

# Avaliação de água para consumo humano através do índice de risco de qualidade de água em fontes superficiais abastecedoras de lares comunitários rurais

Carlos Andrés Díaz<sup>1\*</sup> , Hugo Ferney Leonel<sup>2</sup> , Cibele Soares Pontes<sup>3</sup> 

1 Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Campus Universitário UFRN - Lagoa Nova, Natal - RN, Brasil. 59078-970.

2 Departamento de Recursos Naturais y Sistemas Agroflorestais, Faculdade de Ciências Agrícolas, Universidade de Nariño, Colômbia.

3 Ensino Superior da Escola Agrícola de Jundiá, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Campus Universitário UFRN - Lagoa Nova, Natal - RN, Brasil. 59078-970.

\*Autor para correspondência: [carpp930703@gmail.com](mailto:carpp930703@gmail.com).

Recebido em 01 de dezembro de 2021.

Aceito em 05 de julho de 2022.

Publicado em 20 de julho de 2022.

**Resumo** - Na Colômbia, certas áreas rurais não têm água potável para consumo, contribuindo para o surgimento de Enfermidades Diarreicas Agudas (EDA) que afetam a população infantil; Por este motivo, foram avaliadas as fontes superficiais de abastecimento de água para consumo humano de lares comunitários tradicionais rurais (LCTR) através do Índice de Risco de Qualidade da Água (IRCA), utilizando dados fornecidos pelo Instituto Departamental de Saúde de Nariño (IDSN), com os quais foi calculada a média anual de alguns parâmetros físicos, químicos e biológicos, verificando o cumprimento da Resolução colombiana 2115 de 2007; Diferenças significativas foram determinadas com o teste (Mann-Whitney-Wilcoxon W) para  $p < 0,05$ , no software InfoStat, V.2020 e o IRCA foi calculado seguindo a metodologia desta Resolução. Os parâmetros de turbidez, Coliformes Totais e *Escherichia coli* em EL Peñol e El Tambo não atendem ao limite admissível; diferenças altamente significativas foram encontradas na alcalinidade total, pH e dureza total; diferenças significativas na cor aparente, cloro residual, turbidez, Coliformes Totais e *Escherichia coli* e nenhuma diferença nos cloretos. Conclui-se que a água não é adequada para consumo humano por apresentar risco para consumo entre “Médio a Alto”.

**Palavras-chave:** Análise de água. Risco sanitário. Consumo de água. Potabilidade.

## Assessment of water for human consumption with the risk index of water quality in surface sources supplying rural community homes

**Abstract** – In Colombia, certain rural areas do not have potable water, contributing to the emergence of Acute Diarrheic Diseases (ADD) afflicting the child population; Therefore, the

surface sources of water for human consumption in traditional rural community households (LCTR) were assessed with the water quality risk index (IRCA), using data provided by the Departmental Health Institute of Nariño (IDSN), with which the annual average of some physical, chemical and biological parameters was calculated, in order to verify compliance with Colombian Resolution 2115 of 2007; Significant differences were determined with the Mann-Whitney-Wilcoxon W test for  $p < 0.05$ , in the InfoStat software, V. 2020 and the IRCA was calculated following the methodology of this Resolution. The turbidity, total coliforms, and *Escherichia coli* parameters in El Peñol and El Tambo do not comply with the established limits. Highly significant differences were found in total alkalinity, pH and total hardness; significant differences in apparent color, residual chlorine, turbidity, total coliforms and *Escherichia coli* and no differences in chlorides. It is concluded that the water is not suitable for human consumption, as it presents “Medium to High” risk for consumption.

**Keywords:** Water analysis. Health risk. Water consumption. Potabilization.

## **Evaluación de agua para consumo humano a través del índice de riesgo de calidad de agua en fuentes superficiales abastecedoras de hogares comunitarios rurales**

**Resumen** - En Colombia, algunas zonas rurales no tienen agua potable para el consumo, contribuyendo al surgimiento de Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA) afectando a la población infantil; por ello, se evaluaron las fuentes superficiales de abastecimiento de agua para el consumo humano de los hogares comunitarios rurales tradicionales (LCTR) a través del índice de riesgo de calidad del agua (IRCA), por medio de datos suministrados por el Instituto Departamental de Salud de Nariño (IDSN), con los cuales se calculó el promedio anual de algunos parámetros físicos, químicos y biológicos, verificando el cumplimiento de la Resolución Colombiana 2115 de 2007; se determinaron diferencias significativas con la prueba (U de Mann-Whitney-Wilcoxon) para  $p < 0,05$ , en el software InfoStat, V.2020 y el IRCA se calculó siguiendo la metodología de esta Resolución. Los parámetros turbidez, coliformes totales y *Escherichia coli* en EL Peñol y El Tambo no cumplen con el límite admisible; se encontraron diferencias altamente significativas en alcalinidad total, pH y dureza total; diferencias significativas en color aparente, cloro residual, turbidez, Coliformes Totales y *Escherichia coli* y sin diferencias en los cloruros. Se concluye que el agua no es apropiada para el consumo humano por presentar un riesgo entre “Medio a Alto” para consumo.

**Palabras clave:** Análisis de agua. Riesgo sanitario. Consumo de agua. Potabilidad.

## **Introdução**

Atualmente, há diferentes definições de qualidade da água, Lozano (2013) define qualidade de água geral como o conjunto de características organolépticas, físicas, químicas e microbiológicas; Por outro lado, Sierra (2011) afirma que a qualidade da água pode ser determinada de duas formas:

a primeira, por meio da medição de variáveis físicas, químicas e biológicas e a segunda, por meio de um índice de qualidade da água como o índice de risco de qualidade de água (IRCA), índice de qualidade de água - ICA, índice de alteração potencial da água - IACAL, índice de uso de água-IUA, índice de vulnerabilidade ao abastecimento hídrico - IVH, entre outros. Essas medições são realizadas principalmente para determinar os riscos de consumo de água.

