

## **Evaluación de la calidad del agua de consumo humano de la provincia de Recuay**

Evaluation of the quality of water for human consumption of the province of Recuay

EINER ESPINOZA MUÑOZ<sup>1</sup>, ROOSEVELT VILLALOBOS DIAZ<sup>1</sup> Y  
VÍCTOR MARTÍNEZ MONTES<sup>1</sup>

### **RESUMEN**

Evalúa la calidad del agua de consumo humano de la ciudad de Recuay a través de sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos, para lo cual se realizó el trabajo de campo con la toma de muestras en cinco puntos diferentes: zona de captación, tanque de almacenamiento, línea matriz parte alta, parte intermedia y parte baja. Las muestras se sometieron a análisis físico-químicos y microbiológicos, usando métodos gravimétricos, volumétricos, colorimétricos e instrumentales para 16 parámetros, con el propósito de determinar las variables de contaminación. De los resultados obtenidos el más crítico es el promedio de 5.34 de pH que indica agua ligeramente ácida, el hierro se encuentra en concentraciones de hasta 0.02 mg/L muy cerca al límite máximo permisible y los coliformes totales están dentro de lo permitido. Las mayores concentraciones de los parámetros están en el Reservorio de Shekpa, debido a la acumulación de lodos no removidos. Se concluye, que el agua de consumo de la ciudad de Recuay es de Clase II, por lo que se considera de baja calidad y deberá procederse a la adecuación según la Ley General de Aguas y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

**Palabras clave:** evaluación; calidad del agua; contaminación; parámetro.

### **ABSTRACT**

Evaluate the quality of the water for human consumption in the city of Recuay through its physical, chemical and microbiological parameters, for which the field work was carried out with sampling in 05 different points: catchment area, tank

---

<sup>1</sup> Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú.

Storage, matrix line high part, intermediate part and low part. The samples were submitted to physical-chemical and microbiological analysis, using gravimetric, volumetric, colorimetric and instrumental methods for 16 parameters, in order to determine the contamination variables. From the results obtained the most critical is the average pH of 5.34 indicating slightly acidic water, the iron is in concentrations up to 0.02 mg/L very close to the maximum permissible limit and the total coliforms are within the allowed. The highest concentrations of the parameters are in the Shekpa Reservoir, due to the accumulation of non-removed sludge. It concludes, the drinking water of the city of Recuay is of Class II, reason why it is considered of low quality and must be adapted according to the General Law of Waters and the World-wide Organization of Health (OMS).

**Keywords:** evaluation; water quality; contamination; parameter.

## INTRODUCCIÓN

El propósito de la investigación es la mejora de la calidad del agua de consumo humano de la ciudad de Recuay, teniendo en cuenta que en esta jurisdicción se realiza regularmente la exploración y explotación de la pequeña y mediana minería. Es necesario resaltar que esta ciudad cuenta con una población aproximada de 3 600 habitantes, quienes se abastecen de este líquido elemento, para lo cual es necesario un control estricto en cuanto se refiere a la potabilización del agua.

Como resultado de la búsqueda de la información relacionado al tema, se obtuvo la declaración verbal del alcalde Dr. Millón León Vergara, de los trabajadores de la Junta Administradora que depende de la Municipalidad y de los usuarios en el sentido que hasta la fecha no se han realizado estudios de evaluación de la calidad de agua en la zona, dato que motivó efectuar un sondeo acerca del estado actual del problema. Se observó en las visitas a campo que el agua de consumo presenta partículas en suspensión, es ligeramente turbia y de sabor ácido y no cuenta con la vigilancia sanitaria profesional. Las autoridades refieren que se presentan muchos casos de infecciones digestivas en niños y adultos, erupciones cutáneas y a menudo elementos indeseables en los grifos de las viviendas. La falta de un continuo abastecimiento de antibactericida como el cloro para la potabilización del agua en el reservorio de Shekpa antes de pasar a la red de distribución, hizo suponer que la calidad del agua no está cumpliendo con los límites permisibles, según la Organización Mundial de Salud (OMS).

