a través de un el ensayo del Oxígeno Disuelto (OD). (Rusell, 2012).

OEFA. (2014). Hay sobrecarga de aguas residuales en las plantas de tratamiento cuya infraestructura es insuficiente, lo cual origina que los efluentes tratados excedan los límites máximos permisibles (LMP), y no se cumplan con los estándares de calidad ambiental (ECA). Esto genera problemas ambientales como la contaminación de los cuerpos de agua y la generación de malos olores que causan conflictos con la población. La disposición de aguas residuales sin tratamiento alguno y las aguas residuales tratadas inadecuadamente contaminan los cuerpos de agua natural. A su vez, por infiltración en el subsuelo contaminan las aguas subterráneas, por lo que se convierten en focos infecciosos para la salud de las poblaciones, así como para la flora y fauna del lugar.

OEFA (2014). **Aguas residuales**, son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser

reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado.

Aguas residuales domésticas, son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana y deben ser dispuestas adecuadamente.

2.2.3 Límites Máximos Permisibles - LMP

Medina, Hermitaño & Morán (2011), sostuvieron que los LMP aseguran que los efluentes líquidos producidos por las empresas no excedan ciertos niveles de concentración porque son dañinas para la salud, atentando contra el bienestar humano y del ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por todas las instancias fiscalizadoras ambientales del mundo.

2.2.4 Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

Medina, et al (2011), aseveraron que los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) se aplican a zonas (cuencas) buscando que el aire, agua o suelo, mantengan una calidad que no represente riesgo significativo para la salud de las personas ni del ambiente. No son exigibles legalmente a una sola actividad o persona natural, pero deben programarse planes de acción para que la sumatoria de descargas al ambiente se mantenga por debajo de los niveles establecidos.

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) y el Límite Máximo Permisible (LMP) son instrumentos de gestión ambiental que

involucran parámetros y obligaciones para regular y proteger la salud pública y la calidad ambiental en que vivimos, permitiéndole a la autoridad ambiental desarrollar acciones de control, seguimiento y fiscalización de los efectos causados por las actividades humanas.

OEFA. (2014). Estándar de Calidad Ambiental (ECA), es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente.

2.3. Definición de términos

2.3.1 Modelos de calidad de agua

Torres (2009), indicó que un modelo es una representación formal de la realidad que pretendemos describir, analizar y comprender. Los modelos de calidad de agua son relaciones matemáticas que posibilitan la comprensión y cuantificación de las relaciones causa-efecto de los procesos físicos, químicos y biológicos de los compuestos descargados en los cuerpos de agua receptores, tales como ríos, lagos y estuarios. Más importante aún, estos modelos pueden ser utilizados en la evaluación de las distintas alternativas para mejorar la calidad del agua.

2.3.2 Índice de Calidad del Agua (ICA)

Valcárcel, R., et al. (2009), sostuvieron que un ICA, consiste básicamente en una expresión simple de una combinación de un número de parámetros que caracterizan la calidad del agua. Las aguas

clasificadas como excelentes y buenas pueden soportar una alta diversidad de vida acuática y son apropiadas para todo tipo de recreación y para la toma de agua para potabilización. Las de características medias o promedio generalmente poseen menos diversidad de organismos acuáticos y frecuentemente manifiestan un crecimiento anormal de algas. Aquellas aguas de la clasificación de regular, pueden soportar una baja diversidad de vida acuática y probablemente experimenten problemas de contaminación, las aguas dentro de la categoría de pobre solo pueden soportar un número limitado de organismos acuáticos. El ICA es una herramienta muy útil para comunicar información sobre la calidad del agua a las autoridades y al público.

2.3.3 Índice de Calidad de Brown

Los investigadores **Brown et al.** (1970) desarrollaron en Estados Unidos, por primera vez, una metodología para crear un Índice de calidad de agua debido a la necesidad de implantar un método uniforme que pudiera medir este parámetro, ésta metodología debía ser sensitiva a los químicos más contaminantes y como resultado debía proporcionar los efectos desfavorables como la contaminación al hombre y a la vida acuática. Además, como es característico, los índices debían permitir evaluar los cambios en la calidad del agua para evitar la subjetividad al momento de seleccionar los constituyentes, su escala de valores y el peso de cada parámetro. El ICA se estimó utilizando el índice promedio aritmético pesado, tal como se muestra en la fórmula (1).

$$ICA = \sum_{i=1}^n (w_i q_i) \quad \dots(1)$$

Donde:

ICA: Índice de Calidad del Agua

w_i : peso o porcentaje **asignado** al i-ésimo parámetro

q_i : subíndice del i-ésimo parámetro.






La Tabla 1, representa los parámetros y símbolos seleccionados para la modelación ICA.

Tabla 1. Parámetros y símbolos para la modelación del ICA

Parámetros	Símbolos
• Oxígeno Disuelto	O D
• Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días	DBO ₅
• Solidos Totales	ST
• Nitratos	NITR
• Potencial de Hidrógeno	pH
• Temperatura	T
• Coliformes Fecales	CF

Fuente: F.Torres Vega. Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico

De acuerdo **Lobos, J.** (2002), el ICA adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación el curso de agua en estudio, para el cálculo el ICA de tipo “General” se clasifica la calidad del agua con base a la Figura 2.

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Fuente: Lobos, J. Evaluación de los Contaminantes del Embalse del Cerrón Grande PAES 2002.

Figura 2. Clasificación del ICA propuesta por Brown

Para la evaluación numérica del ICA, con técnicas multiplicativas y ponderadas explicadas en el marco conceptual, es necesario obtener el subíndice “ q_i ” y designar los pesos o porcentajes “ w_i ” de cada parámetro donde la sumatoria es igual a “1”, los valores de los pesos relativos asociados a cada uno de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de acuerdo a la magnitud de su incidencia que corresponde a la calidad del agua en estudio en el ICA, se representa en la Tabla 2, con el peso asignado a cada variable.

Tabla 2. Pesos relativos de cada parámetro.

i	Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos - q_i	Símbolo	w_i
1	Coliformes Fecales	CF	0.15
2	Potencial de Hidrógeno	Ph	0.12
3	Nitratos	NITR	0.10
4	Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días	DBO	0.10
5	Temperatura	T	0.10
6	Sólidos Totales	ST	0.08
7	Oxígeno Disuelto	OD	0.17

Fuente: Brown et al. 1970, pp. 339-334.

2.3.4 Procedimiento de cálculo de subíndice q_i

Los pasos a seguir para calcular los q_i del ICA son: Si los Coliformes fecales son mayores de 100,000 Bact/100 ml, el q_i es igual a 3. Si el valor de Coliformes escales es menor de 100,000 Bact/100 ml, buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 3, para lo cual se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el q_i de Coliformes Fecales.

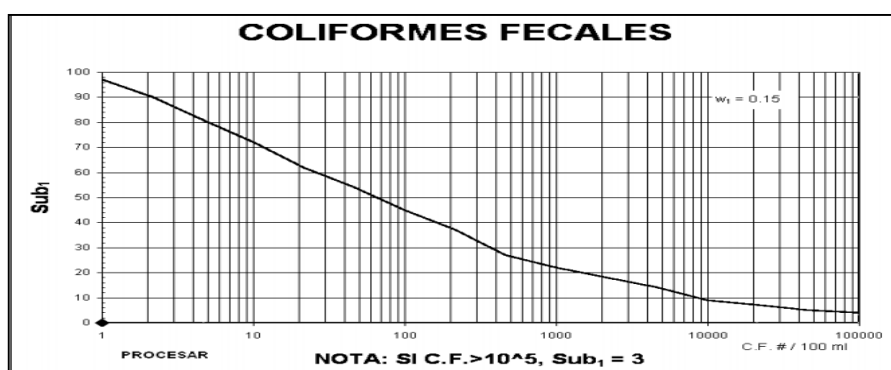


Figura 3. Valoración de la calidad del agua en función de Coliformes Fecales

Fuente: Brown et al. 1970, pp. 339-334.

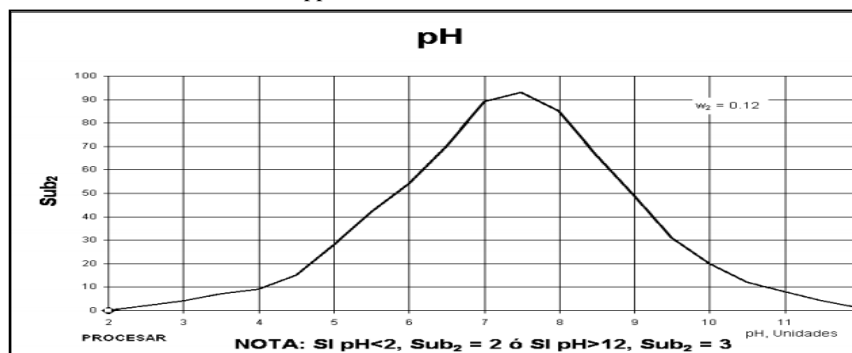


Figura 4. Valoración de la calidad del agua en función al pH

Fuente: Brown et al. 1970, pp. 339-334.

Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades el (Sub_2) es igual a 2, sí el valor de pH es mayor o igual a 10 unidades el (Sub_2) es igual a 3. Si el valor de pH esta entre 2 y 10 buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 4, se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el “ q_i “ de pH.

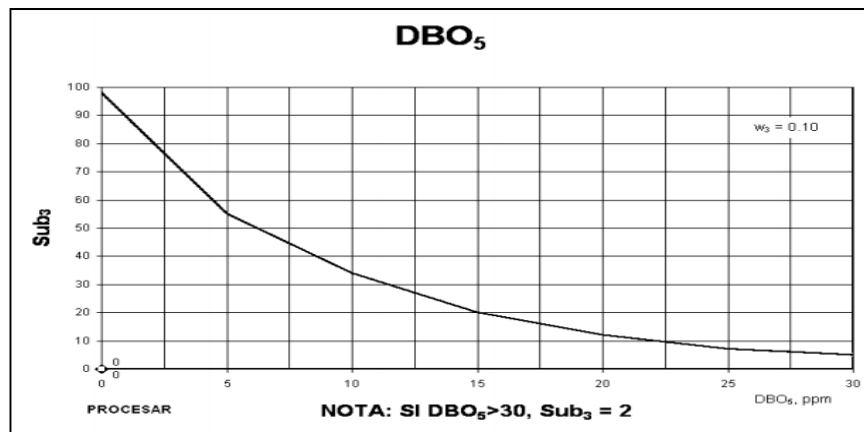


Figura 5. Valoración de la calidad del agua en función al DBO₅
 Fuente: Brown et al. 1970, pp. 339-334.

Si la DBO₅ es mayor de 30 mg/l el (Sub₃) es igual a 2. Si la DBO₅ es menor de 30 mg/l buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 5 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el q_i de DBO₅, ver Figura 5 y para el parámetro de Nitrato ver Figura 6.

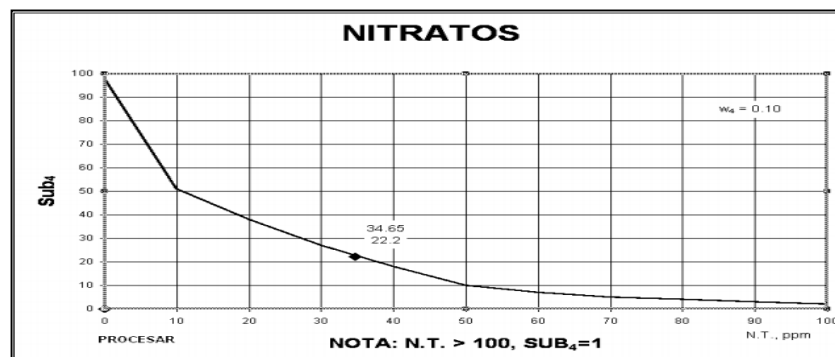


Figura 6: Valoración de la calidad del agua en función a Nitratos (NITR).

Fuente: Brown et al. 1970, pp. 339-334.

De manera análoga, se hace para los parámetros: Temperatura (Figura 7), Sólidos Totales (Figura 8) y Oxígeno Disuelto (Figura 9).

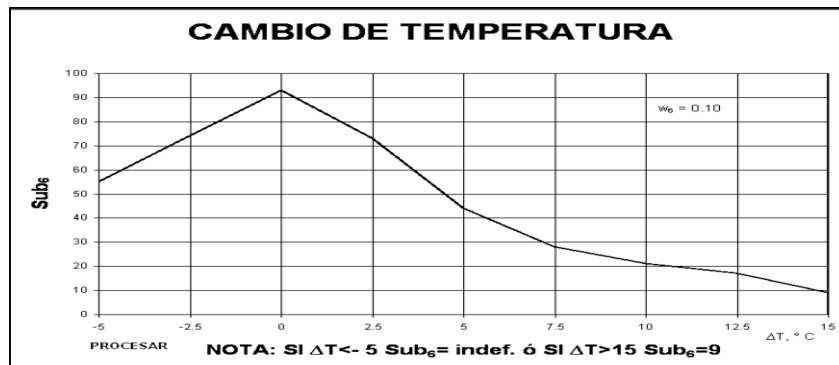


Figura 7. Valoración de la calidad del agua en función a la Temperatura (T)

Fuente: Brown et al. 1970, pp. 339-334.

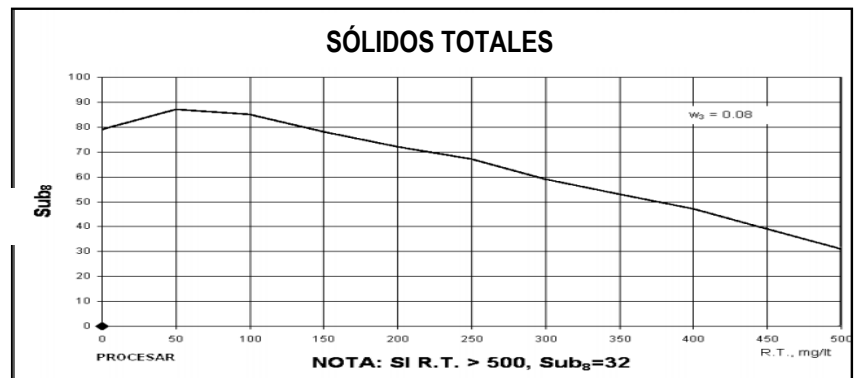


Figura 8. Valoración de la calidad del agua en función de los Sólidos Totales (ST)

Fuente: Brown et al. 1970, pp. 339-334.

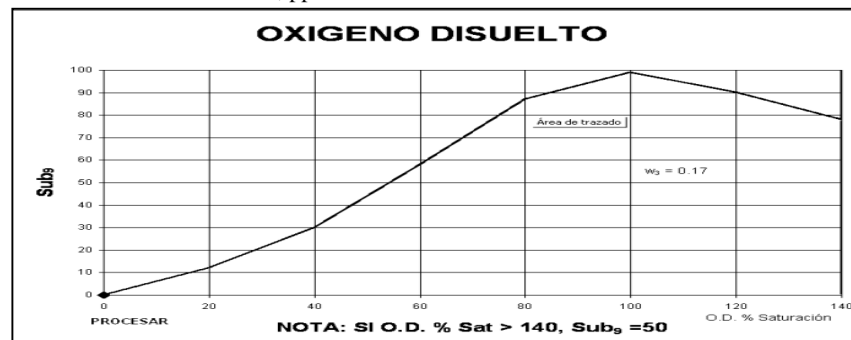


Figura 9. Valoración de la calidad del agua en función a Oxígeno Disuelto (OD)

Fuente: Brown et al. 1970, pp. 339-334.

2.3.5 Clasificación de los Índices de Calidad al Agua (ICA)

Como se sabe, el valor del ICA permite clasificar el recurso a partir de rangos establecidos que son definidos considerando el o los usos a evaluar. Las categorías, esquemas o escalas de clasificación, son un

punto de igual o mayor interés que el cálculo del ICA, pues el valor obtenido es transformado en una característica que define la calidad final del agua.

La Figura 10, representa el método propuestos para la determinación del ICA: Brown (USA – 1970) en base a los 07 parámetros físicoquímico y bacteriológico determinados en el análisis de la calidad del agua.

ÍNDICE	ECUACIÓN	PARÁMETROS			TOTAL
Brown (USA - 1970)	$ICA = \sum_{i=1}^7 (w_i q_i)$	Potencial Hidrógeno, Sólidos Totales, Coliformes Fecales,	Nitratos, Temperatura, Demanda bioquímica de Oxígeno a los 5 días	Oxígeno Disuelto,	7

Figura 10. Método para el cálculo del ICA
Fuente: Brown et al. 1970, pp. 339-334.

De acuerdo **Cadavid G., J et al** (2010), Para el cálculo del ICA_g se tiene en cuentas dos componentes: el primero se denomina ICA_{fa} determinado por la calidad físicoquímica y bacteriológico del agua y el segundo ILCAG, establecido por el caudal, se expresa matemáticamente por las fórmulas (2) y (3) respectivamente.

$$ILCAG = 0.333 * \log_{10} \left(\text{Caudal} \left(\frac{m^3}{s} \right) \right) \quad \dots (2)$$

$$ICA = ICA_{fa} * 0.8 + ILCAG * 0.2 \quad \dots (3)$$

Donde:

ICA_g es el Índice de calidad del Agua general.

ICAfa es el Índice agregado de calidad fisicoquímica y bacteriológica. ILCAG es el Índice lótico de capacidad ambiental general (referido al caudal medido).

El ICAfa, expresado como componente de la ecuación (3), corresponde al ICA obtenido por el método de la fórmula (1), con los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del muestreo de la calidad del agua en estudio. Además, siendo un factor muy importante en la determinación del ICA general (ICAg) del presente estudio, la información del caudal de descarga del río Santa, para cada uno de los períodos de muestreo es determinado el Índice Lótico de Capacidad Ambiental General (ILCAG) que es referido al caudal medido, expresado en la fórmula (2).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de Investigación.

El presente tipo de Investigación es: Cuantitativa, Aplicada, Transversal-longitudinal y Explicativa, según:

- *Cuantitativa* de acuerdo a la naturaleza y enfoque de la información obtenida y la preponderancia de los datos. Se basa en la cuantificación de la interrelación de las características de los parámetros de las aguas del río Santa con vertimientos de aguas servidas domésticas, vía obtención e interpretación de resultados.
- *Aplicada* de acuerdo a la finalidad de la investigación. Este tipo de investigación es aplicativo porque servirá para evaluar el Índice de la Calidad del Agua, a través de la aplicación de un modelo matemático ICA en los parámetros de control de las aguas del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas para la conservación del estándar ambiental en el sector Huaraz - Jangas.
- *Transversal - longitudinal* de acuerdo al periodo y el espacio de la investigación. Esta tipología se basa en la obtención de datos a través de muestreos y análisis transversales (durante un ciclo hidrológico), así como, muestreos y análisis longitudinales (a lo largo de los puntos de muestreo considerados en el recurso en estudio) de la calidad de las aguas del río Santa con vertimientos de aguas servidas domésticas para la conservación del estándar ambiental en el Sector Huaraz - Jangas.