Nas áreas rurais colombianas, 28% de sua população (3 milhões de um total de 11.653.673 pessoas) não tem acesso a serviços básicos de água potável e mais da metade carece de aqueduto e esgoto, o que contribui para o aumento da pobreza e da desigualdade do país (Ministerio de vivienda-Minvienda, 2019); Por outro lado, o “Relatório Nacional sobre a qualidade da água para consumo humano para 2017-INCA” (Ministerio de Salud-Minsalud, 2019) a nível nacional mediu o Índice de Risco da Qualidade da Água (IRCA) das redes que fornecem água às entidades prestadoras do serviço, determinando que a Colômbia ainda conserva um nível de risco “Médio”. Com relação às áreas, as áreas rurais apresentam um nível de Risco de 28.8 classificando-o como “Médio” e as áreas urbanas com um nível de risco “sem risco” de 4.8 (INS, 2019), demonstrando assim, que as áreas urbanas apresentam melhor água de qualidade para consumo humano em comparação com as áreas rurais.

Segundo a Organização Mundial da Saúde - OMS (2019) doenças como enfermidades diarreicas agudas (EDA) podem ser resultado de água contaminada; causando anualmente em todo o mundo cerca de 502.000 mortes; por outro lado, 844 milhões de pessoas carecem de serviços básicos e pelo menos 2 bilhões são abastecidos de uma fonte de água contaminada por coliformes fecais. Na Colômbia, devido à defasagem em certas áreas rurais, as EDA são frequentes; Minvienda (2019) para o ano de 2018 relatou 70.348 casos dessa doença. Torres et al. (2017) mencionam que baixa qualidade de água impacta negativamente os grupos vulneráveis, localizados em locais onde não foi possível fornecer uma solução para abastecê-los com água segura, o que requer soluções urgentes, eficazes e de fácil adoção.

No departamento (Estado) de Nariño, com uma população total projetada para o 2020 de 1.627.589 (Plano de Desenvolvimento Departamental de Nariño 2020-2023), com 56,15% da população localizada em centros povoados e áreas rurais dispersas; De acordo com o Instituto Nacional de Saúde-INS (2019) em seu “Boletim de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano” relatou um IRCA de classificação “Alto”: da mesma forma, Minsalud (2019) em seu “Relatório Nacional da qualidade da água para consumo humano 2017 ”determina que as áreas rurais do departamento tenham um IRCA de 51,5 classificado como risco “ Alto” e as áreas urbanas de 14,3 com um nível de risco “Médio ”. Na área de estudo desta investigação, conhecida como sub-região do Guambuyaco, é formada por 4 municípios, dos quais El Peñol possui um IRCA de 24,6 nível de risco “Médio” e El Tambo um IRCA de 31,8 nível de risco “Médio”. Nos municípios de El Peñol e El Tambo, pertencentes às bacias Juanambú e Guáitara, de acordo com o “Plano de Ordenamento e Gestão da Bacia Hidrográfica do Rio Juanambú” a demanda de água é majoritariamente representada para uso doméstico 50% (Corporación Autónoma Regional de Nariño-CORPONARIÑO, 2015a)

Com relação à saúde pública, o departamento de Nariño tem apresentado problemas de saúde com a presença de doenças veiculadas pela água não potável, relatando 114.816 casos de EDA no ano de 2015, causando morbimortalidade no departamento (INS 2016). No município de El Peñol para o ano de 2019, a taxa para cada 100 crianças menores de 5 anos de casos de EDA foi de 42 casos; em

2020, eram 21 casos e, em junho de 2021, foram notificados 6 casos; para o município de EL Tambo no ano de 2019, foram notificados 22 casos, 45 para 2020 e 23 casos até junho de 2021 (Instituto Departamental de Salud de Nariño- IDSN, 2021).

Diante do problema de saúde pública, governos nacionais e departamentais vêm criando programas de água potável e saneamento básico rural para reduzi-lo; Como resultado, durante o período de 2006 a 2014, foi adotada a política pública departamental para a implementação do plano de gestão empresarial do serviço de água e saneamento (PDA) como instrumento de regionalização e fortalecimento da gestão das empresas de serviços públicos.

No campo da investigação, os estudos nacionais e internacionais têm se orientado principalmente para determinar e monitorar os índices de qualidade da água em entidades prestadoras de serviço de abastecimento de água para consumo humano.

Ao nível internacional, Leañó e Pérez (2020) através do índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), eles determinaram que a qualidade das águas do rio Trancas no município de Entre Ríos Tarija, Bolívia, é muito boa, tem águas muito limpas e não contaminadas; da mesma forma, Nitasha *et al.* (2016) avaliaram a qualidade da água potável e seu efeito na saúde em áreas rurais de Harij Taluka, distrito de Patan do norte de Gujarat, comparando a qualidade da água potável em nove aldeias, onde concluem que, embora certos parâmetros excedam os valores permitidos, eles não representam um risco para a saúde humana.

Nacionalmente, destaca-se a pesquisa de Torres *et al.* (2017) que avaliaram um protótipo de sistema de tratamento de água para áreas rurais colombianas, concluindo que o sistema é recomendado considerando que produz água adequada para consumo humano; Córdoba *et al.* (2016) realizaram uma revisão bibliográfica para demonstrar a importância dos filtros como alternativa para a potabilização da água em áreas rurais vulneráveis, apresentando cinco casos aplicados na Colômbia onde foram usados areia, argila, velas de cerâmica e ultrafiltração, concluindo que são bem aceitos pela população que não tem acesso a água segura. Castrillón *et al.* (2020) avaliaram a Eficiência e Qualidade do sistema de tratamento de água potável (STAP) na urbanização San Fernando - Los Patios, Colômbia. Concluindo que o sistema foi eficiente na remoção, porém, para garantir a qualidade da água na potabilidade, os controles e acompanhamentos pertinentes são necessários sem afetar os hábitos de armazenamento das famílias desta comunidade.

No Departamento de Nariño, Leonel *et al.* (2019) realizaram estudos sobre a adoção de tecnologias não convencionais para o tratamento de água para consumo humano na comunidade da Reserva Indígena Alto Cartagena, pertencente ao povo Awá, implementando metodologias participativas, que facilitou os processos de ensino-aprendizagem, o que permitiu a aceitação e adoção de alternativas não convencionais como LifeStraw® Community e Sawyer; da mesma forma a Gobernación de Nariño e Universidade Mariana (2016) publicaram um manual de ferramentas que auxiliam e orientam a identificação das necessidades de participação, estruturando diagnósticos socioambientais e também selecionando alternativas, com foco nas comunidades rurais em relação à água potável e saneamento básico. Aqui integram fatores naturais, sociais e institucionais que impactam a prestação de serviços, tudo com o objetivo de minimizar e buscar alternativas que permitam soluções a problemáticas e/ou necessidades aos impactos sociais que futuros investimentos podem gerar.