Debido al tiempo que tienen las instalaciones de la red matriz, con tuberías metálicas que datan desde 28 años atrás, lo que hace presumir que, por efecto de la corrosión, podría existir una alteración en la composición química del agua

potable. Se observa que la fuente de captación se encuentra ubicada en la Cordillera Negra aguas arriba a una distancia de 1200 m de la ciudad, zona altamente mineralizada, los mismos que podrían estar contaminando la afluencia en la captación. Se presume que el agua al discurrir por el suelo especialmente en estación lluviosa hasta llegar al punto de captación, podría arrastrar elementos metálicos cuyas concentraciones pueden estar por encima de los límites máximos permitidos (LMP) establecidas por el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos y la Organización Mundial de la Salud.

El objetivo en este estudio, es evaluar la calidad del agua de consumo humano de la ciudad de Recuay a través de la determinación de los parámetros físicos como: color, temperatura, pH, salinidad, conductividad eléctrica y turbidez; los parámetros químicos como: alcalinidad, cloruros, dureza total, sulfatos, calcio, magnesio, aluminio, potasio y hierro; y evaluar el parámetro microbiológico de coliformes totales.

Luego de realizar el proceso de los análisis de las muestras, se procede a la interpretación, correlación y comparación de los datos obtenidos con las normas vigentes referidas a la calidad del agua y finalmente plantear las sugerencias para la junta administradora en la toma de decisiones al respecto.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La presente investigación es aplicada y descriptiva. Se seleccionó el diseño no experimental cuantitativo. La población base son las aguas de consumo humano de la ciudad de Recuay y comprende el punto de captación (puquial) ubicado a 1200 m aguas arriba del Reservorio de Shekpa y todo el curso de distribución domiciliaria. La muestra estuvo constituida por cinco muestras tomadas en época de estiaje. El muestreo fue accidental, causal y deliberado; es decir, se seleccionó directa e intencionalmente los puntos de monitoreo, para lo cual se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Naturaleza del suelo durante el curso de agua antes de llegar al reservorio.
- Tratamiento previo que recibe el agua antes de pasar a la red de distribución.
- Conocimiento de la calidad de agua que recibe el usuario.

En la tabla 1 se presentan los puntos de muestreo seleccionados. En cada punto de muestreo se tomó una muestra de agua de 500 mL en recipientes de plásticos previamente esterilizados y rotulados. Luego se depositaron en el cooler para su traslado al laboratorio.

Tabla 1. Puntos de muestreo seleccionados

Muestra	Punto de muestreo
M-1	Lugar de captación (llegada al sedimentador)
M-2	Reservorio de Shekpa
M-3	Altura del Restaurante la Gruta
M-4	Altura del Hospital Materno Infantil
M-5	Final de la red de distribución (excárcel de Recuay)

Las muestras de agua recogidos fueron analizadas siguiendo el procedimiento recomendado por normas internacionales, según APHA-AWWA-WPCF (2014). Se determinaron parámetros físicos como color por simple inspección, temperatura con termómetro digital con electrodo de acero, pH a través de potenciómetro digital Hanna-Instruments Modelo HI-98130, salinidad fotómetro Merck SQ-118 y oxímetro digital La Motte DO-4000, conductividad eléctrica a través de conductímetro digital YSI-30 y la turbidez con turbidímetro digital Hanna-Instruments modelo HI-93703, los cuales se midieron directamente a través de técnicas de instrumentación.

Así también se determinaron parámetros químicos como son la alcalinidad total PART 23203, cloruros método colorimétrico DP, dureza total PART 23408, sulfatos y la concentración de metales como calcio PART 3500-CAD, magnesio PART 3500 - Mg, aluminio cromo azulol S, potasio Kalignost turbidimetric y hierro triazina. Además, se analizó coliformes totales como NMP.