El diseño de la presente investigación es no experimental, debido a que el estudio se basa en las observaciones de los resultados de las muestras de calidad del agua obtenidos en el laboratorio sin alterar en lo más mínimo ni el entorno del fenómeno estudiado de las muestras del estado en que se encuentra el agua del río Santa con vertimientos de aguas servidas domésticas para la conservación del estándar ambiental en el Sector de Huaraz - Jangas.

3.2. Plan de recolección de la información y/o diseño estadístico

Población:

Se tiene como la población del estudio a todo el río Santa del departamento de Ancash.

Muestra:

Se tiene como muestra para el presente estudio, la calidad del Agua del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas del sector de Huaraz - Jangas, tomados muestreos en 10 puntos específicos para la caracterización de sus parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos.

3.3. Instrumentos de recolección de la información

Para el presente trabajo de investigación se realizaron los siguientes trabajos:

3.3.1. Muestreo. -

Se ha realizado el muestreo en 10 puntos determinados a lo largo del río Santa como cuerpo receptor y en un total de 06 fechas, con énfasis del período más crítico con niveles de caudales de descarga en épocas de estiaje y el ciclo del año hidrológico 2012-2013 (Figura 1). Los 10 puntos de muestreo se han determinado tomando en cuenta la incidencia

del vertimiento de las aguas servidas en la zona de estudio y su influencia de situaciones similares aguas abajo de este sector, considerando los puntos de muestreo antes del vertimiento y después del vertimiento de las aguas servidas domésticas a lo largo del desarrollo de la influencia de la zona en estudio, para estos resultados realizar la evaluación del comportamiento de la calidad del agua.

3.3.2. Instrumentos y fuentes de recolección de la información

Los Instrumentos y fuentes de recolección de datos, fueron:

Instrumentos

- Equipo de muestreo de calidad del agua
- Termómetro ambiental
- GPS Navegador
- Equipos de Laboratorio de Calidad de Aguas de la UNASAM

Fuentes de recolección de la información

- Materiales cartográficos e hidrometeorológicos (Carta Nacional digital del IGN)
- Registros de información hidrometeorológica del SENAMHI

3.4. Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información

Con los resultados de la calidad de aguas obtenida del laboratorio de calidad de aguas de la UNASAM, se realizó el procesamiento y la evaluación de su consistencia de datos para la toma de decisiones, se procedió con el cálculo por el método para la determinación del ICA de Brown (USA – 1970), presentada con la fórmula (1); esta metodología se ha determinado, por ser el

más confiable y de mayor aplicabilidad realizada en los estudios de los antecedentes analizados para el presente caso, por lo que mediante la aplicación de la fórmula (1), se ha calculado el ICA expresado como ICAfa de la fórmula (3), presentado en la Tabla 6. Así mismo, el caudal determinado mediante el estudio hidrológico del río Santa, representa las medias mensuales correspondientes para cada período de muestreo, con lo que se realizó el cálculo del índice Lótico de Capacidad Ambiental General (ILCAG) expresado en la fórmula (2) y finalmente con este procedimiento se determinó el ICA General (ICAg) como resultado de la interrelación de los parámetros físicoquímicos, bacteriológicos y el caudal, mediante la Fórmula (3), presentando los resultados como el ICA de la Tabla 6. Además para el efecto comparativo de los resultados obtenidos, se realizó el cálculo del ICA del ECA en base a los parámetros analizados en el cálculo del ICA general pero con los datos expresados en el D.S. N° 004-2017-MINAM, ECA con la categoría para la Conservación del ambiente acuático y Subcategoría E2 para los ríos (costa y sierra), el resultado obtenido forma parte de las Tabla 6.

Técnicas de análisis e interpretación de la información

El Cálculo del ICA, se adopta para las condiciones óptimas un valor máximo de 100 representado en la Figura 2 (Lobos, J. 2002), que va disminuyendo con el aumento de la contaminación del curso de agua en estudio. Posteriormente con el cálculo de ICA “General” se clasifica la calidad del agua en Excelente, Buena, Regular, Mala y Pésima.

Con los resultados obtenidos de las características de las aguas del río Santa con vertimientos de las aguas servidas de la zona de Huaraz - Jangas, determinadas de los puntos de muestreo específicos y procesados en el Laboratorio de Calidad de Aguas de la UNASAM, se ha realizado el procesamiento de dichos resultados a través de modelo matemático del ICA planteados en la base teórica referenciada, con los análisis en forma transversal y longitudinal del comportamiento de la calidad de las aguas del río Santa en función del tiempo y del espacio, se calculó el ICA en forma simultánea para fechas determinadas para todos los puntos de muestreo para el periodo de un ciclo hidrológico considerado, evaluándose el comportamiento en este periodo, cuyos resultados se han representado en términos del ICA en Tablas y los análisis de los resultados expresados mediante la representación de sus parámetros en figuras para cada periodo de muestreo en forma transversal y puntos de muestreo a lo largo del desarrollo del río en forma longitudinal.

Estudio Hidrológico

Se realizó el estudio básico del comportamiento hidrológico del río Santa, para determinar el caudal medio diario mensual, mediante la información hidrometeorológica del SENAMHI, con registros mínimo de 10 años correspondientes a la cuenca de influencia del río Santa, con la caracterización de la calidad del agua antes del primer vertimiento de las aguas servidas de la zona de estudio, desde el primer punto de muestreo Puente Quechcap, ubicado antes del vertimiento de las aguas servidas de la ciudad de Huaraz - Jangas, hasta la influencia de este sector incluyendo los

caudales de los ríos tributarios al río Santa. En este estudio se utilizó los registros de las precipitaciones pluviales existentes en la zona de influencia del estudio, determinándose las descargas medias diarias mensuales mediante el método Racional sobre la base con diferentes características de escorrentía superficial de la cuenca.

Caracterización de la calidad del agua

Se realizó la caracterización de la calidad del agua del cuerpo receptor en los 10 puntos de muestreo en 06 fechas diferentes del año hidrológico 2012-2013, con un total de 60 muestreos con 420 parámetros y el caudal para las 06 fechas de muestreo y 10 puntos de muestreo, habiéndose realizado los análisis en el laboratorio de calidad de Aguas de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo – UNASAM Huaraz. Los puntos de muestreo pertenecieron a las zonas de influencia de los vertimientos de la zona de estudio.

Análisis estadístico de datos y evaluación de resultados

Con la información obtenida se procedió a la evaluación de los resultados, mediante la aplicación del Software Econometric E-Views, versión 7.0, que determina los resultados estadísticos del ICA en base a las características fisicoquímicos y bacteriológicos de la calidad del agua del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas para la conservación del Estándar Ambiental en el Sector Huaraz - Jangas. Con los resultados obtenidos se realizó el procesamiento y la evaluación de la consistencia de los datos para la toma de decisiones. Una vez analizada e interpretada esta

información se procedió a determinar conclusiones sobre el área de estudio, a fin de proponer recomendaciones correspondientes.

Prueba de hipótesis de coeficientes individuales y agrupados

Alarcón, J. (2014), mostró que las pruebas de hipótesis sobre coeficientes individuales son las más sencillas y sirven también para determinar la significancia estadística de las variables del modelo de regresión en forma individual. De acuerdo a la metodología E-views, los resultados de estas pruebas son automáticamente presentados en la primera regresión utilizando el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) y mediante el estadístico “t” de student para tomar decisión respecto a las hipótesis presentadas. En la Tabla 3, se resume: β_j es el parámetro del modelo que se va a estimar, $\widehat{\beta}_j$ representa el estimador obtenido por MCO, $S(\widehat{\beta}_j)$ se refiere al error estándar del estimador (fórmula 4). Es importante añadir que en el caso de:

$$H_0: \beta_j = 0, \text{ entonces } t_c = \frac{\widehat{\beta}_j - 0}{S(\widehat{\beta}_j)} \quad \dots (4)$$

Tabla 3. Resumen de Hipótesis para parámetros individuales

Hipótesis	Estadístico de Prueba	Criterio de decisión
H₀: $\beta_j = 0$	$t_c = \frac{\widehat{\beta}_j - 0}{S(\widehat{\beta}_j)}$	Se rechaza la H ₀ si: $t_c > t_{(n-k)gl}$
H_a: $\beta_j \neq 0$	$S(\widehat{\beta}_j) = \sqrt{V(\beta)}$	No se rechaza H ₀ si: $t_c \leq t_{(n-k)gl}$

Fuente: Alarcón, J. A. Nolasco, J.L. (2014). *Econometría con E-views y aplicaciones en economía agrícola, economía de recursos naturales y desarrollo sustentable* (p. 75).

La prueba de hipótesis conjunta utiliza el estadístico “F” asociado a una distribución “F”, que sirve para probar si todos los parámetros son estadísticamente iguales a cero, o al menos uno es diferente. Este caso se resume en la Tabla 4, donde los estadísticos “t” como “F” sirven para determinar la significancia (individual o conjunta) de los estimadores obtenidos mediante el método “MCO”. Ambos resultados son reportados en la primera salida de la regresión de un modelo en “*E-views*”.

El estadístico “F” expresa la relación entre el cuadrado Medio debido a la regresión en relación al cuadrado medio debido al residual (fórmula 5):

$$F(k-1,n-k) = \frac{\sum y_i^2 / (k-1)}{\sum e_i^2 / (n-k)} \dots (5)$$

Donde:

$\sum y_i^2 / (k-1)$ Cuadrado Medio debido a la Regresión

$\sum e_i^2 / (n - k)$ Cuadrado Medio debido al Residual

n: Número total de observaciones en la muestra

i = 1, 2, 3, ..., k, Siendo k=Número de parámetros

k-1, n-k: Grados de libertad

Tabla 4. Resumen del uso del estadístico “F” en contrastes conjuntos

Hipótesis	Estadístico de prueba	Criterio de decisión
$H_0: \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_k = 0$ $H_a: \text{al menos un } \beta_j \neq 0$	$F(k-1, n-k) = \frac{\sum y_i^2 / (k-1)}{\sum e_i^2 / (n-k)}$	Se rechaza la H_0 si: $F_c > F(k-1, n-k)_{gl}$ No se rechaza H_0 si: $F_c \leq F(k-1, n-k)_{gl}$

Fuente: Alarcón, J.A. Nolasco, J.L. (2014). *Econometría con E-views y aplicaciones en economía agrícola, economía de recursos naturales y desarrollo sustentable* (p. 76)

Valor probabilístico de “P”

De acuerdo con **Arriaza, M. (2006)**, la guía práctica de análisis de datos cita que se rechaza la hipótesis nula si el valor “p” asociado al resultado observado es igual o menor que el nivel de significación establecido, convencionalmente 0,05 ó 0,01. Es decir, el valor “p” nos muestra la probabilidad de haber obtenido el resultado obtenido si suponemos que la hipótesis nula es cierta.

Si el valor “p” es inferior al nivel de significación es un indicativo de que lo más probable es que la hipótesis de partida sea falsa. Sin embargo, también es posible se esté ante una observación atípica, porque estaría cometiendo el error estadístico de rechazar la hipótesis nula cuando ésta es cierta basándose en que ha tenido que encontrar una observación atípica. El valor “p” es un valor de probabilidad, por lo que oscila entre 0 y 1. Así, se suele decir que valores altos de “p” no rechazan la hipótesis nula (H_0), dicho de forma correcta, no permiten rechazar la H_0 , de igual manera valores bajos de “p” rechazan la H_0 .

Prueba “t” de *student*

De acuerdo con **Arriaza, M.** (2006), la guía práctica de análisis de datos menciona que tiene como hipótesis nula que el coeficiente de la variable es igual a cero ($H_0: b_j = 0$) y por lo tanto que la variable explicativa no tiene relación significativa con la variable dependiente. Por consiguiente, aquellos coeficientes con una probabilidad del estadístico “t” inferior a 0.05 son aceptados en el modelo, ya que en el caso de los coeficientes con probabilidad mayor que 0.05 no rechazamos la hipótesis nula de que su verdadero valor es cero y el valor obtenido se debe al azar.

Prueba “F” de *Fisher*

Según **Arriaza, M.** (2006), la guía práctica de análisis de datos cita que está asociada al análisis de la varianza. A partir de la variabilidad explicada por la regresión y la variabilidad residual se calcula el estadístico “F”, cuya hipótesis nula es el rechazo global del modelo. Si la probabilidad de “F” es inferior a 0.05 se rechaza la hipótesis nula y se acepta que el modelo es válido.

Coefficiente de determinación

De acuerdo con **Alarcón, J.** (2014), que abordó la metodología afirma que el coeficiente R^2 es el que mide el nivel de ajuste del modelo que se ha estimado, es decir, evalúa si las variables regresoras explican adecuadamente la variable dependiente. Nótese que en la fórmula (6) mostrada a continuación, el coeficiente R^2 depende de la suma de cuadrados del Residuo y la suma de cuadrados totales.

$$R^2 = 1 - \frac{SCR}{SCT} \quad \dots (6)$$

Donde:

R² = Coeficiente de determinación

SCR = Suma de cuadrados del residuo

SCT = Suma de cuadrados totales.

Si todas las observaciones están en la línea de regresión, el valor de R² es 1, y si no hay relación lineal entre las variables dependiente e independiente, el valor de R² es 0, por lo tanto, el coeficiente R² es una medida de la relación lineal entre dos variables. A medida que su valor es mayor, el ajuste de la recta a los datos es mejor, puesto que la variación explicada es mayor; así, el desajuste provocado por la sustitución de los valores observados por los predichos es menor.

Validación, análisis estadístico del modelo y contraste

Una vez formulado los modelos matemáticos del problema, el siguiente paso es resolver los modelos, es decir obtener valores numéricos para la variable de decisión.

Después de resolver el modelo estadístico es extremadamente importante validar la solución, es decir, revisar la solución cuidadosamente para ver que los valores tienen sentido y que las decisiones resultantes puedan llevarse a cabo. Algunas de las razones para hacer esto, son:

- El modelo estadístico puede no haber captado todas las limitaciones del problema real.

- Ciertos aspectos del problema pueden haberse pasado por alto, omitido deliberadamente o simplificado.
- Los datos pueden haberse estimado o registrado incorrectamente, tal vez al introducirlos a la computadora.

La Hipótesis individual es:

$H_0: K_i = 0$; x_i no es significativa

$H_a: K_i \neq 0$; x_i es significativa

Para contrastar la hipótesis estadística (p-valué), es decir, la probabilidad de obtener el resultado con un error del 5%:

$K_i > 0,05$: no rechazo H_0

$K_i < 0,05$: rechazo H_0

La Hipótesis grupal es:

$H_0: K_0 = K_1 = 0$, todas las variables no son significativas.

$H_a: K_0 \neq K_1 \neq 0$, todas las variables son significativas.

Para contrastar la hipótesis, se realizó la prueba “*F statistic*”:

$F > 0,05$: no rechazo H_0

$F < 0,05$: rechazo H_0

Finalmente se toma decisión; en base a:

$T \text{ calculado} > T \text{ tabular}$; se acepta la hipótesis alterna (H_a).

$F \text{ calculado} > F \text{ tabular}$; se acepta la hipótesis alterna (H_a).

Modelo lineal de probabilidad

Con la integración de los 08 parámetros físico, químico y bacteriológicos de la calidad del agua del río Santa con vertimientos del estudio con resultados del análisis en el laboratorio, se representa en la fórmula (7):

$$\text{ICA} = \text{C} - \text{K}_1 * \text{CF} - \text{K}_2 * \text{DBO} + \text{K}_3 * \text{OD} - \text{K}_4 * \text{PH} + \text{K}_5 * \text{T} - \text{K}_6 * \text{ST} - \text{K}_6 * \text{NITR} + 0.067 * \text{Q} \quad \dots(7)$$

Donde las variables:

C Intercepto,

CF Coliformes fecales,

DBO Demanda Bioquímica de Oxígeno,

OD Oxígeno Disuelto,

pH Potencial de hidrógeno pH,

T temperatura en grados centígrados,

ST Sólidos totales,

NITR Nitratos

Q Caudal del río Santa

Ki Coeficientes

IV. RESULTADOS

4.1. Presentación de Resultados

4.1.1 Características de la calidad del agua, ICA y ECA

Los resultados de las características fisicoquímicos y bacteriológicos de la calidad del agua del río santa con vertimientos de las aguas residuales domésticas, obtenidos del análisis de la calidad en el laboratorio de Calidad de Aguas de la UNASAM, de los 10 puntos de muestreo se presenta en la Tabla 5. Así mismo, los resultados del ICA transversal, en bases los parámetros de las características de la calidad, se presenta en la Tabla 6. Los resultados del ICA del ECA, determinados en base a los parámetros normativos indicados en D.S. N° 004-2017- MINAM, para la Categoría 4 - Conservación del Ambiente Acuático y la Subcategoría E2 - Ríos (Costa y Sierra), también se presentan en la columna final de la Tabla 6.

Tabla 5. Valores de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de los puntos de muestreo del río Santa.