Dada a insuficiência da pesquisa no acesso à água para consumo em populações rurais vulneráveis, esta pesquisa teve como objetivo avaliar fontes de água abastecedoras para consumo humano de lares

comunitários tradicionais rurais (LCTR) através do índice de risco de qualidade de água (IRCA), para o qual, se determinou a influência dos parâmetros físicos, químicos e biológicos no índice de risco de qualidade de água (IRCA); se comparou a variação de cada parâmetros dos municípios de acordo com a Resolução colombiana 2115 de 2007; também se analisou se as fontes abastecedoras são adequadas para o consumo humano.

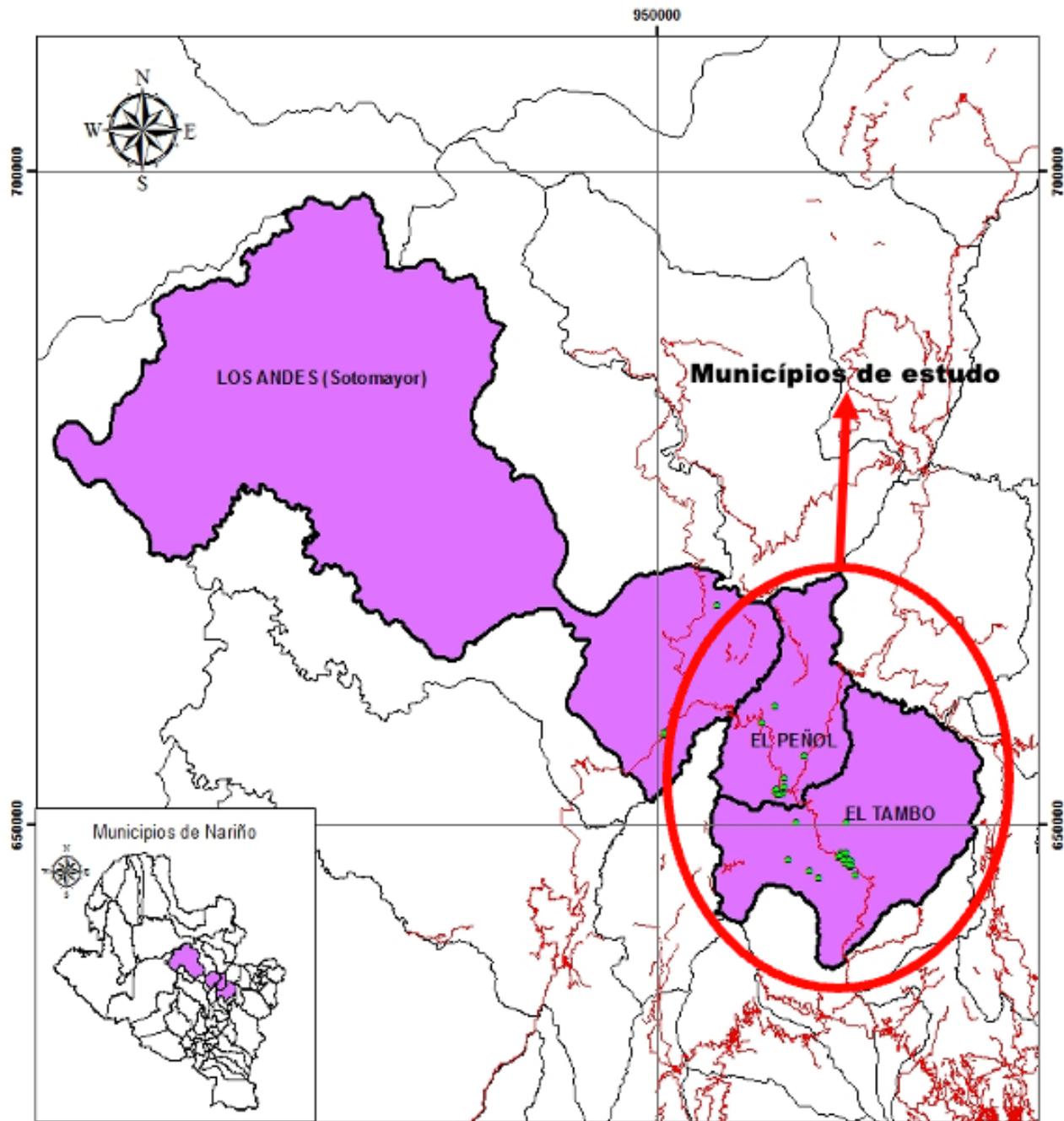
Além disso, formulou-se como hipótese: H1: Para o ano 2019 Os parâmetros biológicos são os que mais influenciam no aumento do índice de risco da qualidade da água nos municípios de El Peñol e El Tambo; H2: Os parâmetros utilizados para avaliar a qualidade de água (físicos, químicos e biológicos) apresentam diferenças estatísticas entre os municípios de El Peñol e El Tambo, e H3: a qualidade da água para consumo humano não é adequada para os LCTR dos municípios de El Peñol e El Tambo.

## Material e métodos

Esta pesquisa se enquadra no desenvolvimento do projeto denominado “Avaliação de tecnologias não convencionais e sua apropriação social para o acesso à água potável para melhorar as condições de saúde de instituições de ensino e cozinhas de lares comunitários tradicionais, convênio 141119” celebrado entre a Universidade de Nariño (UDENAR), Governo de Nariño e o Instituto Departamental de Saúde de Nariño (IDSN), especificamente foi desenvolvido na sub-região do Guambuyaco em dois municípios (El Peñol e El Tambo) do departamento de Nariño, Colômbia (Figura 1).