Como instrumento de recolección de datos se han utilizado las fichas de muestreo e identificación de muestras.

## RESULTADOS

En la tabla 2 se presentan los resultados del análisis de los parámetros físicos de las muestras tomadas, notándose un alto valor de conductividad (190  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) en la muestra M-2 Reservorio de Shekpa. El pH se encuentra entre 5.00 y 5.36, lo que indica valores bajos. Los valores de salinidad se encuentran dentro de los moderados y la turbidez se presenta en más alto grado en la M-1, lugar de la captación con 5.6 UNF.

Tabla 2. Resultado del análisis de los parámetros físicos

PARÁMETRO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
Color	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Temperatura, °C	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
Conductividad, $\mu\text{s}/\text{cm}$	140	190	130	110	120
pH, Unidades	5.28	5.24	5.36	5.0	5.0
Salinidad, ppm	71	80	60	65	70
Turbidez, UNF	5.6	5.0	3.6	3.7	4.8

En la tabla 3 se presentan los resultados del análisis de los parámetros químicos de las muestras tomadas, notándose que en la mayoría de los parámetros en la muestra M-1 tienen los más altos valores, pero debajo de los límites máximos permisibles. Se aprecia que en la M-4 y M-5 contiene 0.02 mg Fe/L, valor muy cercano al del LMP.

Tabla 3. Resultado del análisis de los parámetros químicos

PARÁMETRO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
Alcalinidad, mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$	67.5	54.0	40.5	40.5	43.2
Cloruros, mg/L	5.95	4.46	4.46	4.46	2.23
Dureza total, ppm	70.8	68.2	67.2	67.1	66.9
Sulfatos, mg $\text{SO}_4^{-2}/\text{L}$	11.21	12.02	11.09	12.13	11.23
Calcio, mg. $\text{Ca}^{+2}/\text{L}$	68.4	59.2	65.2	65.1	63.8
Magnesio, mg $\text{Mg}^{+2}/\text{L}$	67.3	59.1	63.1	66.1	60.2
Aluminio, mg $\text{Al}^{+3}/\text{L}$	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001
Potasio, mg $\text{K}^{+}/\text{L}$	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
Hierro, mg Fe/L	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02

En la tabla 4 se presenta los resultados del análisis microbiológico. Se nota que la M-1 contiene mayor cantidad de coliformes totales (21 NPM/100 mL).

Tabla 4. Resultado del análisis de parámetro microbiológico

PARAMETRO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
Coliformes totales, NMP/100mL	21	17	17	16	16

## DISCUSIÓN

Con referencia al color de las aguas muestreadas, están ausentes en todas las muestras, este parámetro se determina directamente y no significa que no haya turbidez, pues se confirma con el instrumento denominado turbidímetro. La temperatura de cada una de las muestras es de 18°C, lo que es normal para aguas superficiales. Debe indicarse que debido a que este parámetro se determinó en el laboratorio; es probable que se ha incrementado entre 1 a 2 grados centígrados, por la diferencia de climas, altitudes y por el hecho de estar envasados. El límite máximo según el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (2010) es de 25°C para aguas de clase II.

Con respecto al pH los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites mínimos y máximos permisibles (de 5 a 9) según el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (2010), se trata de aguas ligeramente ácidas (promedio 5.33). El valor de pH como se puede notar en la tabla va disminuyendo ligeramente desde la captación hasta el final de la red de distribución, lo que está relacionado con la disminución del contenido de carbonato de calcio (alcalinidad).

Dos parámetros que están íntimamente ligados son la salinidad (sales disueltas o grado de mineralización global), y la conductividad eléctrica y esto va correlacionado como se observa en la tabla 2, en el punto M-2 (reservorio de Shekpa), se encuentran los valores más altos: 80 ppm de salinidad y 140  $\mu\text{s}/\text{cm}$  de conductividad, es decir aguas aptas para consumo humano. El Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (2010), ni la Organización Mundial de la Salud (1995) indican valores máximos para estos parámetros.