Nº	Descripción	Fecha de muestreo	Caudal (m³/seg)	pH	Sólidos Totales (mg/l)	Temperatura (°C)	Nitratos (mg/l)	Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅ (mg/l)	Oxígeno Disuelto OD (mg/l)	Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100 ml)
M1	Puente Quechcap-Huaraz	16/11/2012	26.97	7.51	305.00	17.00	< 1.0	2.00	5.07	4.60E+04
		30/01/2013	53.84	7.52	139.00	17.90	< 1.0	< 1	6.52	2.40E+03
		4/04/2013	52.83	7.57	206.00	18.20	< 1.0	1.00	7.35	1.10E+05
		10/05/2013	19.35	7.68	104.00	18.10	< 1.0	1.00	6.11	2.40E+04
		18/07/2013	5.92	7.70	251.00	16.00	< 1.0	1.00	6.08	2.40E+04
		2/10/2013	14.70	7.56	226.00	17.00	< 1.0	2.00	6.28	2.30E+03
M2	Antes del Río Quillcay-Huaraz	16/11/2012	27.31	6.17	129.00	16.60	< 1.0	1.00	6.57	9.30E+05
		30/01/2013	53.90	7.17	128.00	18.00	< 1.0	2.00	4.14	4.30E+05
		4/04/2013	53.16	7.14	345.00	18.30	< 1.0	1.00	6.51	4.60E+06
		10/05/2013	19.35	6.88	104.00	18.20	< 1.0	3.00	3.70	4.60E+06
		18/07/2013	6.21	6.72	209.00	17.20	< 1.0	4.00	4.02	1.10E+06
		2/10/2013	14.76	7.17	498.00	17.80	< 1.0	3.00	4.72	2.40E+06
M3	Antes del Río Casca-Huaraz	16/11/2012	34.86	7.21	226.00	16.60	< 1.0	3.00	5.94	2.40E+06
		30/01/2013	65.06	7.09	106.00	18.10	< 1.0	1.00	4.91	2.40E+06
		4/04/2013	63.24	7.01	1029.00	18.40	< 1.0	1.00	5.12	1.10E+08
		10/05/2013	26.01	7.15	107.00	19.10	< 1.0	3.00	4.01	1.10E+08
		18/07/2013	10.20	7.08	143.00	15.80	< 1.0	5.00	4.37	1.10E+07
		16/10/2013	20.84	7.07	281.00	17.90	< 1.0	4.00	4.29	1.10E+08
M4	Después del Río Casca-Huaraz	21/11/2012	36.04	7.14	118.00	17.10	< 1.0	3.00	4.61	4.60E+07
		30/01/2013	66.51	7.48	109.00	17.90	< 1.0	2.00	4.41	2.40E+05
		4/04/2013	64.42	7.08	1605.00	18.40	< 1.0	4.00	4.80	1.10E+08
		10/05/2013	26.46	7.20	79.00	18.90	< 1.0	5.00	3.79	4.60E+06
		18/07/2013	10.31	7.01	195.00	15.80	1.63	5.00	4.19	4.60E+06
		16/10/2013	21.70	7.25	180.00	16.30	< 1.0	5.00	5.58	9.30E+05
M5	Antes del Río Monterrey-Huaraz	16/11/2012	36.05	7.07	210.00	17.70	< 1.0	3.00	4.37	4.60E+05
		30/01/2013	66.52	7.24	101.00	18.20	< 1.0	2.00	4.82	2.40E+05
		4/04/2013	64.43	7.66	1169.00	18.40	< 1.0	2.00	5.37	4.60E+03
		10/05/2013	26.46	7.72	131.00	19.00	< 1.0	4.00	6.16	2.40E+04
		18/07/2013	10.31	7.39	243.00	16.80	1.23	6.00	5.81	1.10E+06
		16/10/2013	21.70	7.11	192.00	16.10	< 1.0	5.00	6.00	4.60E+04
M6	Antes del Río Chavin-Huaraz	16/11/2012	36.32	7.35	72.00	17.80	< 1.0	4.00	5.28	2.40E+05
		30/01/2013	66.82	7.39	113.00	17.80	< 1.0	2.00	4.45	1.50E+07
		4/04/2013	64.65	6.88	1269.00	18.90	< 1.0	1.00	4.76	4.60E+03
		10/05/2013	26.52	7.57	112.00	18.60	< 1.0	4.00	6.15	2.40E+05
		18/07/2013	10.33	7.25	197.00	16.20	3.20	5.00	6.59	2.40E+05
		16/10/2013	21.90	7.26	277.00	16.90	< 1.0	5.00	5.88	2.40E+05
M7	Después del Río Chavin-Huaraz	16/11/2012	36.96	7.11	247.00	18.10	< 1.0	3.00	4.15	2.40E+05
		30/01/2013	67.57	7.35	107.00	18.00	< 1.0	2.00	4.66	4.60E+06
		4/04/2013	65.24	7.70	227.00	18.30	< 1.0	3.00	6.32	4.60E+05
		10/05/2013	26.71	7.46	114.00	19.30	< 1.0	3.00	6.19	4.60E+05
		18/07/2013	10.37	7.32	200.00	16.40	< 1.0	5.00	6.78	4.60E+05
		16/10/2013	22.36	7.30	305.00	16.90	< 1.0	5.00	6.12	1.10E+06
M8	Después del Río Ishinka-Huaraz	21/11/2012	39.38	7.51	142.00	16.70	< 1.0	3.00	4.77	1.10E+08
		1/02/2013	70.71	7.54	119.00	9.80	< 1.0	2.00	6.07	4.60E+04
		4/04/2013	67.91	7.67	184.00	18.30	< 1.0	< 1	6.09	1.10E+08
		10/05/2013	27.91	7.48	96.00	19.40	< 1.0	3.00	5.92	4.60E+06
		18/07/2013	10.37	7.31	104.00	16.50	1.93	4.00	6.85	4.60E+06
		16/10/2013	24.16	7.42	266.00	17.00	< 1.0	3.00	6.15	1.10E+06
M9	Antes del Vertimiento Jangas - Huaraz	21/11/2012	39.38	7.51	134.00	16.80	< 1.0	2.00	5.28	4.60E+06
		1/02/2013	70.71	7.52	159.00	9.80	< 1.0	2.00	6.28	1.10E+05
		4/04/2013	67.91	7.90	197.00	17.20	< 1.0	2.00	5.91	1.10E+07
		8/05/2013	27.91	7.14	159.00	17.00	< 1.0	5.00	5.58	9.30E+05
		17/07/2013	10.37	7.33	181.00	18.10	< 1.0	5.00	5.89	2.40E+04
		16/10/2013	24.16	7.40	293.00	17.20	< 1.0	5.00	5.97	2.40E+05
M10	Después del Vertimiento Jangas-Huaraz	21/11/2012	39.38	7.72	132.00	16.80	< 1.0	2.00	5.25	2.40E+07
		1/02/2013	70.71	7.71	14.00	9.90	< 1.0	2.00	5.63	2.40E+04
		4/04/2013	67.91	7.75	198.00	17.30	< 1.0	2.00	5.79	4.60E+07
		8/05/2013	27.91	6.93	131.00	17.10	< 1.0	5.00	5.96	1.50E+06
		17/07/2013	10.37	7.40	182.00	18.20	< 1.0	5.00	5.75	9.30E+04
		16/10/2013	24.16	7.16	288.00	17.00	< 1.0	4.00	6.19	1.10E+06

4.1.2 ICA transversal a lo largo del río Santa por puntos de muestreo

Los resultados obtenidos del ICA transversal de cada uno de los puntos de muestreo de las seis (6) fechas del año hidrológico del período en estudio, se presenta los análisis del comportamiento transversal por cada punto de muestreo del año hidrológico considerado y el ICA del ECA correspondiente para el efecto comparativo, los resultados se presentan en las Tablas del 7 al 16 y su comportamiento transversal en las figuras del 11 al 20 respectivamente.

Tabla 6. Resultados del ICA transversal y ECA, de los puntos de muestreo del río Santa.

Nº	Descripción	Fecha de muestreo	Caudal (m³/seg)	pH	Sólidos Totales (mg/l)	Temperatura (°C)	Nitratos (mg/l)	Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5(mg/l)	Oxígeno Disuelto OD (mg/l)	Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100 ml)	ICA (%)	ECA (%)
M1	Puente Quechcap-Huaraz	16/11/2012	26.97	7.51	305.00	17.00	<1.0	2.00	5.07	4.60E+04	52.16	51.00
		30/01/2013	53.84	7.52	139.00	17.90	<1.0	<1	6.52	2.40E+03	63.45	51.00
		4/04/2013	52.83	7.57	206.00	18.20	<1.0	1.00	7.35	1.10E+05	61.34	51.00
		10/05/2013	19.35	7.68	104.00	18.10	<1.0	1.00	6.11	2.40E+04	57.06	51.00
		18/07/2013	5.92	7.70	251.00	16.00	<1.0	1.00	6.08	2.40E+04	51.51	51.00
		2/10/2013	14.70	7.56	226.00	17.00	<1.0	2.00	6.28	2.30E+03	55.77	51.00
M2	Antes del Río Quilicay-Huaraz	16/11/2012	27.31	6.17	129.00	16.60	<1.0	1.00	6.57	9.30E+05	46.01	51.00
		30/01/2013	53.90	7.17	128.00	18.00	<1.0	2.00	4.14	4.30E+05	53.27	51.00
		4/04/2013	53.16	7.14	345.00	18.30	<1.0	1.00	6.51	4.60E+06	58.11	51.00
		10/05/2013	19.35	6.88	104.00	18.20	<1.0	3.00	3.70	4.60E+06	47.86	51.00
		18/07/2013	6.21	6.72	209.00	17.20	<1.0	4.00	4.02	1.10E+06	42.73	51.00
		2/10/2013	14.76	7.17	498.00	17.80	<1.0	3.00	4.72	2.40E+06	46.07	51.00
M3	Antes del Río Casca-Huaraz	16/11/2012	34.86	7.21	226.00	16.60	<1.0	3.00	5.94	2.40E+06	54.34	51.00
		30/01/2013	65.06	7.09	106.00	18.10	<1.0	1.00	4.91	2.40E+06	56.73	51.00
		4/04/2013	63.24	7.01	1029.00	18.40	<1.0	1.00	5.12	1.10E+08	53.14	51.00
		10/05/2013	26.01	7.15	107.00	19.10	<1.0	3.00	4.01	1.10E+08	50.25	51.00
		18/07/2013	10.20	7.08	143.00	15.80	<1.0	5.00	4.37	1.10E+07	45.90	51.00
		16/10/2013	20.84	7.07	281.00	17.90	<1.0	4.00	4.29	1.10E+08	47.54	51.00
M4	Después del Río Casca-Huaraz	21/11/2012	36.04	7.14	118.00	17.10	<1.0	3.00	4.61	4.60E+07	52.19	51.00
		30/01/2013	66.51	7.48	109.00	17.90	<1.0	2.00	4.41	2.40E+05	54.68	51.00
		4/04/2013	64.42	7.08	1605.00	18.40	<1.0	4.00	4.80	1.10E+08	49.86	51.00
		10/05/2013	26.46	7.20	79.00	18.90	<1.0	5.00	3.79	4.60E+06	48.35	51.00
		18/07/2013	10.31	7.01	195.00	15.80	1.63	5.00	4.19	4.60E+06	43.53	51.00
		16/10/2013	21.70	7.25	180.00	16.30	<1.0	5.00	5.58	9.30E+05	50.97	51.00
M5	Antes del Río Monterrey-Huaraz	16/11/2012	36.05	7.07	210.00	17.70	<1.0	3.00	4.37	4.60E+05	50.62	51.00
		30/01/2013	66.52	7.24	101.00	18.20	<1.0	2.00	4.82	2.40E+05	55.82	51.00
		4/04/2013	64.43	7.66	1169.00	18.40	<1.0	2.00	5.37	4.60E+03	54.68	51.00
		10/05/2013	26.46	7.72	131.00	19.00	<1.0	4.00	6.16	2.40E+04	55.54	51.00
		18/07/2013	10.31	7.39	243.00	16.80	1.23	6.00	5.81	1.10E+06	47.51	51.00
		16/10/2013	21.70	7.11	192.00	16.10	<1.0	5.00	6.00	4.60E+04	52.18	51.00
M6	Antes del Río Chavin-Huaraz	16/11/2012	36.32	7.35	72.00	17.80	<1.0	4.00	5.28	2.40E+05	53.61	51.00
		30/01/2013	66.82	7.39	113.00	17.80	<1.0	2.00	4.45	1.50E+07	54.81	51.00
		4/04/2013	64.65	6.88	1269.00	18.90	<1.0	1.00	4.76	4.60E+03	53.69	51.00
		10/05/2013	26.52	7.57	112.00	18.60	<1.0	4.00	6.15	2.40E+05	55.00	51.00
		18/07/2013	10.33	7.25	197.00	16.20	3.20	5.00	6.59	2.40E+05	48.97	51.00
		16/10/2013	21.90	7.26	277.00	16.90	<1.0	5.00	5.88	2.40E+05	51.11	51.00
M7	Después del Río Chavin-Huaraz	16/11/2012	36.96	7.11	247.00	18.10	<1.0	3.00	4.15	2.40E+05	50.04	51.00
		30/01/2013	67.57	7.35	107.00	18.00	<1.0	2.00	4.66	4.60E+06	55.44	51.00
		4/04/2013	65.24	7.70	227.00	18.30	<1.0	3.00	6.32	4.60E+05	57.34	51.00
		10/05/2013	26.71	7.46	114.00	19.30	<1.0	3.00	6.19	4.60E+05	56.25	51.00
		18/07/2013	10.37	7.32	200.00	16.40	<1.0	5.00	6.78	4.60E+05	51.66	51.00
		16/10/2013	22.36	7.30	305.00	16.90	<1.0	5.00	6.12	1.10E+06	51.49	51.00
M8	Después del Río Ishinka-Huaraz	21/11/2012	39.38	7.51	142.00	16.70	<1.0	3.00	4.77	1.10E+08	52.65	51.00
		1/02/2013	70.71	7.54	119.00	9.80	<1.0	2.00	6.07	4.60E+04	58.17	51.00
		4/04/2013	67.91	7.67	184.00	18.30	<1.0	<1	6.09	1.10E+08	60.27	51.00
		10/05/2013	27.91	7.48	96.00	19.40	<1.0	3.00	5.92	4.60E+06	55.72	51.00
		18/07/2013	10.37	7.31	104.00	16.50	1.93	4.00	6.85	4.60E+06	52.09	51.00
		16/10/2013	24.16	7.42	266.00	17.00	<1.0	3.00	6.15	1.10E+06	53.71	51.00
M9	Antes del Vertimiento Jangas - Huaraz	21/11/2012	39.38	7.51	134.00	16.80	<1.0	2.00	5.28	4.60E+06	54.94	51.00
		1/02/2013	70.71	7.52	159.00	9.80	<1.0	2.00	6.28	1.10E+05	57.76	51.00
		4/04/2013	67.91	7.90	197.00	17.20	<1.0	2.00	5.91	1.10E+07	56.66	51.00
		8/05/2013	27.91	7.14	159.00	17.00	<1.0	5.00	5.58	9.30E+05	45.90	51.00
		17/07/2013	10.37	7.33	181.00	18.10	<1.0	5.00	5.89	2.40E+04	50.98	51.00
		16/10/2013	24.16	7.40	293.00	17.20	<1.0	5.00	5.97	2.40E+05	51.58	51.00
M10	Después del Vertimiento Jangas-Huaraz	21/11/2012	39.38	7.72	132.00	16.80	<1.0	2.00	5.25	2.40E+07	54.53	51.00
		1/02/2013	70.71	7.71	14.00	9.90	<1.0	2.00	5.63	2.40E+04	58.18	51.00
		4/04/2013	67.91	7.75	198.00	17.30	<1.0	2.00	5.79	4.60E+07	56.79	51.00
		8/05/2013	27.91	6.93	131.00	17.10	<1.0	5.00	5.96	1.50E+06	52.91	51.00
		17/07/2013	10.37	7.40	182.00	18.20	<1.0	5.00	5.75	9.30E+04	49.83	51.00
		16/10/2013	24.16	7.16	288.00	17.00	<1.0	4.00	6.19	1.10E+06	52.69	51.00

Tabla 7. El ICA Transversal en el Puente Quechcap.

Muestra	Punto de Muestreo	Fecha	Hora	ICAg (%)	ECA (%)
M1	Puente Quechcap- Huaraz	16/11/2012	05:40	52.2	51.00
M2	Puente Quechcap- Huaraz	30/01/2013	13:05	63.5	51.00
M3	Puente Quechcap- Huaraz	4/04/2013	16:41	61.3	51.00
M4	Puente Quechcap- Huaraz	10/05/2013	12:10	57.1	51.00
M5	Puente Quechcap- Huaraz	18/07/2013	11:50	51.5	51.00
M6	Puente Quechcap- Huaraz	2/10/2013	14:00	55.8	51.00

Muestra	Parámetros							
	Caudal (m3/s)	pH	Solidos Totales (mg/l)	Temperatura (°C)	Nitratos (mg/l)	Demanda Bíoquímica de Oxígeno (mg/l)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100 ml)
M1	26.97	7.51	305	17	< 1.0	2	5.07	4.60E+04
M2	53.84	7.52	139	17.9	< 1.0	< 1	6.52	2.40E+03
M3	52.83	7.57	206	18.2	< 1.0	1	7.35	1.10E+05
M4	19.35	7.68	104	18.1	< 1.0	1	6.11	2.40E+04
M5	5.92	7.7	251	16	< 1.0	1	6.08	2.40E+04
M6	14.7	7.56	226	17	< 1.0	2	6.28	2.30E+03

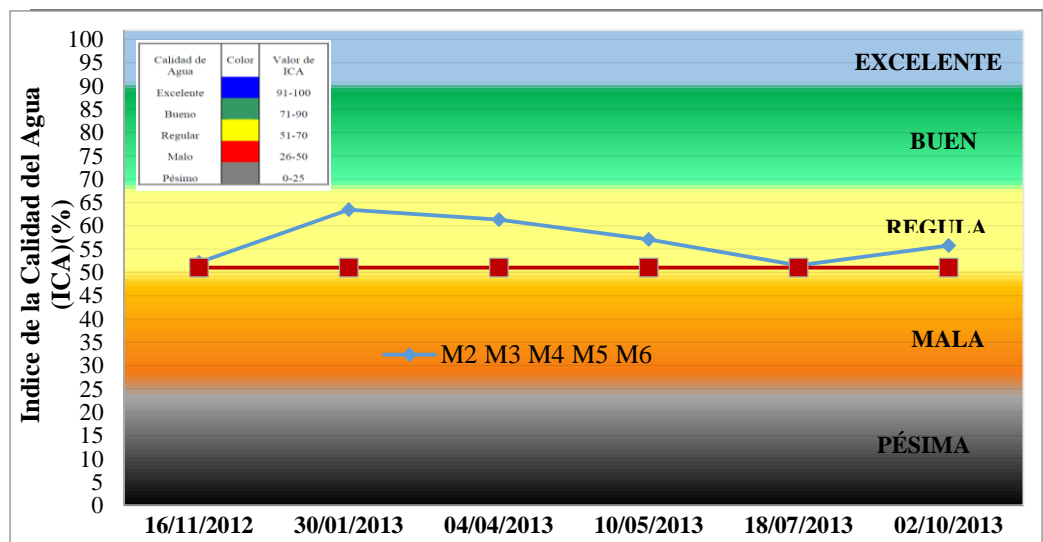


Figura 11. El ICA (%) Transversal Puente Quechcap.

El comportamiento del desarrollo de la curva del ICA es variado a lo largo del período de muestreo del año hidrológico considerado, la calidad del agua en el primer punto de muestreo antes de los vertimientos en la zona de estudio, el desarrollo de la calidad en su primera fecha de muestreo tiene una calidad superior ligeramente al ECA normativo, obteniéndose mejor calidad del agua en los periodos de influencia de las avenidas a lo largo de periodo evaluado.

Tabla 8. El ICA Transversal antes del río Quillcay.