O município de El Peñol que está localizado entre os intervalos 1° 26 '38 "e 1° 36 '26" de latitude norte e 77° 23 '21 "e 77° 29 '31" de longitude oeste. Compreende uma área de 11.895 hectares, com uma altura máxima acima do nível do mar que varia de 480 a 2.200 metros acima do nível do mar e o município de El Tambo está geograficamente localizado entre as coordenadas do 1° 24 "de latitude norte e 77° 27" de latitude oeste, tem uma altura que varia de 600 a 2700 metros acima do nível do mar.

Figura 1. Municipios que compõem a sub-região do Guambuyaco na Colômbia.



PROYECTO	REFERENCIA E SPACIAL	LOCALIZACIÓN	UDS-SUBREGIÓN
<p>Evaluación de tecnologías no convencionales y su aplicación social al acceso de agua segura, para el mejoramiento de las condiciones de salud en restaurantes de las instituciones educativas y casas de hogares comunitarios tradicionales en el sector del departamento de Nariño.</p>	<p>Coordinate System: MAGNA Colombia Oeste                      Projection: Transverse Mercator                      Datum: MAGNA                      False Easting: 1.000.000,0000                      False Northing: 1.000.000,0000                      Central Meridian: -77,0775                      Scale Factor: 1,0000                      Latitude of Origin: 4,5962                      Units: Meter</p>	<p>MUNICIPIOS DE NARIÑO DE COLOMBIA</p>	<p><b>LEYENDA</b></p> <p> GUAMBUYACO</p> <p><b>CONVENCIONES</b></p> <p> Municipios Nariño</p> <p> Unidades de Servicio</p> <p> Vías</p>
<p>DOMINIO INTERADMINISTRATIVO 14119 SUSCRITO ENTRE LA OBSERVACIÓN DE NARIÑO, UNIVERSIDAD DE NARIÑO Y EL INSTITUTO DEPARTAMENTAL DE SALUD DE NARIÑO</p> <p>MUNICIPIOS SELECCIONADOS PARA BENEFICIAR HCT Y CDI</p>	<p><b>ESCALA NUMÉRICA Y GRÁFICA</b></p> <p>1 cm = 4.000 meters</p>	<p>Elaborado por: Jonathan A. Trujillo JA</p>	<p><b>UDS-SUBREGIÓN</b></p> <p>Elaboración: Marzo, 2020</p>

Esta investigação utilizou o método descritivo, com o propósito de destacar os aspectos fundamentais de qualidade de água de 25 fontes abastecedoras superficiais de LCTR de El Peñol e 65 de El Tambo sendo estas administradas pelas comunidades, para o qual se analisaram os parâmetros (cor aparente, turbidez, cloro residual, pH, alcalinidade total, dureza total, cloretos, coliformes totais e *Escherichia coli*), com dados coletados e subministrados pelo IDSN, que permitiram calcular o IRCA mensal e comparar o cumprimento de estes na Resolução colombiana 2115 de 2007, e a sua vez, analisar si essas fontes são adequadas para o consumo humano nos LCTR.

Foi realizada a avaliação IRCA de 25 fontes abastecedoras superficiais de água do município de El Peñol e de 65 fontes do município de El Tambo utilizando informações constantes gerados no ano de 2019, que abastecem 8 LCTR de El Peñol e 15 de El Tambo na área de Guambuyaco, fornecidas pelo IDSN, quem através da metodologia “standard methods ed 22 e 23” obtiveram os dados dos parâmetros físicos (cor aparente, turbidez e pH), químicos (cloro residual, alcalinidade total, dureza total, cloretos) e microbiológicos (coliformes totais e *Escherichia coli*) para determinar a influência destes parâmetros de qualidade de água no IRCA, foi utilizada estatística descritiva calculando a média anual de cada parâmetro; também, as médias foram comparadas com os valores admissíveis de qualidade de água para consumo estabelecidos na Resolução colombiana 2115 de 2007.

Ademais, os parâmetros de qualidade de água foram analisados estatisticamente, por meio de uma prova não paramétrica (W de Mann-Whitney-Wilcoxon) com probabilidade de 95%, para comparar o intervalo médio de duas amostras relacionadas e determinar si existe diferenças estatísticas entre elas, utilizando o software InfoStat, V. 2020 e dados documentais coletados e fornecidos pelo IDSN.

O índice de risco de qualidade da água (IRCA) foi calculado para cada uma das fontes de água amostradas; além disso, foi calculado o IRCA mensal, por meio da metodologia proposta na Resolução 2115 de 2007, que atribui uma pontuação de risco aos parâmetros que não cumprem com o requerimento da normatividade (Quadro 1), caso contrário atribui zero aos parâmetros que atenderam a Resolução. Para calcular o IRCA, foram utilizadas as equações 1 e 2:

$$\text{Equação (1). } IRCA(\%) = \frac{\sum \text{pontuações de risco atribuídas a características não aceitáveis}}{\sum \text{pontuações de risco atribuídas a todas as características analisadas}} \times 100$$

$$\text{Equação (2). } IRCA(\%) = \frac{\sum \text{dos IRCAs obtidos em cada amostra realizada no mês}}{\sum \text{número total de amostras realizadas no mês}} \times 100$$

**Quadro 1.** Pontuação de risco para parâmetros de qualidade da água estabelecidos pela Resolução 2115 de 2007.

Parâmetros	Pontuação de Risco	Parâmetros	Pontuação de Risco
Color Aparente	6	Dureza Total	1
Cloro Residual	15	Cloretos	1
pH	1.5	Coliformes Totais	15
Turbidez	15	<i>Escherichia coli</i>	25
Alcalinidade Total	1		

Uma vez calculado o IRCA em cada município, se classificou de acordo com a (Quadro 2).

**Quadro 2.** Classificação IRCA (%), Resolução colombiana 2115 de 2007.

Classificação IRCA (%)	Nível de risco	IRCA mensal (Ações)
80.1 – 100	Inviável sanitariamente	Água não adequada para consumo, gestão humana direta de acordo à sua competência da pessoa: provedor, prefeitos, governadores e entidades da ordem nacional.
35.1 – 80	Alto	Água não adequada para consumo, gestão humana direta de acordo à sua competência da pessoa provedor e prefeitos e respectivos governadores.
14.1 – 35	Médio	Água não adequada para consumo, gestão humana direta da Pessoa que presta o serviço.
5.1 – 14	Baixo	Água não adequada para consumo humano, suscetível a melhoria.
0 – 5	Sem risco	Água adequado para consumo humano. Continue a vigilância.