Las normas concernientes a la turbidez son diferentes según los países: las normas americanas indican que no deben sobrepasar los 5 UNF y la reglamentación francesa precisa como máximo 15 UNF, aunque excepcionalmente puede tolerarse 30 UNF según Jimeno (1997). Los valores obtenidos se consideran aceptables. El Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (2010) y la OMS (2005) no estipulan valores de este parámetro, sólo indican que los sólidos en suspensión deben estar ausentes.

La alcalinidad y la dureza total son parámetros semejantes, puesto que miden la concentración de carbonato de calcio presentes en mg/L de agua. Salvo excepciones muy particulares, la dureza tiene un carácter natural y corresponde al lavado de los terrenos atravesados. Los valores obtenidos muestran una ligera diferencia entre las 5 muestras que es un poco mayor que en los otros puntos e indistintamente, que oscilan entre 70.8 ppm y un mínimo de 43.2 ppm. Las aguas de buena calidad deben tener como máximo 150 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ . La dureza de 70 a 100 mL de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  puede considerarse como satisfactoria. Los epidemiólogos no han llegado a conclusiones formales concernientes a la influencia del agua dura, en el génesis de las afecciones cardiovasculares, ni tampoco en

la limitación de la transferencia intestinal de los iones metálicos tóxicos, según Rodier (2011).

Los contenidos de los cloruros en las aguas son estrechamente variables, y se deben principalmente a la naturaleza de los terrenos atravesados. Habitualmente, el contenido en ion cloro de las aguas naturales es inferior a 50 mg/L, pero puede sufrir variaciones provocados por diversos factores, entre ellos en las zonas áridas, por un lavado superficial en caso de lluvias fuertes, según Rodier (2011). El gran inconveniente de los cloruros es el sabor desagradable que comunican al agua. En las aguas muestreadas, los valores de cloruro son bajas (promedio 4.31 mg Cl<sup>-1</sup>/L) lo cual indica que no tiene importancia en la calidad de agua de consumo humano. El Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (2010) no reporta límites máximos para este parámetro.

La concentración en ion sulfato de las aguas naturales es muy variable, en los terrenos que no contienen una proporción importante de sulfatos minerales, pueden alcanzar de 30 a 50 mg/L, pero esta cifra puede ser ampliamente sobrepasada (hasta 300 mg/L) en las zonas que contienen yeso o cuando el tiempo de contacto con la roca es elevado. El contenido de sulfatos en el agua está relacionado a los elementos alcalinos y alcalinotérreos de la mineralización. Según estos y según la intolerancia de los consumidores, es susceptible de provocar trastornos gastrointestinales, en particular en los niños, según Jimeno (1998). Refiere Rodier (2011) que, debido principalmente a las dificultades ocasionadas por los usos domésticos, la reglamentación francesa y la OMS (2005) sugieren que la concentración límite no sea superior a 250 mg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/L. Los valores encontrados en las aguas muestreadas son en promedio de 10.6 mg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/L, lo que comparado con las normas descritas son valores pequeños que no inciden sobre la salud de los consumidores. El Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (2010) considera para la clase III, que no debe sobrepasar una concentración de 400 mg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/L, previo tratamiento.

El calcio, un elemento de la dureza que generalmente es dominante en las aguas potables, existe principalmente en forma de bicarbonatos y en cantidad menor en forma de sulfatos, cloruros, etc. Ciertas aguas minerales contienen varias centenas de mg/L. La influencia del calcio de agua de consumo sobre la salud del individuo se ha discutido frecuentemente; sin embargo, las estadísticas han demostrado que no hay relación entre ciertas afecciones y el contenido elevado de este elemento en el agua. Las aguas potables de buena calidad contienen de 100 a 140 mg/L de calcio, según Rodier (2011). En las aguas muestreadas se han encontrado un promedio de 64.34 mg/L de calcio, lo que podría suponer una deficiencia de este elemento, teniendo en cuenta que las necesidades diarias del organismo son aproximadamente de 0.7 a un gramo por día.