Muestras	Punto de Muestreo	Fecha	Hora	ICAg (%)	ECA (%)
M1	Antes del Río Quillcay-Huaraz	16/11/2012	06:45	46.0	51.00
M2	Antes del Río Quillcay-Huaraz	30/01/2013	14:05	53.3	51.00
M3	Antes del Río Quillcay-Huaraz	4/04/2013	17:20	58.1	51.00
M4	Antes del Río Quillcay-Huaraz	10/05/2013	09:00	47.9	51.00
M5	Antes del Río Quillcay-Huaraz	18/07/2013	10:05	42.7	51.00
M6	Antes del Río Quillcay-Huaraz	2/10/2013	16:00	46.1	51.00

Muestras	Parámetros							
	Caudal (m3/s)	pH	Solidos Totales (mg/l)	Temperatura (°C)	Nitratos (mg/l)	Demanda Bíoquímica de Oxígeno (mg/l)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100 ml)
M1	27.31	6.17	129	16.6	< 1.0	1	6.57	9.30E+05
M2	53.90	7.17	128	18	< 1.0	2	4.14	4.30E+05
M3	53.16	7.14	345	18.3	< 1.0	1	6.51	4.60E+06
M4	19.35	6.88	104	18.2	< 1.0	3	3.7	4.60E+06
M5	6.21	6.72	209	17.2	< 1.0	4	4.02	1.10E+06
M6	14.76	7.17	498	17.8	< 1.0	3	4.72	2.40E+06

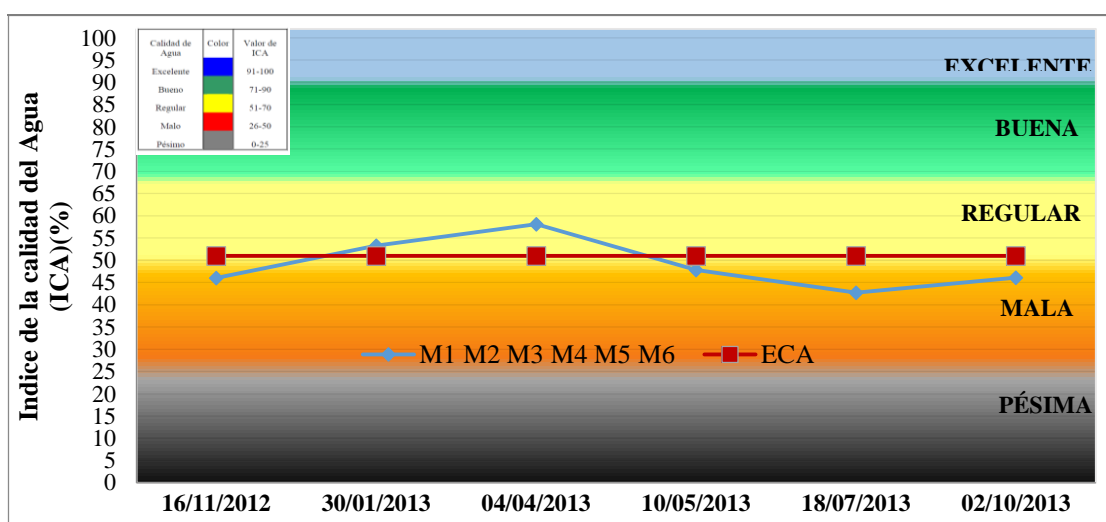


Figura 12. Comportamiento del ICA (%), antes del río Quillcay.

El comportamiento del desarrollo de la curva del ICA en el segundo punto de muestreo con el vertimiento antes de este, su calidad del agua se muestra en su mayor periodo por debajo del valor de ECA con su calidad de MALA, solamente mejora su calidad en el periodo de influencia de las avenidas con un aumento del caudal del río Santa en el que se diluye su concentración de su contaminación.

Tabla 9. El ICA Transversal antes del río Casca.

Muestras	Punto de Muestreo	Fecha	Hora	ICAg (%)	ECA (%)
M1	Antes del Rio Casca-Huaraz	16/11/2012	07:40	54.34	51.00
M2	Antes del Rio Casca-Huaraz	30/01/2013	15:20	56.73	51.00
M3	Antes del Rio Casca-Huaraz	4/04/2013	18:05	53.14	51.00
M4	Antes del Rio Casca-Huaraz	10/05/2013	08:40	50.25	51.00
M5	Antes del Rio Casca-Huaraz	18/07/2013	09:20	45.90	51.00
M6	Antes del Rio Casca-Huaraz	16/10/2013	15:00	47.54	51.00

Muestras	Parámetros							
	Caudal (m3/s)	pH	Solidos Totales (mg/l)	Temperatura (°C)	Nitratos (mg/l)	Demanda Bíoquímica de Oxígeno (mg/l)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100 ml)
M1	34.86	7.21	226	16.6	< 1.0	3	5.94	2.40E+06
M2	65.06	7.09	106	18.1	< 1.0	1	4.91	2.40E+06
M3	63.24	7.01	1029	18.4	< 1.0	1	5.12	1.10E+08
M4	26.01	7.15	107	19.1	< 1.0	3	4.01	1.10E+08
M5	10.20	7.08	143	15.8	< 1.0	5	4.37	1.10E+07
M6	20.84	7.07	281	17.9	< 1.0	4	4.29	1.10E+08

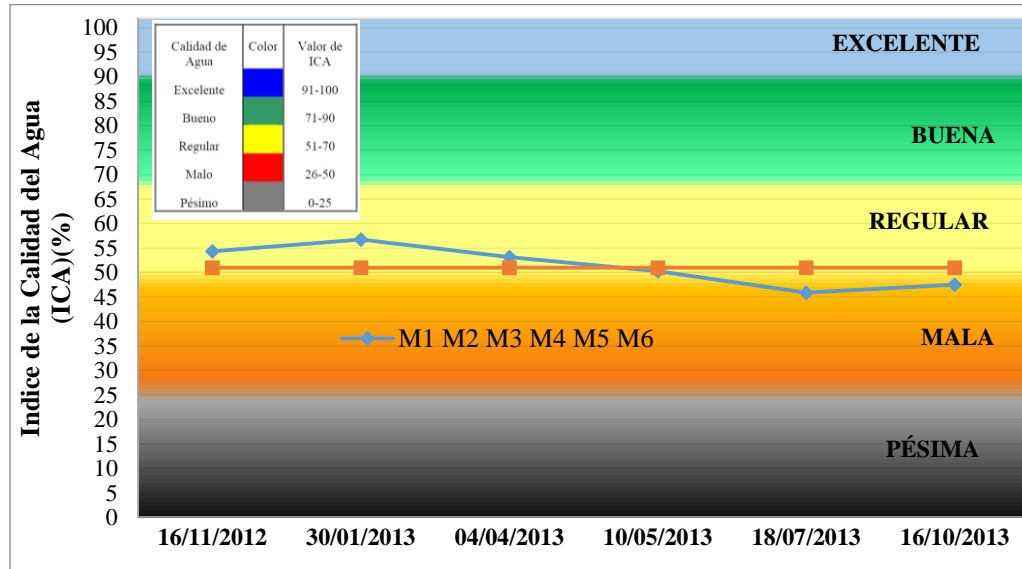


Figura 13. Comportamiento del ICA (%) antes del río Casca.

El comportamiento del desarrollo de la curva del ICA en el tercer punto de muestreo con el vertimiento antes del río Casca, su calidad del agua se muestra en su mayor periodo como REGULAR, debido a que en este sector existe un tributario que es el río Quilcay, por lo que los valores del ICA son superiores al ECA, pero esta calidad se muestra disminuido hasta MALA con los vertimientos de este sector y el bajo caudal por ser un periodo de estiaje.

Tabla 10. El ICA Transversal después del río Casca.

Muestras	Punto de Muestreo	Fecha	Hora	ICAg (%)	ECA (%)
M1	Después del Río Casca-Huaraz	21/11/2012	05:40	52.19	51.00
M2	Después del Río Casca-Huaraz	30/01/2013	15:42	54.68	51.00
M3	Después del Río Casca-Huaraz	4/04/2013	18:42	49.86	51.00
M4	Después del Río Casca-Huaraz	10/05/2013	08:20	48.35	51.00
M5	Después del Río Casca-Huaraz	18/07/2013	09:10	43.53	51.00
M6	Después del Río Casca-Huaraz	16/10/2013	14:45	50.97	51.00

Muestras	Parámetros							
	Caudal (m3/s)	pH	Solidos Totales (mg/l)	Temperatura (°C)	Nitratos (mg/l)	Demanda Bíoquímica de Oxígeno (mg/l)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100 ml)
M1	36.04	7.14	118	17.1	< 1.0	3	4.61	4.60E+07
M2	66.51	7.48	109	17.9	< 1.0	2	4.41	2.40E+05
M3	64.42	7.08	1605	18.4	< 1.0	4	4.8	1.10E+08
M4	26.46	7.2	79	18.9	< 1.0	5	3.79	4.60E+06
M5	10.31	7.01	195	15.8	1.63	5	4.19	4.60E+06
M6	21.70	7.25	180	16.3	< 1.0	5	5.58	9.30E+05

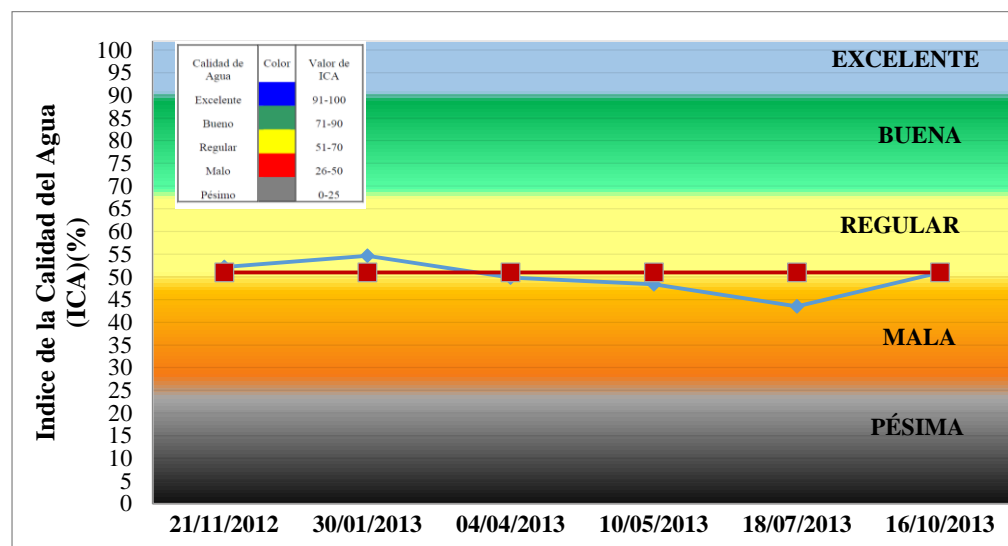


Figura 14. El ICA (%) Transversal, después del río Casca.

El comportamiento del desarrollo de la curva del ICA en este sector de punto de muestreo, la calidad del agua es en el periodo de avenidas relativamente superior, correspondiendo en su mayor periodo de análisis y el periodo de estiaje que está como MALA, debido a que antes de este sector existe una gran cantidad de vertimientos de aguas servidas sin tratamiento.

Tabla 11. El ICA Transversal antes del río Monterrey

Muestras	Punto de Muestreo	Fecha	Hora	ICAg (%)	ECA (%)
M1	Antes del Río Monterrey-Huaraz	16/11/2012	09:40	50.62	51.00
M2	Antes del Río Monterrey-Huaraz	30/01/2013	16:17	55.82	51.00
M3	Antes del Río Monterrey-Huaraz	4/04/2013	19:10	54.68	51.00
M4	Antes del Río Monterrey-Huaraz	10/05/2013	07:23	55.54	51.00
M5	Antes del Río Monterrey-Huaraz	18/07/2013	08:25	47.51	51.00
M6	Antes del Río Monterrey-Huaraz	16/10/2013	14:20	52.18	51.00

Muestras	Parámetros							
	Caudal (m3/s)	pH	Solidos Totales (mg/l)	Temperatura (°C)	Nitratos (mg/l)	Demanda Bíoquímica de Oxígeno (mg/l)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100 ml)
M1	36.05	7.07	210	17.7	< 1.0	3	4.37	4.60E+05
M2	66.52	7.24	101	18.2	< 1.0	2	4.82	2.40E+05
M3	64.43	7.66	1169	18.4	< 1.0	2	5.37	4.60E+03
M4	26.46	7.72	131	19	< 1.0	4	6.16	2.40E+04
M5	10.31	7.39	243	16.8	1.23	6	5.81	1.10E+06
M6	21.70	7.11	192	16.1	< 1.0	5	6	4.60E+04

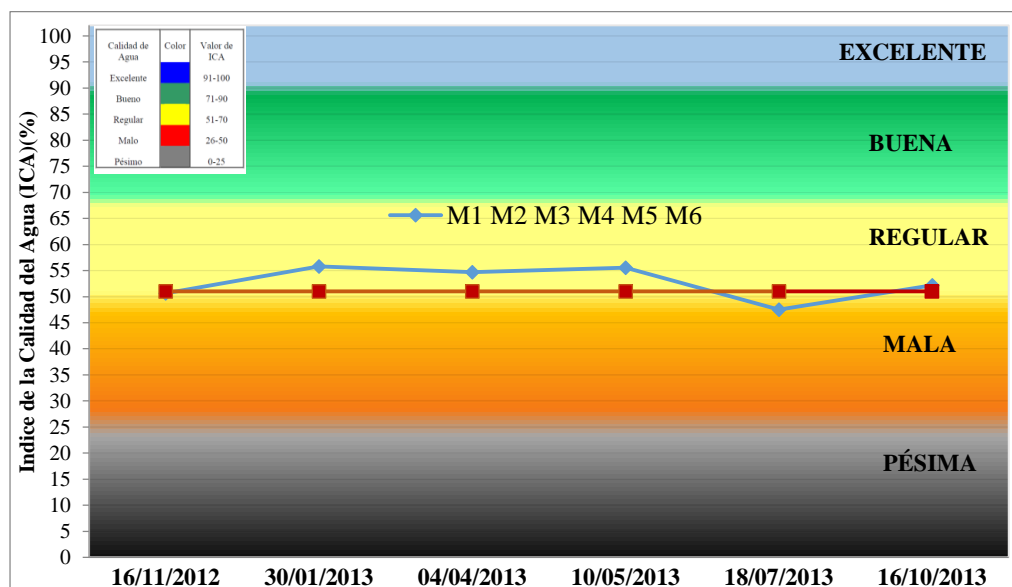


Figura 15. Comportamiento del ICA (%) antes del río Monterrey.

El comportamiento del desarrollo de la curva de la calidad del agua expresado con el ICA, hasta antes de este sector de punto de muestreo, sus valores son ligeramente superior al valor de ECA con una calidad de REGULAR, debido a que existe menor número de vertimientos de las aguas servidas, resultando esta calidad de MALA en el periodo de estiaje por la disminución del caudal en el que aumenta la concentración de los contaminantes.

Tabla 12. El ICA Transversal antes del río Chavín.

Muestras	Punto de Muestreo	Fecha	Hora	ICAg (%)	ECA (%)
M1	Antes del Rio Chavin-Huaraz	16/11/2012	09:42	53.61	51.00
M2	Antes del Rio Chavin-Huaraz	30/01/2013	16:45	54.81	51.00
M3	Antes del Rio Chavin-Huaraz	4/04/2013	19:30	53.69	51.00
M4	Antes del Rio Chavin-Huaraz	10/05/2013	07:15	55.00	51.00
M5	Antes del Rio Chavin-Huaraz	18/07/2013	08:10	48.97	51.00
M6	Antes del Rio Chavin-Huaraz	16/10/2013	13:40	51.11	51.00

Muestras	Parámetros							
	Caudal (m3/s)	pH	Solidos Totales (mg/l)	Temperatura (°C)	Nitratos (mg/l)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100 ml)
M1	36.32	7.35	72	17.8	< 1.0	4	5.28	2.40E+05
M2	66.82	7.39	113	17.8	< 1.0	2	4.45	1.50E+07
M3	64.65	6.88	1269	18.9	< 1.0	1	4.76	4.60E+03
M4	26.52	7.57	112	18.6	< 1.0	4	6.15	2.40E+05
M5	10.33	7.25	197	16.2	3.2	5	6.59	2.40E+05
M6	21.90	7.26	277	16.9	< 1.0	5	5.88	2.40E+05

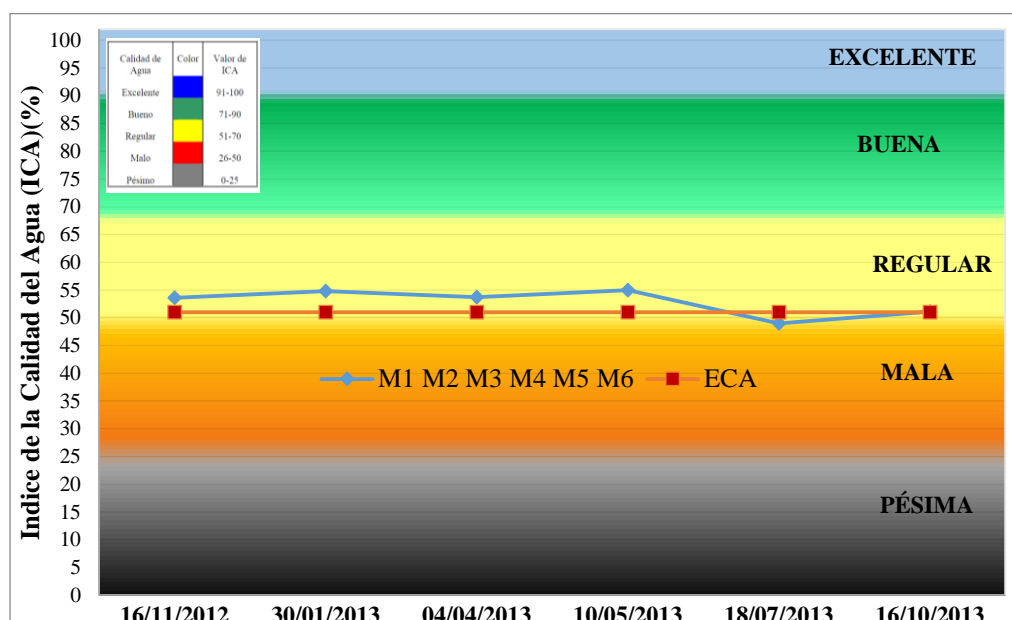


Figura 16. Comportamiento del ICA (%) antes del río Chavín.

El comportamiento del desarrollo de la curva de la calidad del agua expresado con el ICA, hasta antes de este sector de punto de muestreo, sus valores son ligeramente superior al valor de ECA con una calidad de REGULAR, debido a que no existen vertimientos de las aguas servidas, resultando esta calidad disminuida ligeramente a MALA en el periodo de estiaje por la disminución del caudal en el que aumenta la concentración de los contaminantes.

Tabla 13. El ICA Transversal después del río Chavín.