## Resultados e discussão

Na Tabela 1 pode se observar a média anual dos parâmetros de qualidade de água em comparação com os valores máximos permitidos pela Resolução colombiana 2115 de 2007.

**Tabela 1.** Média anual dos parâmetros de qualidades de água do município de El Peñol e El Tambo do ano 2019.

Parâmetro	Máximo admissível (Res. 2115 de 2007)	El Peñol Média	Cumpre Resolução	El Tambo Média	Cumpre Resolução
Cor Aparente (UC)	15	6,94	sim	14,32	sim
Cloro Residual (mg Cl <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	2,00	0,47	sim	0,32	sim
pH	6,5 a 9	7,2	sim	7,5	sim
Turbidez (UNT)	2	2,48	não	2,92	não
Alcalinidade Total (mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	200	163,92	sim	76,38	sim
Dureza Total (mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	300	209,72	sim	76,94	sim
Cloretos (Cl <sup>-</sup> .L <sup>-1</sup> )	200	6,9 mg	sim	7,42	sim
Coliformes Totais (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	1	1084,2	não	556,15	não
<i>Escherichia coli</i> (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	1	30,53	não	85,44	não

De acordo com a Resolução 2115 de 2007 e os valores dos parâmetros mostrados na (Tabela 1), *Escherichia coli*, coliformes totais e turbidez, são os que mais influenciam na porcentagem do cálculo do índice de risco da qualidade da água, rejeitando a hipótese H1, devido a que os resultados demonstraram que ademais dos parâmetros biológicos também influencia a turbidez. Isto pode ser devido ao fato de que muitas das fontes abastecedoras possuem pouca cobertura vegetal protetora (mata ciliar) e elevada presença de atividades agrícolas e pecuárias.

De acordo com o Plano de desenvolvimento de El Tambo (2015) as culturas mais importantes no município de são o café (590 ha), fique (915 ha) e cana de açúcar (930 ha), ao nível pecuário, gado

para carne e leite com 6.400 cabeças, também em proporções menores a suinocultura e a cuyicultura com 110.000 porquinhos da índia e segundo o Plano de desenvolvimento de El Peñol (2019) o município tem uma área agrícola estimada em 4.640,5 ha composta principalmente de feijão, milho, amendoim, café, cana de açúcar, pepino, colorau, feijão, bananas e árvores frutíferas como goiaba, mamão, maracujá, limão e atividades pecuárias de espécies menores como aves, suínos, porquinhos da índia e espécies maiores como gado e cavalos.

A (Tabela 2) mostra o nível de significância estatística entre os municípios de El Peñol e El Tambo.

**Tabela 2.** Análise estatística do teste W (Mann-Whitney-Wilcoxon) dos parâmetros hídricos dos municípios de El Peñol e El Tambo.

Parâmetro	Município	Média	Desvio Padrão	W	P (2 colas)	Sig.
Alcalinidade total	El Peñol	163,92	52,43	1756	<0,0001	**
	EL Tambo	76,38	56,72			
pH	El Peñol	7,2	0,58	851,00	0,0035	**
	EL Tambo	7,5	0,07			
Dureza Total	El Peñol	209,72	91,67	1782,00	<0,0001	**
	EL Tambo	76,94	62,59			
Turbidez	El Peñol	2,48	3,46	894,5	0,0272	*
	EL Tambo	2,92	3,13			
Color Aparente	El Peñol	6,94	3,49	515,00	0,0200	*
	EL Tambo	14,32	15,65			
Cloro Residual	El Peñol	0,47	0,55	1353,00	0,0327	*
	EL Tambo	0,32	0,40			
Cloretos	El Peñol	6,9	2,08	1040,00	0,0915	
	EL Tambo	7,42	1,44			
Coliformes Totais	El Peñol	1084,20	1027,87	1352,50	0,0464	*
	EL Tambo	556,15	904,94			
<i>Escherichia coli</i>	El Peñol	30,53	27,61	1336,50	0,0445	*
	EL Tambo	85,44	334,76			

\* Diferença significativa ( $p < 0.05$ ). \*\* Diferença altamente significativa ( $p < 0.05$ ).

De acordo com a (Tabela 2), os municípios de El Peñol e El Tambo apresentaram diferenças estatísticas altamente significativas nos parâmetros de alcalinidade, pH e dureza, enquanto cor aparente, cloro residual, turbidez, coliformes totais e *Escherichia coli* apresentaram diferenças significativas e nos cloretos não houve diferença significativa, aceitando a hipótese H2 onde a qualidade da água nos dois municípios apresenta diferenças no comportamento desiguais na qualidade de água.

Com relação à alcalinidade, os valores estão dentro do máximo admissível pela Resolução 2115 de 2007; apesar disso, houve diferenças estatísticas altamente significativas entre os municípios, o que pode ser devido à sua composição geológica. De acordo com os Esquemas de Planejamento Territorial do município de El Tambo (2009) e El Peñol (2014), geologicamente eles têm uma alta influência vulcânica (Vulcão Galeras), levando a apresentar solos muito mais ácidos e níveis mais

baixos de bicarbonato (García et al. 2012) no entanto, os solos de El Peñol recebem menos influência por razões de posição geográfica (afastamento), o que pode estar gerando diferenças nos níveis de alcalinidade, Alzate et al. (2020) afirma que é importante avaliar a sensibilidade e compressibilidade dos solos vulcanos sedimentares, tendo em vista que são solos altamente sensíveis à manipulação, podendo ocasionalmente gerar problemas geotécnicos associados à instabilidade de taludes, alta sensibilidade e fissuração, entre outros.

Para as fontes de abastecimento dos municípios em estudo, os valores de pH admissíveis foram encontrados na Resolução 2115 de 2007; No entanto, apresenta diferenças estatísticas significativas de pH entre os municípios, o que pode ser à posição geográfica devido ao fato de o município de El Peñol recebe menos influência vulcânica por estar mais afastado, alcançando solos menos ácidos; Além disso, Rubio et al. (2015) afirmam que o pH será sempre afetado pela geologia da área; Jofre et al. (2015) afirmam que o pH também pode ser afetado pelas chuvas, diminuindo para 5; García et al. (2019) afirmar que alcalinidade é a quantidade de carbonatos de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) na água ou a quantidade de ácido necessária para baixar o pH de uma amostra; demonstraram num modelo de regressão linear simples construído entre as variáveis pH e alcalinidade, que nas amostras de água do rio Chimbo, foi encontrada maior alcalinidade para valores de pH mais baixos.