Rodier (2011) manifiesta que el magnesio es un elemento indispensable para el crecimiento, interviene como elemento plástico en el hueso y como elemento dinámico en los sistemas enzimáticos y hormonales. El aporte diario necesario al adulto es de 200 a 300 mg/día, que son ampliamente sobrepasados por la alimentación. El magnesio es un elemento de la dureza del agua, cuyo contenido depende de los terrenos atravesados, raramente sobrepasa de 15 mg/L en Europa. A partir de ciertos contenidos, da al agua un amargor desagradable. La interpretación del porcentaje de magnesio en el agua debe hacerse conjuntamente con los sulfatos, asimismo las normas europeas aconsejan no tolerar más de 30 mg/L. La OMS aconseja como concentración máxima admisible 150 mg/L, según el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (2010) estipula 150 mg/L para la clase III. Sin embargo, consideramos de acuerdo a los resultados obtenidos (promedio de 63.16 mg/L), que son concentraciones aceptables para los fines potables.

El aluminio susceptible de encontrarse en el agua, no presenta caracteres de toxicidad. La dosis de aluminio contenido en el agua es generalmente muy pequeña. Para un agua de buena calidad no debe de sobrepasar de 5 mg/L. Para la reglamentación francesa, es deseable que el contenido del agua en aluminio, después del tratamiento no sea superior al contenido del agua bruta, según Rodier (2011). En las aguas muestreadas se ha encontrado valores ínfimos, cuyo promedio es de 0.001 mg/L, lo que no afecta a la salud de los consumidores. El Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (2010) no considera valores para este parámetro.

Según Rodier (2011) aunque en las rocas ígneas el contenido del potasio acaso sea tan importante como es del sodio, su presencia es poco constante en las aguas naturales y no sobrepasa habitualmente de 10 a 15 mg/L, además no ofrece inconveniente para la salud de las poblaciones. Las necesidades del organismo son de 3 a 4 g/día, fácilmente garantizados por el aporte alimenticio. En las aguas muestreadas se han encontrado bajas concentraciones con un promedio de 0.016 mg/L, lo que indica que no afecta de ninguna manera a la salud de los consumidores, el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (2010) no reporta valores para la concentración del potasio.

Las aguas superficiales pueden contener hasta 0.5 mg/L de hierro, que puede tener como origen la lixiviación de los terrenos atravesados. Las aguas minerales y principalmente las aguas termales pueden contener más de 10 mg/L. El hierro del agua no presenta ningún inconveniente desde el punto de vista fisiológico. Las necesidades para el organismo humano se sitúan entre 2 a 3 mg/día, pero solamente del 60 al 70 % de la cantidad ingerida por los alimentos se metabolizan. Rodier (2011) refiere que independientemente de un sabor desagradable que puede percibirse a partir de 0.05 mg/L, el hierro desarrolla en el agua una turbidez rojiza poca atractiva para el consumidor. El contenido del hierro en las



aguas muestreadas tiene una concentración máxima de 0.02 mg/L; y según el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (2010) el límite máximo permitido es de 0.03 mg/L para la clase I y II y 1.0 mg/L para la clase III, todos con fines potables para consumo humano. Esto significa que los valores encontrados están cerca del límite permitido, lo que está relacionado a la turbidez que presenta esta agua regularmente ferrosa. Las normas europeas han adoptado como concentración límite la cifra de 0.1 mg/L; la reglamentación francesa es de 0.2 mg/L, y las normas americanas 0.3 mg/L. Puede considerarse 0.05 mg/L, si se quieren evitar todos los inconvenientes (gusto, color, precipitado y manchas en la ropa).