Muestras	Punto de Muestreo	Fecha	Hora	ICAg (%)	ECA (%)
M1	Después del Río Chavín-Huaraz	16/11/2012	09:50	50.04	51.00
M2	Después del Río Chavín-Huaraz	30/01/2013	17:00	55.44	51.00
M3	Después del Río Chavín-Huaraz	4/04/2013	14:50	57.34	51.00
M4	Después del Río Chavín-Huaraz	10/05/2013	06:40	56.25	51.00
M5	Después del Río Chavín-Huaraz	18/07/2013	07:50	51.66	51.00
M6	Después del Río Chavín-Huaraz	16/10/2013	13:00	51.49	51.00

Parámetros								
Muestras	Caudal (m3/s)	pH	Solidos Totales (mg/l)	Temperatura (°C)	Nitratos (mg/l)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100 ml)
M1	36.96	7.11	247	18.1	< 1.0	3	4.15	2.40E+05
M2	67.57	7.35	107	18	< 1.0	2	4.66	4.60E+06
M3	65.24	7.7	227	18.3	< 1.0	3	6.32	4.60E+05
M4	26.71	7.46	114	19.3	< 1.0	3	6.19	4.60E+05
M5	10.37	7.32	200	16.4	< 1.0	5	6.78	4.60E+05
M6	22.36	7.3	305	16.9	< 1.0	5	6.12	1.10E+06

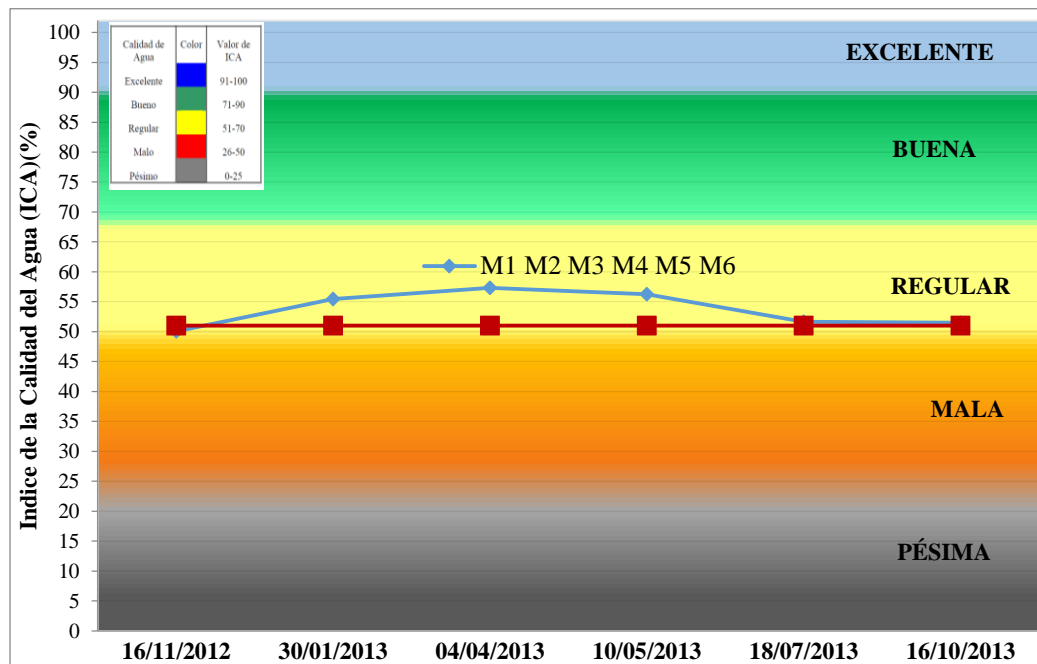


Figura 17. Comportamiento del ICA (%) después del río Chavín.

El comportamiento del desarrollo de la curva de la calidad del agua expresado con el ICA, hasta antes de este sector de punto de muestreo, sus valores son ligeramente superior al valor de ECA con una calidad de REGULAR, debido a que no existen vertimientos de las aguas servidas domésticas.

Tabla 14. El ICA Transversal después del río Ishinka.

Muestras	Punto de Muestreo	Fecha	Hora	ICAg (%)	ECA (%)
M1	Después del Río Ishinka-Huaraz	21/11/2012	06:30	52.65	51.00
M2	Después del Río Ishinka-Huaraz	1/02/2013	13:25	58.17	51.00
M3	Después del Río Ishinka-Huaraz	4/04/2013	14:18	60.27	51.00
M4	Después del Río Ishinka-Huaraz	10/05/2013	06:30	55.72	51.00
M5	Después del Río Ishinka-Huaraz	18/07/2013	07:10	52.09	51.00
M6	Después del Río Ishinka-Huaraz	16/10/2013	12:00	53.71	51.00

Muestras	Parámetros							
	Caudal (m3/s)	pH	Solidos Totales (mg/l)	Temperatura (°C)	Nitratos (mg/l)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100 ml)
M1	39.38	7.51	142	16.7	< 1.0	3	4.77	1.10E+08
M2	70.71	7.54	119	9.8	< 1.0	2	6.07	4.60E+04
M3	67.91	7.67	184	18.3	< 1.0	< 1	6.09	1.10E+08
M4	27.91	7.48	96	19.4	< 1.0	3	5.92	4.60E+06
M5	10.37	7.31	104	16.5	1.93	4	6.85	4.60E+06
M6	24.16	7.42	266	17	< 1.0	3	6.15	1.10E+06

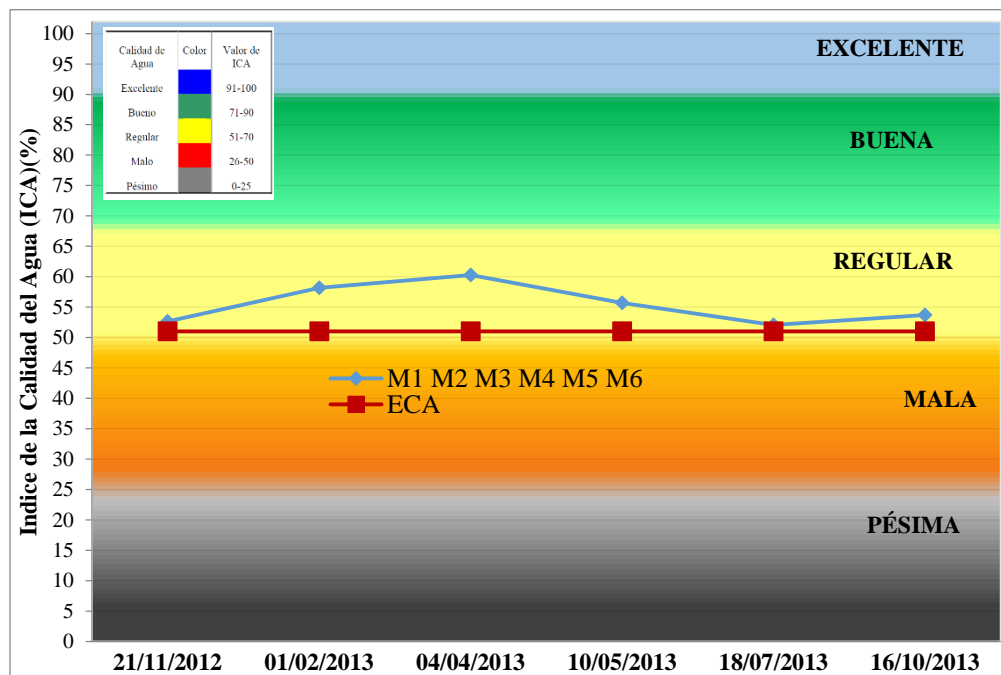


Figura 18. Comportamiento del ICA (%) después del río Ishinka.

El comportamiento del desarrollo de la curva de la calidad del agua expresado con el ICA, hasta antes de este sector de punto de muestreo, sus valores son ligeramente superior al valor de ECA con una calidad de REGULAR, debido a que no existen vertimientos de las aguas servidas domésticas.

Tabla 15. El ICA Transversal antes del vertimiento Jangas.

Muestras	Punto de Muestreo	Fecha	Hora	ICAg (%)	ECA (%)
M1	Antes del Vertimiento Jangas - Huaraz	21/11/2012	07:05	54.94	51.00
M2	Antes del Vertimiento Jangas - Huaraz	1/02/2013	13:05	57.76	51.00
M3	Antes del Vertimiento Jangas - Huaraz	4/04/2013	13:25	56.66	51.00
M4	Antes del Vertimiento Jangas - Huaraz	8/05/2013	14:00	45.90	51.00
M5	Antes del Vertimiento Jangas - Huaraz	17/07/2013	14:00	50.98	51.00
M6	Antes del Vertimiento Jangas - Huaraz	16/10/2013	11:45	51.58	51.00

Muestras	Parámetros							
	Caudal (m3/s)	pH	Solidos Totales (mg/l)	Temperatura (°C)	Nitratos (mg/l)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100 ml)
M1	39.38	7.51	134	16.8	< 1.0	2	5.28	4.60E+06
M2	70.71	7.52	159	9.8	< 1.0	2	6.28	1.10E+05
M3	67.91	7.9	197	17.2	< 1.0	2	5.91	1.10E+07
M4	27.91	7.14	159	17	< 1.0	5	5.58	9.30E+05
M5	10.37	7.33	181	18.1	< 1.0	5	5.89	2.40E+04
M6	24.16	7.4	293	17.2	< 1.0	5	5.97	2.40E+05

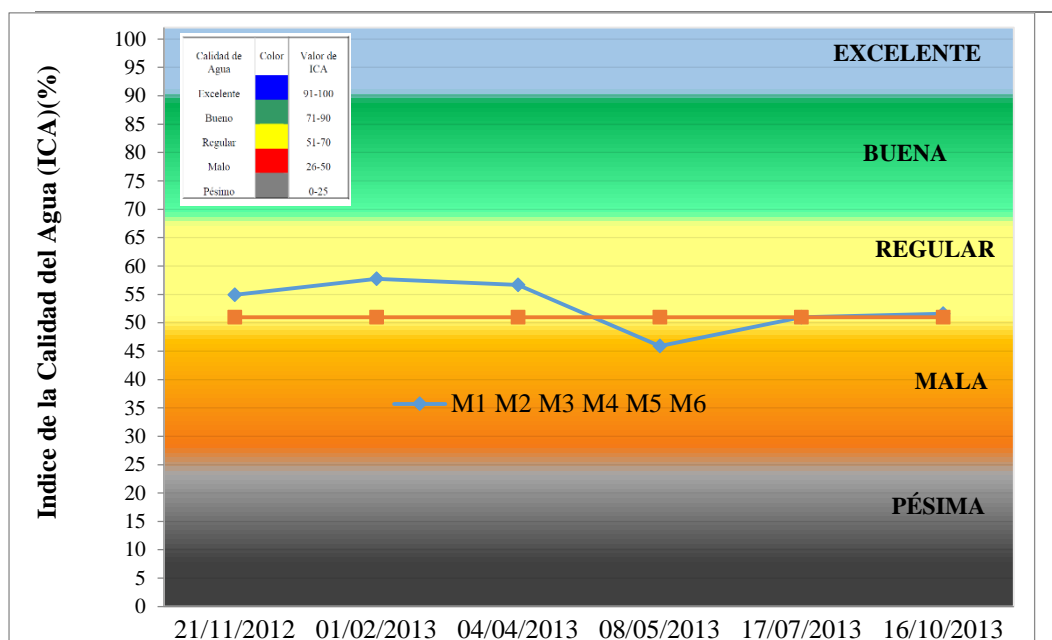


Figura 19. Comportamiento del ICA (%) antes del vertimiento Jangas.

El comportamiento del desarrollo de la curva de la calidad del agua expresado con el ICA, hasta antes de este sector de punto de muestreo, sus valores son ligeramente superior al valor de ECA con una calidad de REGULAR, debido a que no existe vertimientos de las aguas servidas domésticas, resultando esta calidad de MALA en el periodo de estiaje por la disminución del caudal en el que aumenta la concentración de los contaminantes.

Tabla 16. El ICA Transversal después del vertimiento Jangas.

Muestras	Punto de Muestreo	Fecha	Hora	ICAg (%)	ECA (%)
M1	Después del Vertimiento Jangas-Huaraz	21/11/2012	07:30	54.5	51.00
M2	Después del Vertimiento Jangas-Huaraz	1/02/2013	12:55	58.2	51.00
M3	Después del Vertimiento Jangas-Huaraz	4/04/2013	17:41	56.8	51.00
M4	Después del Vertimiento Jangas-Huaraz	8/05/2013	13:38	52.9	51.00
M5	Después del Vertimiento Jangas-Huaraz	17/07/2013	13:40	49.8	51.00
M6	Después del Vertimiento Jangas-Huaraz	16/10/2013	11:20	52.7	51.00

Muestras	Parámetros							
	Caudal (m3/s)	pH	Solidos Totales (mg/l)	Temperatura (°C)	Nitratos (mg/l)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100 ml)
M1	39.38	7.72	132	16.8	< 1.0	2	5.25	2.40E+07
M2	70.71	7.71	14	9.9	< 1.0	2	5.63	2.40E+04
M3	67.91	7.75	198	17.3	< 1.0	2	5.79	4.60E+07
M4	27.91	6.93	131	17.1	< 1.0	5	5.96	1.50E+06
M5	10.37	7.4	182	18.2	< 1.0	5	5.75	9.30E+04
M6	24.16	7.16	288	17	< 1.0	4	6.19	1.10E+06

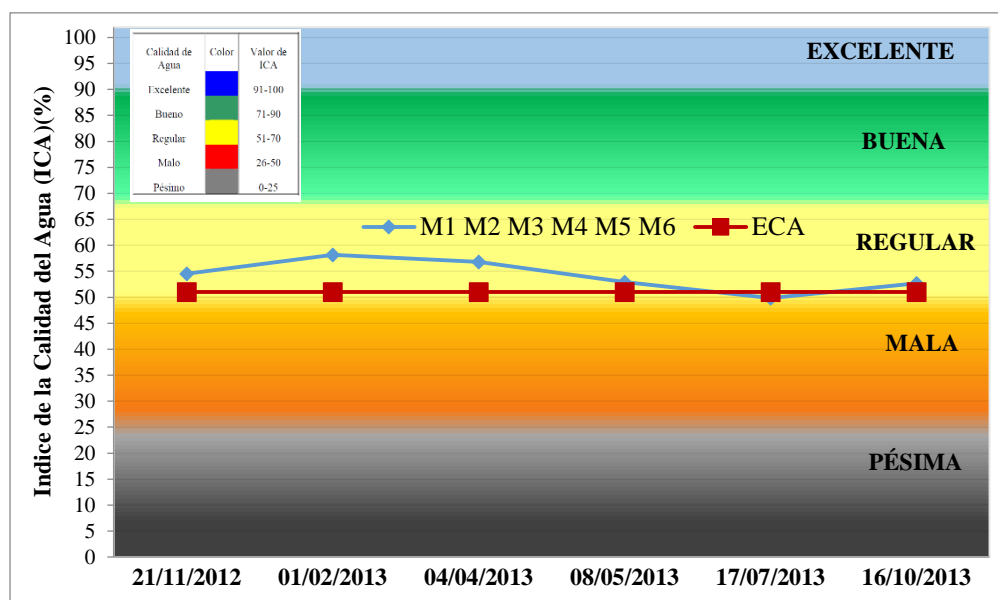


Figura 20. Comportamiento del ICA (%) después del vertimiento Jangas.

El comportamiento del desarrollo de la curva de la calidad del agua expresado con el ICA, hasta antes de este sector de punto de muestreo, sus valores son ligeramente superior al valor de ECA con una calidad de REGULAR, pero en el periodo de estiaje esta calidad es disminuida ligeramente por la reducción del caudal del río Santa y la existencia del vertimiento de las aguas servidas domésticas de la localidad de Jangas.

4.1.3 Resultados del ICA longitudinal por fechas a lo largo de todos los puntos de muestreo

Los resultados Tabla 17 del ICA longitudinal, de cada uno de las seis (6) fechas de muestreo del año hidrológico en los diez (10) puntos considerados, se presenta los análisis del comportamiento longitudinal y el ICA del ECA como efecto comparativo, dichos resultados se presentan en las Tablas del 18 al 22 y su comportamiento longitudinal en las Figuras del 21 al 26 respectivamente.

Tabla 17. Resultados del ICA longitudinal y ECA, de los puntos de muestreo del río Santa