A dureza total está dentro dos limites máximos admissíveis pela Resolução 2115 de 2007, as diferenças significativas entre os municípios podem ser devido à sua geologia; O município de El Peñol segundo o EOT (2014) é constituído por rochas do tipo vulcânico (rochas ígneas), de composição intermediária a básica com fluxos de lava-almofada que comumente contêm amígdalas ou vacúolos preenchidos com carbonatos secundários (carbonato de cálcio) e o EOT (2009) de El Tambo, indica que a noroeste em direção a El Peñol, existem rochas ígneas (ultrabásicas) ricas em magnésio, o que está associado ao que é proposto por Rubio et al. (2015) e Solis et al. (2018) que afirmam que as concentrações de cálcio e magnésio geram dureza na água; Além disso, Brousett e colaboradores (2018) mencionam que os sais estão diretamente relacionados com a dureza das águas, sendo que as águas subterrâneas apresentaram maior dureza em relação às águas superficiais, isso porque as águas subterrâneas atravessam depósitos geológicos que contêm elementos minerais que a produzem e devido ao seu poder solvente dissolve-os e incorpora-os. Da mesma forma, a dureza pode ser maior em corpos d'água em épocas de pouca chuva ou níveis baixos de água (Rodríguez et al. 2017), apresentada na área de estudo nos meses de junho, julho e agosto (Corponariño 2015b).

O parâmetro de cor aparente está em conformidade com os valores máximos admissíveis na Resolução 2115 de 2007 e a turbidez está acima do valor máximo admissível. De acordo com o Plano de Ordenamento e Gestão da Bacia Hidrográfica do POMCA do Rio Guáitara" (Corponariño, 2015b) para os municípios em estudo, o regime de chuvas apresenta um comportamento de precipitação bimodal amena, com períodos chuvosos nos meses de março, abril, maio, outubro, novembro e dezembro e, épocas de seca nos demais meses do ano, principalmente nos meses de junho, julho e agosto. Com as análises da água para o período de 2019, determinou-se que os parâmetros de cor aparente e turbidez estão geralmente em valores elevados no período chuvoso, contaminando as fontes de água superficiais pela lavagem dos solos, que transportam sedimentos e compostos poluentes produtos de atividades antrópicas como agricultura, gado e criação de animais de fazenda (Rodríguez et al. 2017).

O cloro residual está dentro dos limites admissíveis pela Resolução 2115 de 2007, apresentou diferença significativa entre os municípios; isso pode ser devido ao fato de o cloro ser o método de desinfecção mais utilizado devido ao seu baixo custo (Dias et al. 2020). Nas áreas rurais colombianas,

o cloro é adicionado de forma artesanal, sem controle, baixa tecnificação e dosagens inadequadas; Belmino et al. (2018) afirmam que um tempo de permanência elevado favoreceu o crescimento bacteriano e a perda de desinfetante residual, dificultando a manutenção de uma concentração ótima de cloro residual livre; por esse motivo, Dias et al. (2020) mencionam que o controle da dosagem deve ser realizado para evitar subprodutos contrários ao cloro residual livre.

Os cloretos estão dentro dos limites admissíveis pela Resolução 2115 de 2007 e não apresentaram diferenças significativas, atribuídas à ausência ou baixa atividade industrial que possam aportar esse composto, pequena população e limitação da atividade agrícola nas partes superiores da bacia (Pérez et al. 2019) e/ou pelas chuvas que transportam partículas inorgânicas e substâncias dissolvidas que dão origem a esse composto (Brousett et al. 2021).

Coliformes totais e *Escherichia coli*, apesar de apresentarem diferenças significativas nos dois municípios, estão acima do valor máximo admissível pela Resolução 2115 de 2007. Isso pode ser devido ao fato de muitas das fontes de abastecimento estarem próximas a áreas de atividades agrícolas, avícolas, suínos, gado, ou despejo de resíduos domésticos e esgotos, contribuindo para a concentração de matéria orgânica e a contribuição de águas residuais estar acima da norma (Miravet et al. 2016; Mayorga et al. 2018; Fernández et al. 2021); por outro lado, a contaminação do também pode ser causada pelo crescimento descontrolado e não planejado (invasão) de populações rurais localizadas no entorno dos mananciais (Bracho et al. 2017; Flores et al. 2019).

O cálculo do IRCA mensal e do nível de Risco do município de EL Tambo mostra que o IRCA para os meses alta precipitação como abril (37,98), novembro (51,1) e dezembro (51,45) são todos de classificação de risco “Alto”, também assim como o município de EL Peñol, o IRCA no mês de maio (42,95) é classificado como risco “Alto” e de outra forma nos meses de baixa pluviosidade como agosto, tanto no município de El Peñol como no El Tambo com IRCAS (6,21 e 12,42) respectivamente, ambos apresentam um risco de classificação “Baixo”.

Ambos os municípios para o ano de 2019 houve uma maior proporção de fontes de água de risco “Alto”, que coincidem com os meses de maior pluviosidade. De acordo com o Plano de Ordenamento e Gestão da Bacia Hidrográfica do Rio Guáitara (2015) (Corponariño, 2015b) a estação chuvosa e seca ocorre uma vez por semestre, sendo o primeiro semestre o período chuvoso em abril e maio e, no segundo semestre, nos meses de outubro, novembro e dezembro onde se evidenciam IRCAS “Alto”, possivelmente devido à lavagem de solos que carregam matéria orgânica e poluentes químicos, físicos e biológicos (Ospina, 2015) e caso contrário, nas estações secas de junho, julho, agosto e setembro mostraram os níveis mais baixos do IRCAS; como consideração, não se tiveram em conta parâmetros como nitritos, nitratos, flúor e o parâmetro fosfato que este pode se ver afetado naturalmente por rocha fosfática e por atividades antropogênicas como esgoto doméstico e industrial (Calvo, 2013).