Con respecto a la concentración de coliformes totales, el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (2010) considera un número más probable de bacilos de coli (NMP), menor de 50 coliformes/100 mL de agua para aguas de clase I; menor de 5 000 coliformes/100 mL para la clase II; y menor de 20 000 coliformes/100 mL, para la clase III. Estos tres tipos de agua se pueden usar con fines potables: las aguas de clase I sólo mediante desinfección; la clase II mediante previo tratamiento de sedimentación, filtración y luego desinfección y la clase III mediante previo tratamiento de pre-desinfección, sedimentación, filtración y luego desinfección final. En las aguas muestreadas se han encontrado concentraciones de coliformes totales en los puntos de muestreo M-1, M-2 y M-4 de 21, 17 y 16 coliformes/100 mL de agua, lo que indica que son aguas de clase I, pero sin embargo para salvaguardar la salud de las personas debe realizarse una desinfección más efectiva.

## CONCLUSIONES

La calidad del agua de consumo humano de la ciudad de Recuay es insuficiente, clasificándose según el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (2010) en la clase II. En la mayoría de los parámetros se nota mayores concentraciones en la muestra M-2 (Reservorio de Shekpa), debido a la acumulación de lodos no removidos.

Entre los parámetros físicos evaluados el más crítico es el pH, cuyo valor promedio es de 5.34, el cual indica que el agua es ligeramente ácida. De los parámetros químicos, se tiene que la concentración del metal hierro en todas las muestras es de un valor máximo de 0.02 mg/L, estando cerca al límite máximo de 0.03 mg/L según el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (2010). En lo que se refiere a coliformes totales, los valores están dentro de lo permitido; sin embargo, están por encima de los valores encontrados en otros lugares.

Para elevar la calidad de agua de consumo humano de la ciudad de Recuay hasta la clase I, es necesario realizar mejoras del sistema de captación con un trata-

miento previo de sedimentación y filtración, con el fin de bajar los índices de turbidez y de sólidos en suspensión. Así mismo, para disminuir ligeramente la acidez se debe utilizar la cal como insumo químico.

Se debe evitar contactos de escalera metálica con el agua, en el reservorio principal de Shekpa, para tal efecto se recomienda el revestido de la escalera con un material no contaminante.

Realizar un proceso de desinfección del reservorio principal de Shekpa, con la finalidad de reducir las concentraciones de coliformes totales.

Es importante que se efectúe el cambio de la red matriz del sistema de agua de consumo de la ciudad, ya que el sistema actual según el análisis en las muestras M-3, M-4 y M-5 presenta un ligero aumento de hierro probablemente por corrosión metálica del sistema de tuberías.

Por lo evidenciado en los resultados se debe acondicionar la infraestructura del sistema de captación, mejorando los canales y especialmente remover los lodos depositados en el reservorio de Shekpa, en periodos semanales como mínimo, bajo dosificación infaltable del cloro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Public Health Association (APHA-AWWA-WPCF). 2014. “*Standard Method for the examination of the water and wastewater*”. 22<sup>o</sup> Edition. Editorial APHA. New York.
- Jimeno, Enrique. 1998. “*Análisis de aguas y desagües*”. Editorial Centro de Estudiantes CEIA, Universidad Nacional de Ingeniería. 2da edición. Lima.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). Dirección General de Aguas, Suelos e Irrigaciones. 2010. “*Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos*”. Lima.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2005. “*Guías para la calidad del agua potable*”. Volumen 1. Primer apéndice a la Tercera Edición. Génève.
- Rodier, Jean. 2011. “*Análisis de aguas*”. 9na ed. Barcelona: Omega.

**Presentado:** 02/02/2017

**Aceptado:** 05/05/2017

### Correspondencia

Einer Espinoza Muñoz  
einer22\_rag@hotmail.com