Meses	Puntos	Descripción	Fecha de muestreo	Hora muestreo	Caudal (m ³ /s)	pH	Sólidos totales (mg/l)	Temperatura (°C)	Nitratos (mg/l)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Coliformes fecales o termotolerantes (mg/L)	ICA (%)	ECA (%)
Nov-Dic	M1	Puente Quechcap	16/11/2012	05:40	26.97	7.51	305.00	17.00	<1.0	2.00	5.07	4.60E+04	54.55	51.0
	M2	Antes del Río Quillcay	16/11/2012	06:45	27.31	7.17	498.00	17.80	<1.0	3.00	4.72	2.40E+06	48.32	51.0
	M3	Antes del Río Casca	16/11/2012	07:40	34.86	7.07	281.00	17.90	<1.0	4.00	4.29	1.10E+08	56.05	51.0
	M4	Después del Río Casca	21/11/2012	05:40	36.04	7.14	118.00	17.10	<1.0	3.00	4.61	4.60E+07	54.08	51.0
	M5	Antes del Río Monterrey	16/11/2012	09:40	36.05	7.07	210.00	17.70	<1.0	3.00	4.37	4.60E+05	52.63	51.0
	M6	Antes del Río Chavín	16/11/2012	09:42	36.32	7.35	72.00	17.80	<1.0	19.00	5.28	2.40E+03	54.88	51.0
	M7	Después del Río Chavín	16/11/2012	09:50	36.96	7.11	247.00	18.10	<1.0	3.00	4.15	2.40E+05	52.10	51.0
	M8	Después del Río Ishinka	21/11/2012	06:30	39.38	7.51	142.00	16.70	<1.0	3.00	4.77	1.10E+08	54.53	51.0
	M9	Antes del Vertimiento Jangas	21/11/2012	07:05	39.38	7.51	134.00	16.80	<1.0	2.00	5.28	4.60E+06	57.20	51.0
	M10	Después del Vertimiento Jangas	21/11/2012	07:30	39.38	7.72	132.00	16.80	<1.0	2.00	5.25	2.40E+07	56.82	51.0
Ene-Feb	M1	Puente Quechcap	30/01/2013	13:05	53.84	7.52	139.00	17.90	<1.0	<1	6.52	2.40E+03	66.4	51.0
	M2	Antes del Río Quillcay	30/01/2013	14:05	53.90	7.17	128.00	18.00	<1.0	2.00	4.14	4.30E+05	55.7	51.0
	M3	Antes del Río Casca	30/01/2013	15:20	65.06	7.09	106.00	18.10	<1.0	1.00	4.91	2.40E+06	59.6	51.0
	M4	Después del Río Casca	30/01/2013	15:42	66.51	7.48	109.00	17.90	<1.0	2.00	4.41	2.40E+05	57.1	51.0
	M5	Antes del Río Monterrey	30/01/2013	16:17	66.52	7.24	101.00	18.20	<1.0	2.00	4.82	2.40E+05	58.1	51.0
	M6	Antes del Río Chavín	30/01/2013	16:45	66.82	7.39	113.00	17.80	<1.0	2.00	4.45	1.50E+07	57.2	51.0
	M7	Después del Río Chavín	30/01/2013	17:00	67.57	7.35	107.00	18.00	<1.0	2.00	4.66	4.60E+06	57.8	51.0
	M8	Después del Río Ishinka	01/02/2013	13:25	70.71	7.54	119.00	9.80	<1.0	2.00	6.07	4.60E+04	60.3	51.0
	M9	Antes del Vertimiento Jangas	01/02/2013	13:05	70.71	7.52	159.00	9.80	<1.0	2.00	6.28	1.10E+05	59.9	51.0
	M10	Después del Vertimiento Jangas	01/02/2013	12:55	70.71	7.71	14.00	9.90	<1.0	2.00	5.63	2.40E+04	60.3	51.0
Mar-Abr	M1	Puente Quechcap	04/04/2013	16:41	52.83	7.57	206.00	18.20	<1.0	1.00	7.35	1.10E+05	63.8	51.0
	M2	Antes del Río Quillcay	04/04/2013	17:20	53.16	7.14	345.00	18.30	<1.0	1.00	6.51	4.60E+06	60.8	51.0
	M3	Antes del Río Casca	04/04/2013	18:05	63.24	7.01	1029.00	18.40	<1.0	1.00	5.12	1.10E+08	56.3	51.0
	M4	Después del Río Casca	04/04/2013	18:42	64.42	7.08	1605.00	18.40	<1.0	4.00	4.80	1.10E+08	51.6	51.0
	M5	Antes del Río Monterrey	04/04/2013	19:10	64.43	7.66	1169.00	18.40	<1.0	2.00	5.37	4.60E+03	57.1	51.0
	M6	Antes del Río Chavín	04/04/2013	19:30	64.65	6.88	1269.00	18.90	<1.0	1.00	4.76	4.60E+03	56.8	51.0
	M7	Después del Río Chavín	04/04/2013	14:50	65.24	7.70	227.00	18.30	<1.0	3.00	6.32	4.60E+05	59.0	51.0
	M8	Después del Río Ishinka	04/04/2013	14:18	67.91	7.67	184.00	18.30	<1.0	<1	6.09	1.10E+08	63.5	51.0
	M9	Antes del Vertimiento Jangas	04/04/2013	13:25	67.91	7.90	197.00	17.20	<1.0	2.00	5.91	1.10E+07	58.9	51.0
	M10	Después del Vertimiento Jangas	04/04/2013	17:41	67.91	7.75	198.00	17.30	<1.0	2.00	5.79	4.60E+07	59.0	51.0
May-Jun	M1	Puente Quechcap	10/05/2013	12:10	19.35	7.68	104.00	18.10	<1.0	1.00	6.11	2.40E+04	59.6	51.0
	M2	Antes del Río Quillcay	10/05/2013	09:00	19.35	6.88	104.00	18.20	<1.0	3.00	3.70	4.60E+06	50.0	51.0
	M3	Antes del Río Casca	10/05/2013	08:40	26.01	7.15	107.00	19.10	<1.0	3.00	4.01	1.10E+08	52.2	51.0
	M4	Después del Río Casca	10/05/2013	08:20	26.46	7.20	79.00	18.90	<1.0	5.00	3.79	4.60E+06	49.5	51.0
	M5	Antes del Río Monterrey	10/05/2013	07:23	26.46	7.72	131.00	19.00	<1.0	2.00	6.16	2.40E+04	56.6	51.0
	M6	Antes del Río Chavín	10/05/2013	07:15	26.52	7.57	112.00	18.60	<1.0	17.00	6.15	2.40E+05	56.1	51.0
	M7	Después del Río Chavín	10/05/2013	06:40	26.71	7.46	114.00	19.30	<1.0	3.00	6.19	4.60E+05	57.8	51.0
	M8	Después del Río Ishinka	10/05/2013	06:30	27.91	7.48	96.00	19.40	<1.0	3.00	5.92	4.60E+06	57.3	51.0
	M9	Antes del Vertimiento Jangas	08/05/2013	14:00	27.91	7.14	159.00	17.00	<1.0	59.00	5.58	9.30E+05	53.0	51.0
	M10	Después del Vertimiento Jangas	08/05/2013	13:38	27.91	6.93	131.00	17.10	<1.0	40.00	5.96	1.50E+06	53.7	51.0
Jul-Agosto	M1	Puente Quechcap	18/07/2013	11:50	5.92	7.70	251.00	16.00	<1.0	1.00	6.08	2.40E+04	54.2	51.0
	M2	Antes del Río Quillcay	18/07/2013	10:05	6.21	6.17	129.00	16.60	<1.0	1.00	6.57	9.30E+05	44.5	51.0
	M3	Antes del Río Casca	18/07/2013	09:20	10.20	7.08	143.00	15.80	<1.0	5.00	4.37	1.10E+07	47.0	51.0
	M4	Después del Río Casca	18/07/2013	09:10	10.31	7.01	195.00	15.80	1.63	5.00	4.19	4.60E+06	44.8	51.0
	M5	Antes del Río Monterrey	18/07/2013	08:25	10.31	7.11	192.00	16.10	<1.0	2.00	6.20	4.60E+04	49.0	51.0
	M6	Antes del Río Chavín	18/07/2013	08:10	10.33	7.25	197.00	16.20	3.20	20.00	6.59	2.40E+05	49.7	51.0
	M7	Después del Río Chavín	18/07/2013	07:50	10.37	7.32	200.00	16.40	<1.0	5.00	6.78	4.60E+05	52.4	51.0
	M8	Después del Río Ishinka	18/07/2013	07:10	10.37	7.31	104.00	16.50	1.93	4.00	6.85	4.60E+06	53.1	51.0
	M9	Antes del Vertimiento Jangas	17/07/2013	14:00	10.37	7.33	181.00	18.10	<1.0	5.00	5.89	2.40E+04	51.7	51.0
	M10	Después del Vertimiento Jangas	17/07/2013	13:40	10.37	7.40	182.00	18.20	<1.0	5.00	5.75	9.30E+04	50.7	51.0
Set-Oct	M1	Puente Quechcap	02/10/2013	14:00	14.70	7.56	226.00	17.00	<1.0	2.00	6.28	2.30E+03	57.7	51.0
	M2	Antes del Río Quillcay	02/10/2013	16:00	14.76	6.72	209.00	17.20	<1.0	4.00	4.02	1.10E+06	48.2	51.0
	M3	Antes del Río Casca	16/10/2013	15:00	20.84	7.21	226.00	16.60	<1.0	3.00	5.94	2.40E+06	49.2	51.0
	M4	Después del Río Casca	16/10/2013	14:45	21.70	7.25	180.00	16.30	<1.0	5.00	5.58	9.30E+05	51.9	51.0
	M5	Antes del Río Monterrey	16/10/2013	14:20	21.70	7.39	243.00	16.80	1.23	6.00	5.81	1.10E+06	53.0	51.0
	M6	Antes del Río Chavín	16/10/2013	13:40	21.90	7.26	277.00	16.90	<1.0	5.00	5.88	2.40E+05	52.0	51.0
	M7	Después del Río Chavín	16/10/2013	13:00	22.36	7.30	305.00	16.90	<1.0	5.00	6.12	1.10E+06	52.4	51.0
	M8	Después del Río Ishinka	16/10/2013	12:00	24.16	7.42	266.00	17.00	<1.0	3.00	6.15	1.10E+06	55.4	51.0
	M9	Antes del Vertimiento Jangas	16/10/2013	11:45	24.16	7.40	293.00	17.20	<1.0	5.00	5.97	2.40E+05	52.5	51.0
	M10	Después del Vertimiento Jangas	16/10/2013	11:20	24.16	7.16	288.00	17.00	<1.0	16.00	6.19	1.10E+06	53.9	51.0

Tabla 18. El ICA Longitudinal de la fecha 30/01/2013

Muestras	Punto de Muestreo	Parámetros								ICA (%)	ECA (%)
		Caudal (m3/s)	pH	SST (mg/l)	T(°c)	Nit (mg/l)	DBO5 (mg/l)	OD (mg/l)	CF (NMP/100ml)		
M1	Puente Quechcap	53.84	7.52	139	17.9	< 1.0	< 1	6.52	2.40e+03	66.43	51.00
M2	Antes del río Quillcay	53.90	7.17	128	18	< 1.0	2	4.14	4.30e+05	55.74	51.00
M3	Antes del río Casca	65.06	7.09	106	18.1	< 1.0	1	4.91	2.40e+06	59.60	51.00
M4	Después del río Casca	66.51	7.48	109	17.9	< 1.0	2	4.41	2.40e+05	57.08	51.00
M5	Antes del río Monterrey	66.52	7.24	101	18.2	< 1.0	2	4.82	2.40e+05	58.13	51.00
M6	Antes del río Chavín	66.82	7.39	113	17.8	< 1.0	2	4.45	1.50e+07	57.20	51.00
M7	Después del río Chavín	67.57	7.35	107	18	< 1.0	2	4.66	4.60e+06	57.78	51.00
M8	Después del río Ishinka	70.71	7.54	119	9.8	< 1.0	2	6.07	4.60e+04	60.31	51.00
M9	Antes del vertimiento Jangas	70.71	7.52	159	9.8	< 1.0	2	6.28	1.10e+05	59.93	51.00
M10	Después del vertimiento Jangas	70.71	7.71	14	9.9	< 1.0	2	5.63	2.40e+04	60.32	51.00

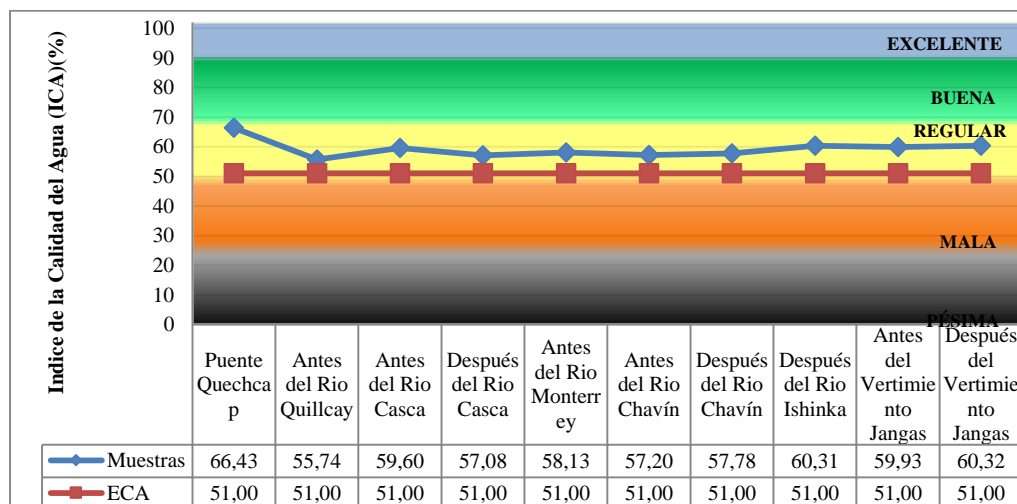


Figura 21. El ICA longitudinal del ICA (%) para la fecha 30/01/2013

Tabla 19. El ICA Longitudinal de la fecha 04/04/2013

Muestras	Punto de Muestreo	Parámetros								ICAg (%)	ECA (%)
		Caudal (m3/s)	pH	SST (mg/l)	T (°C)	N (mg/l)	DBO5 (mg/l)	OD (mg/l)	CF NMP/100ml		
M1	Puente Quechcap	53.84	7.52	139	17.9	< 1.0	< 1	6.52	2.40E+03	66.43	51.00
M2	Antes del Rio Quillcay	53.90	7.17	128	18	< 1.0	2	4.14	4.30E+05	55.74	51.00
M3	Antes del Rio Casca	65.06	7.09	106	18.1	< 1.0	1	4.91	2.40E+06	59.60	51.00
M4	Después del Rio Casca	66.51	7.48	109	17.9	< 1.0	2	4.41	2.40E+05	57.08	51.00
M5	Antes del Rio Monterrey	66.52	7.24	101	18.2	< 1.0	2	4.82	2.40E+05	58.13	51.00
M6	Antes del Rio Chavín	66.82	7.39	113	17.8	< 1.0	2	4.45	1.50E+07	57.20	51.00
M7	Después del Rio Chavín	67.57	7.35	107	18	< 1.0	2	4.66	4.60E+06	57.78	51.00
M8	Después del Rio Ishinka	70.71	7.54	119	9.8	< 1.0	2	6.07	4.60E+04	60.31	51.00
M9	Antes del Vertimiento Jangas	70.71	7.52	159	9.8	< 1.0	2	6.28	1.10E+05	59.93	51.00
M10	Después del Vertimiento Jangas	70.71	7.71	14	9.9	< 1.0	2	5.63	2.40E+04	60.32	51.00

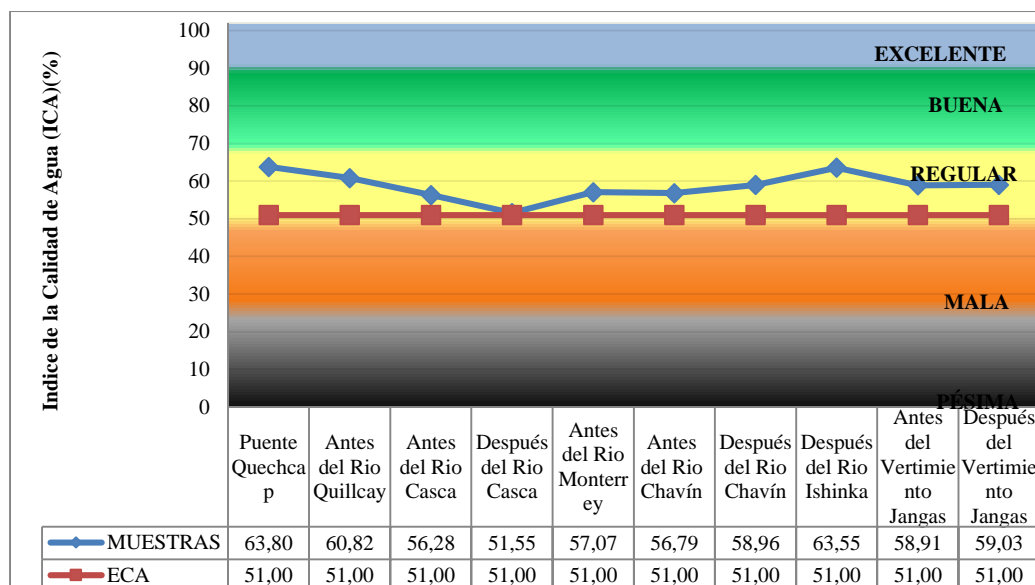


Figura 22. El ICA longitudinal (%) para la fecha 04/04/2013

Tabla 20. El ICA Longitudinal de la fecha 10/05/2013

Muestras	Punto de Muestreo	Parámetros								ICA (%)	ECA (%)
		Caudal (m3/s)	pH	SST (mg/l)	T (°C)	N (mg/l)	DBO5 (mg/l)	OD (mg/l)	CF NMP/100ml		
M1	Puente Quechcap	19.35	7.68	104.00	18.10	< 1.0	1.00	6.11	2.40E+04	59.62	51.00
M2	Antes del Rio Quillcay	19.35	6.88	104.00	18.20	< 1.0	3.00	3.70	4.60E+06	49.95	51.00
M3	Antes del Rio Casca	26.01	7.15	107.00	19.10	< 1.0	3.00	4.01	1.10E+08	52.21	51.00
M4	Después del Rio Casca	26.46	7.20	79.00	18.90	< 1.0	5.00	3.79	4.60E+06	49.52	51.00
M5	Antes del Rio Monterrey	26.46	7.72	131.00	19.00	< 1.0	2.00	6.16	2.40E+04	56.58	51.00
M6	Antes del Rio Chavín	26.52	7.57	112.00	18.60	< 1.0	17.00	6.15	2.40E+05	56.10	51.00
M7	Después del Rio Chavín	26.71	7.46	114.00	19.30	< 1.0	3.00	6.19	4.60E+05	57.75	51.00
M8	Después del Rio Ishinka	27.91	7.48	96.00	19.40	< 1.0	3.00	5.92	4.60E+06	57.27	51.00
M9	Antes del Vertimiento Jangas	27.91	7.14	159.00	17.00	< 1.0	59.00	5.58	9.30E+05	52.95	51.00
M10	Después del Vertimiento Jangas	27.91	6.93	131.00	17.10	< 1.0	40.00	5.96	1.50E+06	53.74	51.00

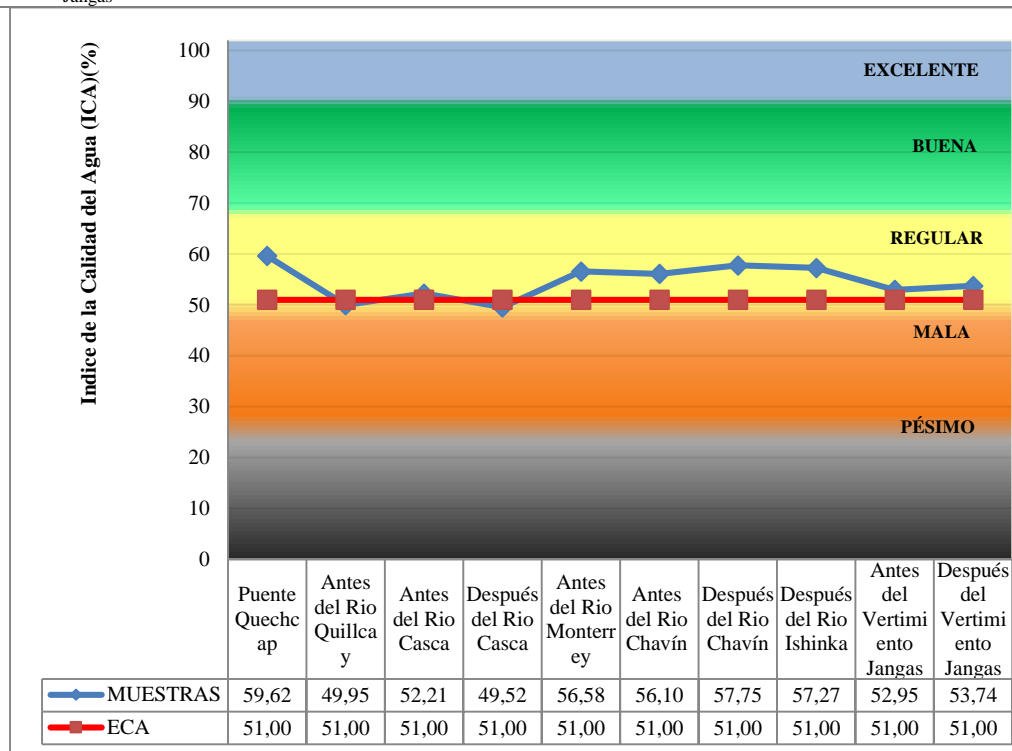


Figura 23. El ICA longitudinal del ICA (%) para la fecha 10/05/2013

Tabla 21. El ICA Longitudinal de la fecha 18/07/2013

Muestras	Punto de Muestreo	Parámetros								ICA (%)	ECA (%)
		Caudal (m3/s)	pH	SST (mg/l)	T (°C)	N (mg/l)	DBO5 (mg/l)	OD (mg/l)	CF NMP/100ml		
M1	Puente Quechcap	5.92	7.7	251	16	< 1.0	1	6.08	2.40E+04	54.24	51.00
M2	Antes del Rio Quillcay	6.209439	6.17	129	16.6	< 1.0	1	6.57	9.30E+05	44.46	51.00
M3	Antes del Rio Casca	10.20123721	7.08	143	15.8	< 1.0	5	4.37	1.10E+07	47.05	51.00
M4	Después del Rio Casca	10.31123721	7.01	195	15.8	1.63	5	4.19	4.60E+06	44.77	51.00
M5	Antes del Rio Monterrey	10.31123721	7.11	192	16.1	< 1.0	2	6.2	4.60E+04	48.99	51.00
M6	Antes del Rio Chavín	10.32657721	7.25	197	16.2	3.2	20	6.59	2.40E+05	49.71	51.00
M7	Después del Rio Chavín	10.36657721	7.32	200	16.4	< 1.0	5	6.78	4.60E+05	52.36	51.00
M8	Después del Rio Ishinka	10.36657721	7.31	104	16.5	1.93	4	6.85	4.60E+06	53.09	51.00
M9	Antes del Vertimiento Jangas	10.36657721	7.33	181	18.1	< 1.0	5	5.89	2.40E+04	51.73	51.00
M10	Después del Vertimiento Jangas	10.36842945	7.4	182	18.2	< 1.0	5	5.75	9.30E+04	50.67	51.00