Por outra parte, as fontes de água que abastecem os lares comunitários tradicionais rurais dos municípios de El Peñol e El Tambo, não possuem água de boa qualidade para consumo humano, portanto, todas LCTR apresentam risco de qualidade da água entre “Médio para Alto”, pelo tanto, se aceita a hipótese H3, onde as fontes abastecedoras de LCTR não são adequados no município de El Peñol e El Tambo.

## Conclusões

Os parâmetros que mais afetam o IRCA nas fontes de abastecimento de LCTR nos municípios de El Peñol e El Tambo são turbidez, coliformes totais e *Escherichia coli*, devido a que estas fontes se encontram pouco protegidas com mata ciliar para o desenvolvimento de atividades agrícolas principalmente de cultivos semestrais e atividades pecuárias como gado bovino e suinocultura.

Foi corroborada diferenças estatísticas para os parâmetros cor aparente, cloro residual, pH, turbidez, alcalinidade total, dureza total, coliformes totais e *Escherichia coli* entre os municípios de El Peñol e El Tambo com exceção dos cloretos, hipoteticamente como resultado do distanciamento diferenciado do Vulcão Galeras, formação geológica e composição química de ambos municípios e, por se tratar de uma sub-região com índice pluviométrico de regime tipo bimodal com meses de chuvas fortes e períodos de estiagem prolongada.

Os municípios de El Peñol e El Tambo apresentam uma qualidade de água inadequada para o consumo humano, considerando que as fontes de abastecimento dos lares comunitários na sua maioria apresentam um risco entre “Médio” e “Alto”, principalmente nos períodos de chuvas em abril, maio, outubro, novembro e dezembro, que segundo Resolução colombiana 2115 de 2007, representam uma ameaça à saúde humana na população vulnerável em menores de idade.

**Participação dos autores:** CAD – coleta, análises estatísticas, interpretação dos resultados e discussão, redação das conclusões, tradução em língua portuguesa, verificação de plágio e realizar correções e sugestões da Revista Gaia Scientia; HFL – concepção do projeto e delineamento amostral, orientação, interpretação dos resultados e discussão, revisão e redação; CSP - interpretação dos resultados e discussão, orientação e revisão do texto.

**Aprovação ética ou licenças de pesquisa:** projeto desenvolvido na Colômbia, que não tem exigência de Comitê de Ética, no entanto, os autores apresentaram documento comprovando que o projeto foi desenvolvido por meio de um acordo institucional com a Universidade de Nariño e com a autorização do Governo de Nariño e do Instituto Departamental de Saúde de Nariño.

**Disponibilidade dos dados:** os dados de qualidade da água com os quais a pesquisa deste artigo foi desenvolvida, estarão disponíveis no projeto “Avaliação de tecnologias não convencionais e sua apropriação social para o acesso à água potável para melhorar as condições de saúde das instituições de ensino e cozinhas de lares comunitários tradicionais, convênio 141119” e na dissertação do primeiro autor, disponível no repositório da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (<https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/46872>).

**Fomento:** Governo de Nariño, Colômbia, financiou o estudo através do projeto “Avaliação de tecnologias não convencionais e sua apropriação social para o acesso à água potável para melhorar as condições de saúde das instituições de ensino e cozinhas de lares comunitários tradicionais, convênio 141119”. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos em nível de Mestrado concedida ao primeiro autor.

**Conflito de interesses:** os autores declaram não haver conflitos de interesses.

## Referências

Alzate A, Aristizábal D, Jaramillo M, Osorio C, Amariles C. 2020. Evaluación de la sensibilidad y compresibilidad de suelos derivados de cenizas volcánicas en suelos de expansión urbana del municipio de Pereira (capítulo II). Editorial UTP, universidad tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia, p. 479.

Belmino da Silva G, Belmon M, Diniz F, de Amorim M, de Oliveira R, Silveira R, Brito dos Santos W. 2018. Simulação do decaimento de cloro residual livre em reservatórios de distribuição de água. Revista DAE 67(218):92-103. doi: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.036>

Bracho-Fernández I, Fernández-Rodríguez M. 2017. Evaluación de la calidad de las aguas para consumo humano en la comunidad venezolana de San Valentín, Maracaibo. *Minería y Geología* 33(3):341-352.

Brousett-Minaya M, Chambi A, Mollocond M, Aguilar L, Lujano E. 2018. Evaluación Físico-Química y Microbiológica de Agua para Consumo Humano Puno - Perú. *Fides et Ratio. Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia* 15(15):47-68.

Brousett-Minaya M, Rondan-Sanabria G, Chirinos-Marroquín M, Biamont-Rojas I. 2021. Impacto de la Minería en Aguas Superficiales de la Región Puno-Perú. *Fides et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia* 21(21): 187-208.

Calvo G. 2013. Nueva metodología para valorar la calidad de las aguas superficiales para su uso como clase 2 en Costa Rica. *Tecnología en marcha* 26(2):9-19.

Castrillón Y, Acevedo C, Rojas J. 2020. Evaluation of the drinking water treatment system (STAP) San Fernando–Los Patios urbanization, Colombia. Efficiency and quality. *Revista UIS Ingenierías* 19(4):149-156. doi: <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n4-2020013>

Colombia. Gobernación de Nariño Plan Departamental de Agua PAP-PDA; Grupo De Investigación Ambiental – GIA, Universidad Mariana. 2016. Manual para la identificación de necesidades de agua potables y saneamiento básico. San Juan de Pasto: UNIMAR.

Colombia. Gobernación de Nariño. “Plan de Desarrollo Departamental de Nariño para el periodo 2020-2023”. 2020. Mi Nariño en defensa de lo nuestro. 2020-2023. Ordenanza N° 009 del 25 de junio del 2020.

Colombia. Instituto Departamental de Salud de Nariño - IDSN. Eventos de Notificación Obligatorio en Salud (ENOS). 2021.

Colombia. Instituto Nacional de Salud - INS. Enfermedades Vehiculizadas por Agua (EVA) e índice de riesgo de la calidad agua (IRCA) en Colombia 2015. Bogotá, Colombia, 2019.