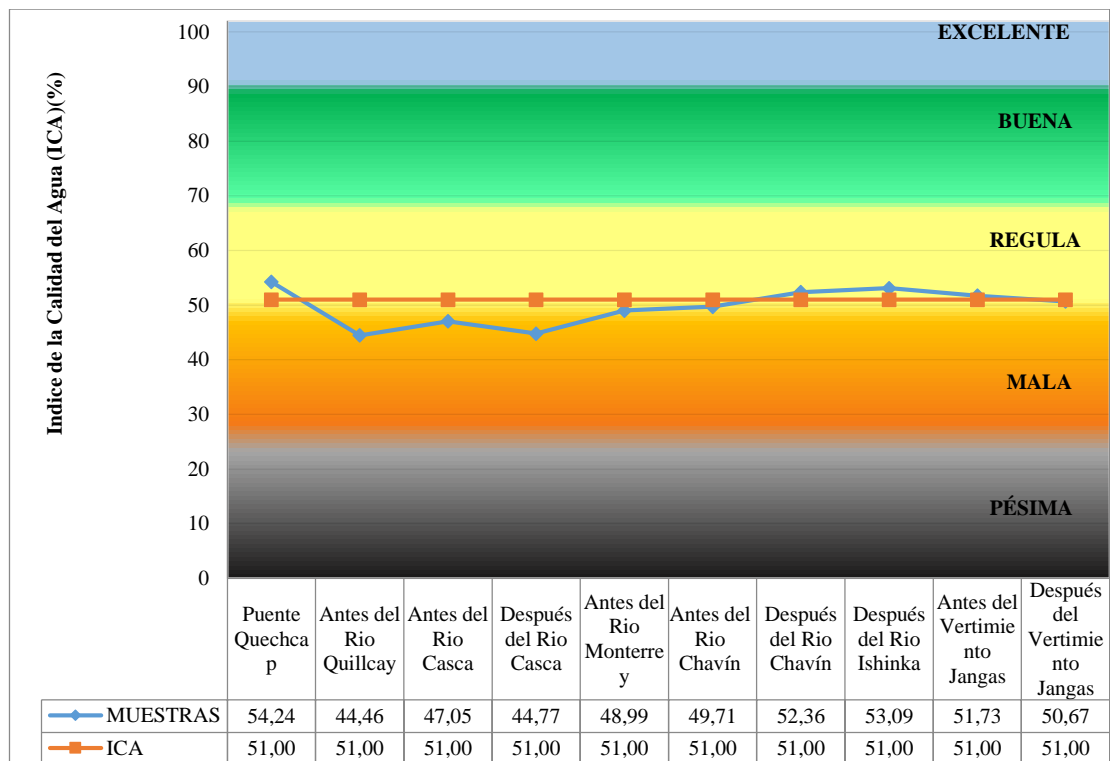


Figura 24. El ICA longitudinal (%) para la fecha 18/07/2013

Tabla 22. El ICA Longitudinal de la fecha 02/10/2013

Muestras	Punto de Muestreo	Parámetros								ICA (%)	ECA (%)
		Caudal (m3/s)	pH	SST (mg/l)	T (°C)	N (mg/l)	DBO5 (mg/l)	OD (mg/l)	CF NMP/100ml		
M1	Puente Quechcap	14.70	7.56	226	17	< 1.0	2	6.28	2.30E+03	57.74	51.00
M2	Antes del Rio Quillcay	14.76	6.72	209	17.2	< 1.0	4	4.02	1.10E+06	48.24	51.00
M3	Antes del Rio Casca	20.84	7.21	226	16.6	< 1.0	3	5.94	2.40E+06	49.16	51.00
M4	Después del Rio Casca	21.70	7.25	180	16.3	< 1.0	5	5.58	9.30E+05	51.89	51.00
M5	Antes del Rio Monterrey	21.70	7.39	243	16.8	1.23	6	5.81	1.10E+06	53.00	51.00
M6	Antes del Rio Chavín	21.90	7.26	277	16.9	< 1.0	5	5.88	2.40E+05	52.02	51.00
M7	Después del Rio Chavín	22.36	7.3	305	16.9	< 1.0	5	6.12	1.10E+06	52.38	51.00
M8	Después del Rio Ishinka	24.16	7.42	266	17	< 1.0	3	6.15	1.10E+06	55.39	51.00
M9	Antes del Vertimiento Jangas	24.16	7.4	293	17.2	< 1.0	5	5.97	2.40E+05	52.47	51.00
M10	Después del Vertimiento Jangas	24.16	7.16	288	17	< 1.0	16	6.19	1.10E+06	53.94	51.00

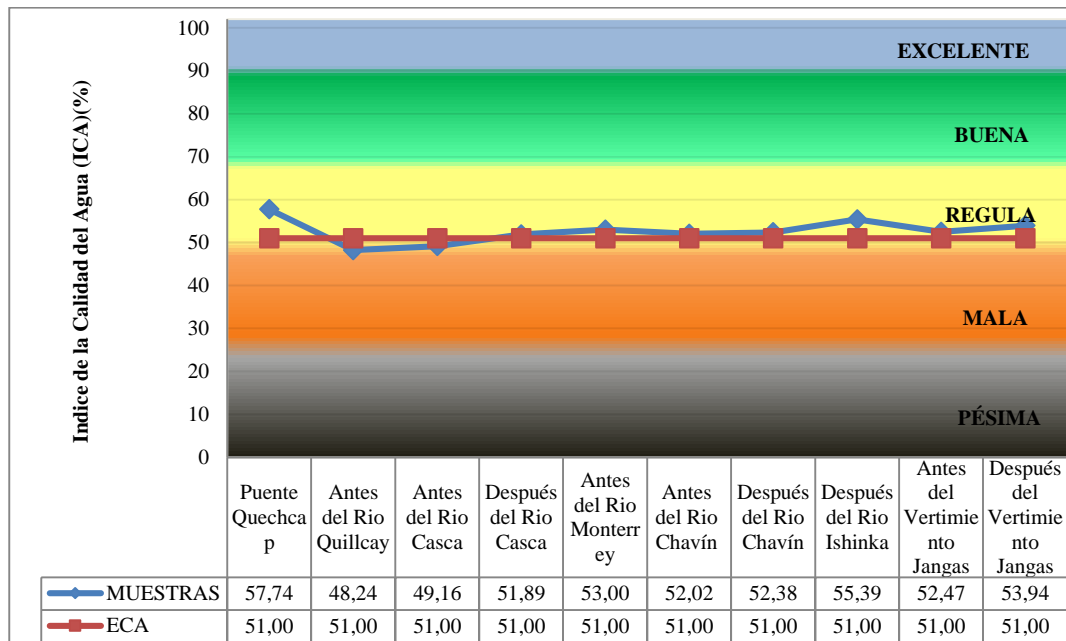


Figura 25. El ICA longitudinal (%) para la fecha 02/10/2013

Tabla 23. El ICA Longitudinal de la fecha 02/10/ 2013

Muestras	Punto de Muestreo	Parámetros								ICA (%)	ECA (%)
		Caudal (m3/s)	pH	SST (mg/l)	T (°C)	N (mg/l)	DBO5 (mg/l)	OD (mg/l)	CF NMP/100ml		
M1	Puente Quechcap	26.97	7.51	305	17	< 1.0	2	5.07	4.60E+04	54.55	51.00
M2	Antes del Rio Quillcay	27.31	7.17	498	17.8	< 1.0	3	4.72	2.40E+06	48.32	51.00
M3	Antes del Rio Casca	34.86	7.07	281	17.9	< 1.0	4	4.29	1.10E+08	56.05	51.00
M4	Después del Rio Casca	36.04	7.14	118	17.1	< 1.0	3	4.61	4.60E+07	54.08	51.00
M5	Antes del Rio Monterrey	36.05	7.07	210	17.7	< 1.0	3	4.37	4.60E+05	52.63	51.00
M6	Antes del Rio Chavín	36.32	7.35	72	17.8	< 1.0	19	5.28	2.40E+03	54.88	51.00
M7	Después del Rio Chavín	36.96	7.11	247	18.1	< 1.0	3	4.15	2.40E+05	52.10	51.00
M8	Después del Rio Ishinka	39.38	7.51	142	16.7	< 1.0	3	4.77	1.10E+08	54.53	51.00
M9	Antes del Vertimiento Jangas	39.38	7.51	134	16.8	< 1.0	2	5.28	4.60E+06	57.20	51.00
M10	Después del Vertimiento Jangas	39.38	7.72	132	16.8	< 1.0	2	5.25	2.40E+07	56.82	51.00

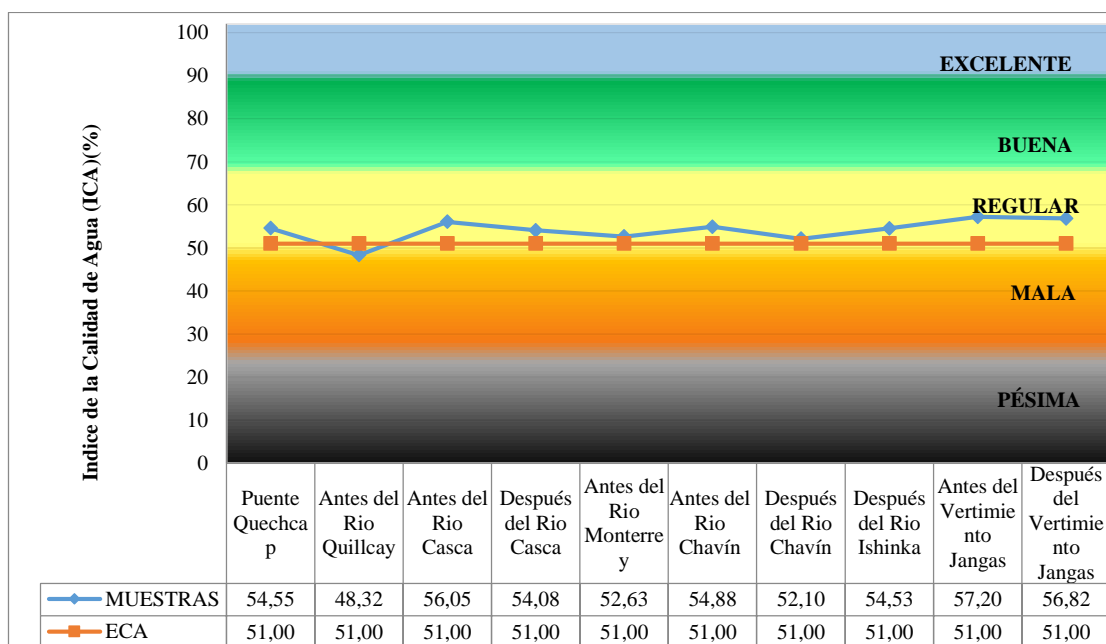


Figura 26. El ICA longitudinal (%) para la fecha 16/11/2013

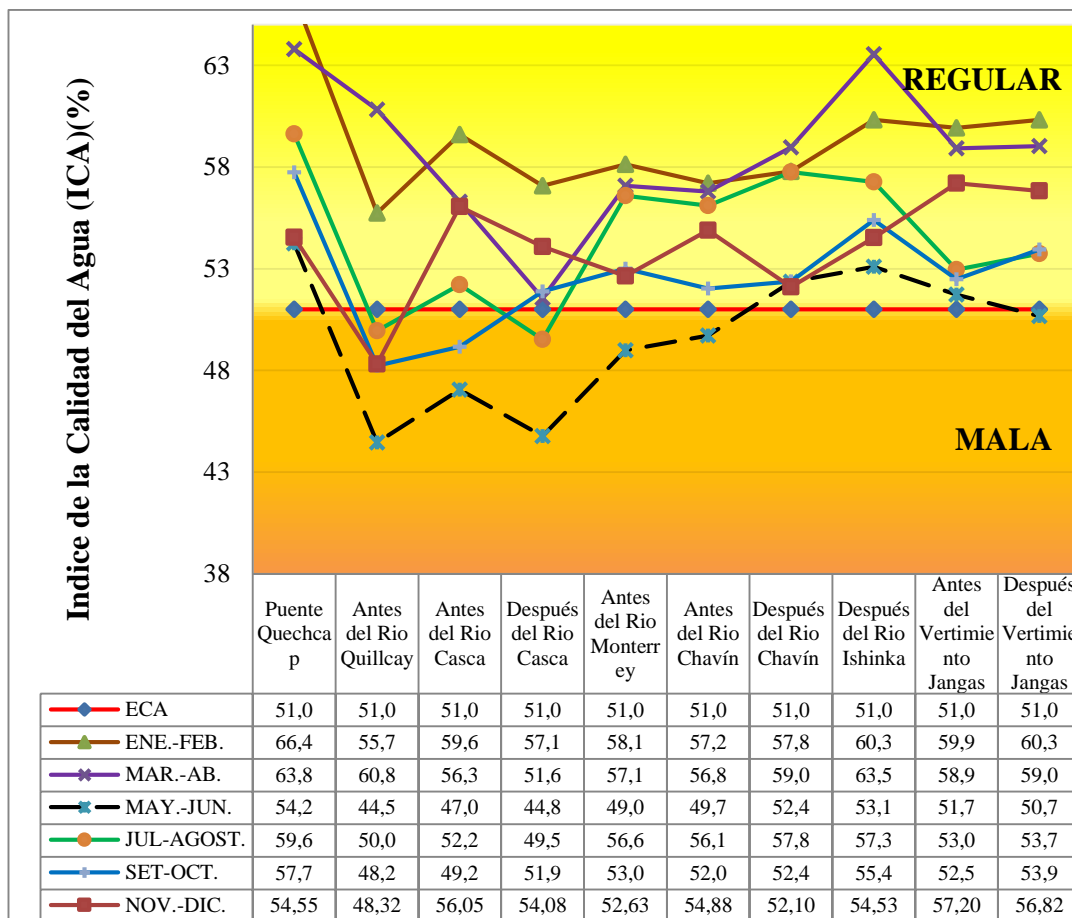


Figura 27. Comportamiento de los ICA longitudinal (%) para las 06 fechas de muestreo.

El desarrollo del valor del ICA, longitudinal a lo largo de los puntos de muestreo realizado para cada fecha, se muestra que desde el primer punto de muestreo Puente Quechcap en toda la jurisdicción de la ciudad de Huaraz - Jangas, para el período de estiaje la calidad del agua del río Santa es MALA (clasificación propuesta por Brown, Figura 2) y se encuentra por debajo del valor de ECA, siendo a partir del punto de muestreo del río Chavín, ya no existen vertimientos de las aguas servidas y con el efecto de autopurificación las aguas mejoran su calidad hasta el último punto de muestreo. Asimismo, con los resultados para los periodos de avenidas y los próximos a éste se muestran a lo largo del río la calidad de Regular y sobre el valor del ECA.

4.1.4 Modelo Matemático del ICA

El resultado del modelo matemático del ICA, obtenido de las características fisicoquímicos y bacteriológicos de la calidad del agua, con los análisis estadísticos realizado mediante la aplicación con el *Software Econometric E-Views 7.0*, se presenta en las Tablas 24 y el resultado de la ecuación del modelo del ICA representado en la fórmula (8)

Tabla 24. Modelo matemático del ICA.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	5.490996	12.44692	0.441153	0.6610
CF	-1.18E-09	4.42E-09	-0.266242	0.7911
DBO ₅	-0.628738	0.227457	-2.764204	0.0079
OD	1.978428	0.365405	5.414338	0.0000
pH	4.262958	1.711437	2.490865	0.0160
ST	-0.002588	0.000807	-3.206844	0.0023
NITR	-1.003616	0.327330	-3.066069	0.0035
Q	0.099253	0.014696	6.753740	0.0000
T	0.315673	0.090992	3.469230	0.0011
R-squared	0.870532	Mean dependent var	52.89929	
Adjusted R-squared	0.850223	S.D. dependent var	4.240205	
S.E. of regression	1.641005	Akaike info criterion	3.965975	
Sum squared resid	137.3377	Schwarz criterion	4.280127	
Log likelihood	-109.9793	Hannan-Quinn criter.	4.088857	
F-statistic	42.86479	Durbin-Watson stat	2.289453	
Prob(F-statistic)	0.000000			

La ecuación del modelo matemático ICA según la fórmula (7), con los resultados de los 8 parámetros de las características de la calidad del agua de la Tabla 5 y se expresa con la siguiente ecuación (8).

$$\text{ICA} = 5.49 - 1.18\text{E-}09 \text{ CF} - 0.629 \text{ DBO}_5 + 1.978 \text{ OD} + 4.263 \text{ pH} \\ - 0.003 \text{ ST} - 1.004 \text{ NITR} + 0.07 \text{ Q} + 0.316 \text{ T} \quad \dots \quad (8)$$

4.2 Contrastación de la hipótesis

H_0 : = 0; Ningún parámetro físico, químico y biológico influyen en el ICA

H_a : $\neq 0$; Al menos algún parámetro físico, químico y Biológico, influyen en el ICA, $P < 5\%$, por lo que se acepta la Hipótesis Alternante (H_a).

La Probabilidad $P < 5\%$, explica el comportamiento de la variable explicativa en forma individual, es necesario indicar que el CF, es ligeramente mayor a 5% en forma individual, por lo tanto se acepta la Hipótesis alternante (H_a).

Hipótesis grupal

H_0 : $K_0 = K_1 = 0$, todas las variables no son significativas.

H_a : $K_0 \neq K_1 \neq 0$, todas las variables son significativas.

Para contrastar la hipótesis, se realizó la prueba F *statistic*:

$F < 0,05$: Acepto H_a

La Probabilidad (F-estadístico) $F_{est.} < 5\%$, explica el comportamiento de la variable explicativa en forma grupal de los parámetros: CF, DBO, OD, pH, ST y Q, influyen en el índice Calidad del Agua - ICA, por lo tanto se acepta la Hipótesis alternante (H_a).

V. DISCUSIÓN

5.1. Resultados del ICA transversal por puntos de muestreo a lo largo del periodo del año hidrológico.

De los muestreos realizados en un total de 10 puntos a lo largo de la influencia del vertimiento al río Santa, habiéndose considerado como partida un punto de muestreo M1 Puente Quechcap, antes del vertimiento de las aguas servidas de la ciudad de Huaraz, se ha realizado una evaluación del efecto generado y la determinación del grado de la contaminación del río Santa en términos del ICA y expresado en porcentajes, según los rangos establecidos por Brown (Figura 2), para los periodos de evaluación durante el año hidrológico 2012-2013 (agosto 2012 – Setiembre 2013), se tiene como resultado, valores del ICA críticos que tienen más incidencia durante los períodos de estiaje, para el caudal del río Santa muy bajo (5.92 m³/seg.) y de acuerdo a los valores mostrados en las tablas del 7 al 16 y el desarrollo de su comportamiento de las Figuras de 11 a 20, se puede observar que los valores de ICA transversal, desde el punto inicial de muestreo “Puente Quechcap” hasta “Después del vertimiento Jangas”, el nivel de contaminación es acentuada y por lo que el valor del ICA se encuentran por debajo del valor del ICA del ECA normativo para la conservación ambiental acuático, con la estandarización de MALO. Para los periodos de influencia de las avenidas, los valores del ICA se mejoran y están ligeramente sobre el ICA del ECA (51 %) normativo, teniendo más efecto para reducir el valor del ICA en las zonas de mayor vertimiento de la zona de Huaraz.

5.2. Resultados del ICA longitudinal por fechas a lo largo de todos los puntos de muestreo

Se realizó el análisis de los resultados del ICA en forma longitudinal, considerando para este efecto sólo por fechas a lo largo de todos los puntos de muestreo, los valores del ICA longitudinal presentados con la información de la Tabla 6 y procesados por cada una de las seis (6) fechas de muestreo del año hidrológico 2012-2013, representados en las Tablas del 18 al 22 y su desarrollo del comportamiento esquematizado en las Figuras del 21 al 26, se observas que el ICA para los períodos de influencia de las avenidas, los valores se encuentran sobre el ICA del ECA normativo (Figuras del 21 al 23), debido a que en este período, el caudal del río Santa aumenta muy considerablemente, donde la concentración disminuye de las características fisicoquímicas y bacteriológicas de las aguas servidas domésticas vertidas y sus valores superan el ICA de 51% del ECA normativo y están dentro de la escala de Calidad de Brown REGULAR (Figura 2). En el periodo de estiaje, el grado de contaminación del agua en base a la clasificación de la Brown (Figura 2), se observa, que después del vertimiento de las aguas servidas en ésta jurisdicción, la calidad del agua baja a la clasificación de MALA, hasta el valor del ICA de 44.46 %, que se encuentra por debajo del ICA del ECA normativo de 51% y el caudal crítico de estiaje de 10.31 m³/se., este comportamiento de la calidad del agua, se observa que a partir del punto de muestreo “Antes del río Chavín”, es mejorado hasta superar el ICA del ECA normativo (51%) Figura 24, que corresponde a la clasificación de REGULAR (Brown Figura 2), este hecho se debe a que a partir de este punto de muestreo no existen vertimientos de aguas servidas hasta el punto de muestreo “Antes

del vertimiento Jangas” y además se muestra a que el río obtiene su autopurificación como efecto de la incorporación del Oxígeno del ambiente por el tipo de flujo turbulento, el proceso fotosintético y la degradación de la carga orgánica por los microorganismos presente en el agua del río.

La calidad ambiental del agua del río. El ICA (%) obtenidos del período de estiaje, desde el primer punto de muestreo, las zonas de vertimientos hasta el final fueron: 51.5, 42.7 y 49.8% respectivamente, con el ICA en la zona de los vertimientos de calidad Mala por debajo del valor del del ECA normativo de 51% y del período de avenidas de: 63.8, 63.55 y 58.91% respectivamente, que corresponde a la clasificación de calidad Regular.

5.3. Análisis e interpretación del modelo de ICA.

5.3.1. Modelo del ICA, de acuerdo al análisis realizado con la interacción de los 08 parámetros fisicoquímico, bacteriológicos y el caudal del río Santa, se determinó la ecuación del modelo matemático de regresión múltiple, mediante la aplicación del *software Econometric E-Viewn 7.0*, consistente en la ecuación de ICA1 y la interpretación de sus respectivos componentes del modelo con la incidencia de los parámetros analizados, como:

$$\text{ICA} = 5.49 - 1.18E-09 \text{ CF} - 0.629 \text{ DBO}_5 + 1.978 \text{ OD} + 4.263 \text{ pH} - 0.003 \text{ ST} - 1.004 \text{ NITR} + 0.099 \text{ Q} + 0.316 \text{ T}.$$

El modelo ICA: determinado por las variables Coliformes Fecales (CF), Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO), Oxígeno Disuelto (OD), pH, Sólidos Totales (ST), Nitratos (NITR), Caudal (Q) y Temperatura

(T). La correlación lineal $R^2 = 0.8705 = 87.05\%$, indica que la variable independiente (características fisicoquímicas), explican en 87.05% a la dependiente (ICA).

La probabilidad individual indica que sólo la variable CF no es significativa al 5%, pero al nivel grupal todas son significativas (probabilidad F menor a 0.05).

Interpretación de la variación de los coeficientes del modelo matemático ICA de la fórmula (8).

C: Manteniendo el resto de variables constantes o cero, el ICA promedio es 5.49.

CF: Ante un incremento de 1 del logaritmo del Número Más Probable (NMP) de los Coliformes Fecales, el ICA se reduce en 1.18 E-09%

DBO: Ante un incremento de 1 unidad de mg en un litro, la Demanda Bioquímica de Oxígeno, el ICA disminuye en 0.629%.

OD: Ante un incremento de 1 mg en un litro de Oxígeno Disuelto, el ICA aumenta 1.978%.

pH: Ante un incremento de 1 unidad de pH, el ICA se reduce en 4.263%.

ST: Ante un incremento de 1 mg en un litro de Sólidos totales, el ICA se reduce en 0.003%.

NITR: Ante un incremento de 1 mg en un litro de NO_3 , el ICA disminuye en 1.004%.

- Q:** Ante un incremento de 1 m³ de caudal del río Santa, el ICA aumenta en 0.099%.
- T:** Ante un incremento de 1°C de Temperatura de las aguas del río Santa, el ICA aumenta en 0.136%.

VI. CONCLUSIONES

Las conclusiones en los que se han definido del presente estudio son:

- El grado de relación de las características fisicoquímicos y bacteriológicos del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas en el sector de Huaraz -Jangas: Coliformes Fecales (CF), Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO), Oxígeno Disuelto (OD), pH, Sólidos Totales (ST), Nitratos (NITR) y Temperatura (T), tienen una directa relación con el Índice de Calidad del Agua (ICA) con respecto al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para la conservación del ambiente acuático, en el sector de Huaraz – Jangas, cuya incidencia de los valores del ICA están comprendidos desde 42.7 hasta 63.8 % para los puntos de muestreo realizados para el año hidrológico 2012 -2013.
- La evaluación mediante el ICA de la calidad del agua del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas del sector Huaraz – Jangas, calculado en base a las características fisicoquímicos y bacteriológicas con su caudal, se determina el grado del estado actual de su calidad ambiental, habiéndose obtenido los siguientes valores: para el período de estiaje, desde el primer punto de muestreo (Puente Quechcap), las zonas de vertimientos hasta el punto final (Después del Vertimiento Jangas), tienen el ICA de 51.5, 42.7 y 49.8% respectivamente, siendo en la zona de los vertimientos de calidad Mala, que se encuentra por debajo del valor del del ECA normativo para la conservación del ambiente acuático de 51% y en el período de avenidas de 63.8, 63.55 y 58.91% en los tramos considerados

respectivamente, corresponde a la clasificación de calidad Regular en aplicación de lo establecido por la Clasificación propuesta por Brown (Figura 2), encontrándose sobre el valor del ECA referido.

- El caudal del río Santa en estudio, tiene una estrecha relación con la calidad del agua, debido a que para el período de estiaje se registra valor mínimo de 6.17 m³/s tiene un ICA de 42.7%, con la clasificación propuestas por Brown de Mala (Figura 2), que es bajo respecto al ECA normativo para la conservación del ambiente acuático de 51% y para el periodo de avenidas, el caudal de 67.91 m³/s, tiene un ICA de 63.5% que corresponde a de acuerdo a la clasificación de la referencia de Regular.
- La interrelación de los parámetros analizados de la calidad del agua del río Santa, de los puntos de muestreo en el periodo del año hidrológico en estudio, el Modelo matemático del ICA determinado con el software *Econometric E-Viewn 7.0*, que cumple con las condiciones estadísticas del estudio y que servirá para determinar las condiciones futuras de su calidad, es:

$$\text{ICA} = 5.49 - 1.18E-09CF - 0.629DBO_5 + 1.978OD + 4.263pH - 0.003ST - 1.004NITR + 0.099Q + 0.316 T.$$

- Con la aplicación del ICA, se identifica el grado del estado actual de la calidad del agua del río Santa y la necesidad de someter el nivel de tratamiento necesario de los vertimientos de aguas servidas domésticas al cuerpo receptor, para lograr la calidad óptima dentro de los rangos establecidos mediante este método y los parámetros de ECA normativo para la conservación del ambiente acuático.

VII. RECOMENDACIONES

Las conclusiones en los que se han definido del presente estudio son:

- Se realice un análisis más detallado de los rangos de valores del ICA en periodos más incidentes a lo largo del Callejón de Huaylas, en donde se vierten las aguas servidas domésticas sin previo tratamiento de todos los pueblos en esta jurisdicción y por lo que no permiten la autopurificación de estas aguas a lo largo de su desarrollo y trayectoria que recorre.
- Realizar un estudio con las mismas tecnologías de la calidad del agua en todo el recorrido del río Santa, que se encuentran contaminados con los vertimientos de otras actividades industriales y con pasivos ambientales mineros, para determinar el nivel de su contaminación para la toma de acciones necesarias de control por las entidades encargadas.
- Se realice un estudio para el sector considerando con la Metodología ICA-PE del ANA (R.J. N° 068 -2018-ANA), para determinar ICA de la calidad general de contaminación del río Santa y con incorporación del caudal del cuerpo receptor.
- Con el resultado obtenido de la presente investigación, el ANA lo pueda tomar en cuenta en ampliar la categorización del río Santa, además de lo establecido en la norma correspondiente con la subcategoría de conservación del ambiente acuático concordante con el ECA D.S. N° 004-2017-MINAM.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL-SATAR, A.M.; ALI, M.H. & GOHER, M. (2016). *Indices of water quality and metal pollution of Nile River, Egypt*. Egyptian Journal of Aquatic Research. National Institute of Oceanography and Fisheries. Scopus. Egipto.
- ALARCÓN, JORGE & NOLAZCO, J. (2014). *Econometría con E-Views y Aplicaciones en Economía Agrícola, Economía de los Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú.
- ÁLVAREZ, J., RUBIÑOS, E., GAVI, F., ALARCÓN, J. & HERNÁNDEZ, E. (2006). *Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y Predicción*”. Argentina. Edit. Revista Internacional de Botánica. ΦOYTON.
- ARRIAZA, M. (2016). *Guía práctica de análisis de datos*. Junta de Andalucía, Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Sevilla.
- BEDREGAL, P., MENDOZA, P., UBILLUS, M., MONTOYA, E., AIRASI, R., BACA L. Y FAJARDO W. (2011). *Evaluación de las aguas del río Rímac en Lima, Perú, utilizando el Índice de Calidad de Agua (ICA)*. Instituto Peruano de Energía Nuclear, División de Técnicas Analíticas Nucleares. Lima Perú.
- BYTYÇI, P., ÇADRAKU, H., ZHUSH, F., ISMAILI, M., O.B. FETOSHI, O., AND A.M. SHALAABAZI, A. (2017). *The assessment of surface water quality in the Lepenc river basin using water quality index (wqi) methodology*. Rasayan Journal of Chemistry. Vol. 11 | No. 2 |653 - 660 April - June . University of Prishtina”Hasan Prishtina”. Pristina, Kosovo.

BROWN ET AL. (1970). Índice de Calidad de Brown: Índice de Calidad del Agua “ICA”. Servicio Nacional de Estudios Territoriales. El Salvador. University of Prishtina Hasan Prishtina,

CADAVID, J., ECHEVERRI, J. & GÓMEZ, A. (2010). Modelación Índices de Calidad de Agua (ICA). 2010 Medellín Colombia.

GARCÍA A., FLOR., (2014). Calidad y uso del agua de la sub Cuenca del San Lucas (Cajamarca) en función del Índice de Brow. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Cajamarca. Perú.

KOZAKI, D., HASBI, M., AB. RAHIM, A., MOHD W., FAIZAL, W., YUSOFF, M., MORI, M., NAKATANI N., AND TANAKA K. (2015). *Assessment of the River Water Pollution Levels in Kuantan, Malaysia, Using Ion-Exclusion Chromatographic Data, Water Quality Indices, and Land Usage Patterns.* Faculty of Industrial Sciences and Technology, Universiti Malaysia.

LOBOS, J. (2002). Evaluación de los Contaminantes del Embalse del Cerrón

MEDINA J. H., HERMITAÑO S. S. & MORÁN E. (2011). Calidad del Agua. Modulo Ambiental, Recuperado de [http://es.scribd.com/doc/283027693/t178-Compumet-Modulo-Ambiental CALIDAD-DeL-AGUA#scribd](http://es.scribd.com/doc/283027693/t178-Compumet-Modulo-Ambiental-CALIDAD-DeL-AGUA#scribd).

MEHER, P., SHARMA, P., GAUTAM, Y., KUMAR, A. AND MISHRA K. (2015) *Evaluation of Water Quality of Ganges River Using Water Quality Index Too.* EnvironmentAsia. The international journal published by the Thai Society of Higher Education Institutes on Environment.Asia

NGUYEN D., VALERY I. TELICHENKO V., Slesarev M. *Sources and causes of surface water pollution in Hanoi (Vietnam)*. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Rusia.

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA (2014).
www.oefa.gob.pe

ONU – DAES (2014). Calidad del Agua – USA.

PÉREZ, A., JULISA K. (2017). Determinación del índice de Calidad del Agua del río Moquegua por influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales – Omo, durante el periodo 2014 – 2015. Universidad José Carlos Mariátegui Repositorio Institucional – UJCM. Perú.

PERÚ, MINAM (2009). Decreto Supremo N° 004 - 2017-MINAM. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental.

Perú. Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA (Diario El Peruano, 13-02-2018).

Perú. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Disposiciones Complementarias (Diario El Peruano, 07/06/2017).

Perú. Decreto Jefatural N° 068-2018-ANA. Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales

Quinatto, J., De Nale Zambelli, N., Souza, D., Rafaeli Neto, S., Cardoso, J., & Skoronski, E. *Using the pollutant load concept to assess water quality in an urban river: the case of Carahá River (Lages, Brazil)*. Revista Ambiente e Água. 2019, Vol. 14 Issue 1, p1-11. 11p. Brasil. 2019.

QUIROZ F., LUÍS., IZQUIERDO, E. Y CARLOS MENÉNDEZ, C., (2017). Aplicación del Índice de Calidad de Agua en el río Portoviejo, Ecuador. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Vol. XXXVIII, No. 3, Sep-Dic 2017, p.41-51. Ecuador

ROMERO ROJAS, JAIRO ALBERTO. (2009). Calidad del Agua. Tercera Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.

RUSSELL DAVID L. (2012). Tratamiento de Aguas Residuales. Un enfoque práctico. Editorial Reverté. España. 2012.

SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ, C. Y BAPTISTA, M. (2011). Metodología de la Investigación, Edit. Mc Graw Hill Quinta Edición. México.

SÁNCHEZ, L., WALTER J., (2017). Determinación de la calidad del agua para uso agropecuario, mediante el ICA del río Santa, tramo Marcará – Carhuaz, 2012 – 2013. Tesis, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo – UNASAM. Ancash- Perú.

SANABRÍA-SUAREZ, A., MONTENEGRO-MARÍN, C., CASTRO-FERNÁNDEZ, M., DÍAZ-CASALLAS, D. (2016). Análisis multitemporal de los indicadores de calidad de agua en corrientes superficiales (ICA) de la

cuenca alta del río Bogotá (Colombia). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

SIERRA, C. (2011), *Calidad del Agua. Evaluación y Diagnóstico*. Edit. Universidad de Medellín. Colombia.

TORRES, V., FRANCISCO J. (2009). *Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico*. Tesis de Grado de Maestro en Ciencias. Universidad de Puerto Rico.

WANDA, E. M., MAMBA, B. B., & MSAGATI, T. A. (2015). *Determination of the water quality index ratings of water in the Mpumalanga and North West provinces, South Africa*. *Physics and Chemistry of the Earth*. A/B/C.

ANEXO N° 01.- MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL
<p>¿De qué manera la evaluación mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Santa con vertimientos de aguas servidas domésticos, influye con la conservación del ambiente acuático, en el sector de Huaraz – Jangas, Ancash?</p>	<p>Evaluar mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas, para la conservación del ambiente acuático, en el sector Huaraz – Jangas, Ancash.</p>	<p>La evaluación mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Santa, con vertimientos de las aguas servidas domésticos, influye significativamente la conservación del ambiente acuático.</p>

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS
<ul style="list-style-type: none"> • ¿De qué manera el nivel de las características fisicoquímico y bacteriológicas de las aguas del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas influyen con la evaluación de la conservación del ambiente acuático? • ¿De qué manera el caudal del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas en el periodo de estudio influye para la evaluación de su conservación del ambiente acuático? 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar el nivel de las características físicos-químicos y bacteriológicos de las aguas del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas, para la evaluación de la conservación del ambiente acuático. • Determinar el caudal del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas en el periodo de estudio para la evaluación de su conservación del ambiente acuático. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. El nivel de las características físicos – químico y bacteriológicos predominantes de las aguas del río Santa, con vertimientos de las aguas servidas domésticas, influye significativamente la conservación del ambiente acuático. <ul style="list-style-type: none"> • Los caudales del río Santa, con vertimientos de las aguas servidas domésticas, influye significativamente la conservación del ambiente acuático.

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS
<ul style="list-style-type: none"> • ¿De qué manera el ICA del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas, con sus características físico – químicos y los caudales, para el periodo de estudio y puntos de muestreo en el periodo de estudio influye para la evaluación de su conservación del ambiente acuático? • ¿De qué manera los resultados del ICA del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas en el periodo de estudio y puntos de muestreo influye para la evaluación de su conservación del ambiente acuático? 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar el ICA del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas, con sus características físico – químicos y los caudales, para el periodo de estudio y puntos de muestreo para la evaluación de su conservación del ambiente acuático. • Evaluar los resultados del ICA del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas en el periodo de estudio y puntos de muestreo en función del ECA normativo para su conservación del ambiente acuático. 	<ul style="list-style-type: none"> • La Determinación del ICA del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas, para el periodo de estudio y puntos de muestreo influye significativamente la conservación del ambiente acuático. • La evaluación los resultados del ICA del río Santa con vertimientos de las aguas servidas domésticas en el periodo de estudio y puntos de muestreo en función del ECA normativo influye significativamente la conservación del ambiente acuático.