Colombia. Instituto Nacional de Salud - INS. Boletín de Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Bogotá, Colombia, 2019.

Colombia. Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 2115, del 22 de junio del 2007. Bogotá, 2007.

Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio - Minvivienda. La realidad del acceso al agua en zonas rurales de Colombia, ASIR-SABA (Agua y saneamiento integral rural Colombia), 2019.

Colombia. Ministerios de Salud y Protección Social - Minsalud. Informe nacional de la calidad del agua para consumo humano 2017. Bogotá, 2019.

Córdoba J, Acosta R, Pacheco J, Ramírez C. 2016. Recopilación de experiencias en la potabilización del agua por medio del uso de filtros. *INVENTUM* 11(20):53-60.

Corporación Autónoma Regional de Nariño - CORPONARIÑO 2015a. Formulación POMCA (Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica) RIO JUANAMBÚ- elaboración del plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Juanambú. Documento de la fase de diagnóstico POMCA río Juanambú, Caracterización básica de la Cuenca.

Corporación Autónoma Regional de Nariño - CORPONARIÑO 2015b. Formulación POMCA (Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica) RIO GUÁITARA- elaboración del plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Guáitara. Fase de Diagnóstico, caracterización del medio físico biótico.

Dias C, Librantz A, Santos F. 2020. Modeling and simulation of an intelligent system for dosage control of post-chlorination in water treatment plants. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* 25(2):323-332.

El Peñol, Nariño. Plan de desarrollo Municipal- PDM. 2019. Somos más al servicio de la comunidad, por un gobierno de gestión de equidad y justicia social. 2020-2023.

- El Tambo, Nariño. Plan de desarrollo de El Tambo-PDT. 2015. El Tambo avanza para seguir creciendo. 2016-2019.
- Esquema de Ordenamiento Territorial - EOT. Municipio de El Peñol, 2014.
- Esquema de Ordenamiento Territorial - EOT. Municipio de El Tambo, 2009.
- Fernández-Rodríguez M, Guardado-Lacaba R. 2021. Evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICAsup) en el río Cabaña, Moa-Cuba. *Minería y Geología* 37(1):105-119.
- Flores H, León F, García V, Gilabert G. 2019. Evaluación físico, químico y microbiológico de las aguas del río Nanay a orillas de la comunidad de Nina Rumi. *Revista Ciencia y Tecnología* 15(1):113-122.
- García L, Arguello A, Parra R, Pincay M. 2019. Factores que influyen en el pH del agua mediante la aplicación de modelos de regresión lineal. *INNOVA Research Journal*, 4(2): 59-71. doi: <https://doi.org/10.33890/innova.v4.n2.2019.909>
- García L, Schlatter J. 2012. Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 7(3):456-464. doi: <https://doi.org/10.5039/agraria.v7i3a1736>
- Jofre-Meléndez R., Cervantes-Pérez J, Barradas V. 2015. Calidad del agua de la niebla captada artificialmente en la microcuenca del río Pixquiác, Veracruz, México: resultados preliminares. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas* 18(2):122-130.
- Leaño J, Pérez D. 2020. Determinación de la Calidad del Agua mediante el índice BMWP/BOL (bioindicadores ecológicos) del Río Trancas, Municipio de Entre Ríos - Tarija. *RevActaNova*. Cochabamba, 9(4):567-591.
- Leonel H, Morales D, Narváez N. 2019. Agua segura una opción de vida: estudio de caso comunidad CAMAWARI, Resguardo Indígena Alto Cartagena, Ricaurte, Nariño, 1 ed., Pasto: Editorial Universidad de Nariño, 112 p.
- Lozano-Rivas W. 2013. Calidad fisicoquímica del agua.: Métodos simplificados para su muestreo y análisis, Universidad Piloto de Colombia, 1 ed., Bogotá.
- Mayorga N, Carbonel C. 2018. Evaluación de la calidad del agua de la microcuenca del río Chibunga-Ecuador en variaciones estacionales, periodo 2013-2017. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica* 21(42):13-26.
- Miravet B, García A, Del Castillo P, García G, Salinas E. 2016. Calidad de las aguas del río Ariguanabo según índices físico-químicos y bioindicadores. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental* 37(2):108-122.
- Nitasha K, Sanjiv T, Deepak R. 2016. Assessment of drinking water quality and its health effects in rural areas of Harij Taluka, Patan District of Northern Gujarat. *Environmental Claims Journal* 28(3):223-246. doi: <https://doi.org/10.1080/10406026.2016.1190249>
- Organização Mundial de Saúde (OMS) 2019. Água.
- Ospina O, García G, Gordillo J, Tovar K. 2015. Evaluación de la turbiedad y la conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el río Combeima (Ibagué, Colombia). *Ingeniería solidaria* 12(19):19-36. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v12i19.1191>
- Pérez J, Ortega H, Ramírez C, Flores H, Sánchez E, Can Á, Mancilla O. (2019). Concentración de nitrato, fosfato, boro y cloruro en el agua del río Lerma. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 6(16):175-182. doi: <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1829>
- Rodriguez M, Moraña L, Salusso M, Seghezzi L. 2017. Spatial and seasonal characterization of the drinking water from various sources in a peri-urban town of Salta. *Revista Argentina de microbiología* 49(4):366-376. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.006>
- Rubio H, Balderrama L, Burrola E, Aguilar G, Saucedo R. 2015. Niveles de contaminación del agua potable en la cabecera municipal de Ascención, Chihuahua, México. *Nova scientia* 7(14):178-201.

Sierra C. 2011. Calidad del agua, evaluación y diagnóstico, 1 ed., Medellín. 2011.

Solis Y, Zuñiga L, Mora D. 2018. La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. Revista Tecnología en Marcha, 31(1):35-46. doi: <https://doi.org/10.19136/10.18845/tm.v31i1.3495>

Torres C, García C, García J, García M, Pacheco R. 2017. Agua segura para comunidades rurales a partir de un sistema alternativo de filtración. Revista de Salud Pública 19:453-459. doi: <https://doi.org/10.19136/10.15446/rsap.v19n4.56039>



Esta obra está licenciada com uma *Licença Creative Commons Atribuição Não-Comercial 4.0 Internacional*.