

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA. -

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Calidad del agua potable

El agua que se suministre mediante los sistemas de distribución, debe cumplir los requisitos físico-químicos, microbiológicos y radiológicos establecidos en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos). (VSB, 2004).

1.2 Aspectos microbiológicos

La garantía de la inocuidad microbiana del abastecimiento de agua de consumo se basa en la aplicación, desde la cuenca de captación al consumidor, de barreras múltiples para evitar la contaminación del agua de consumo o para reducirla a niveles que no sean perjudiciales para la salud. La seguridad del agua se mejora mediante la implantación de barreras múltiples, como la protección de los recursos hídricos, la selección y aplicación correctas de una serie de operaciones de tratamiento, y la gestión de los sistemas de distribución (por tuberías o de otro tipo) para mantener y proteger la calidad del agua tratada. La estrategia preferida es un sistema de gestión que hace hincapié en la prevención o reducción de la entrada de patógenos a los recursos hídricos y que reduce la dependencia en las operaciones de tratamiento para la eliminación de patógenos. (OMS, 2006)

Las posibles consecuencias para la salud de la contaminación microbiana son tales que su control debe ser siempre un objetivo de importancia primordial y nunca debe comprometerse. (OMS, 2006)

En términos generales, los mayores riesgos microbianos son los derivados del consumo de agua contaminada con excrementos humanos o animales (incluidos los de las aves). Los excrementos pueden ser fuente de patógenos, como bacterias, virus, protozoos y helmintos. (OMS, 2006)

Los patógenos fecales son los que más preocupan a la hora de fijar metas de protección de la salud relativas a la inocuidad microbiana. Se producen con frecuencia variaciones acusadas y bruscas de la calidad microbiológica del agua. Pueden producirse aumentos repentinos de la concentración de patógenos que pueden aumentar considerablemente el riesgo de enfermedades y pueden desencadenar brotes de enfermedades transmitidas por el agua. Además, pueden exponerse a las enfermedades numerosas personas antes de que se detecte la contaminación microbiana. Por estos motivos, para garantizar la inocuidad microbiana del agua de consumo no puede confiarse únicamente en la realización de análisis del producto final, incluso si se realizan con frecuencia. (OMS, 2006)

Los patógenos fecales, pueden tener importancia para la salud pública en determinadas circunstancias otros peligros microbianos (por ejemplo, el dracunculo [dracunculus Medinensis], las cianobacterias tóxicas y las legionelas). Las formas infecciosas de muchos Helminetos, como los nematodos y platelmintos parásitos, pueden transmitirse a las personas por medio del agua de consumo. El agua de consumo no debe contener larvas maduras ni huevos fertilizados, ya que un único ejemplar puede ocasionar una infección. No obstante, el agua es una vía relativamente poco importante de infección por helmintos (gusanos). (OMS, 2006)

Las Legionelas son bacterias ubicadas en el medio ambiente y pueden proliferar a las temperaturas elevadas existentes en ocasiones en los sistemas de distribución de agua de consumo entubada, sobre todo en los sistemas de distribución de agua caliente y templada. La exposición a las legionelas presentes en el agua de consumo se produce mediante inhalación y puede evitarse mediante la aplicación de medidas básicas de gestión de la calidad del agua en los edificios y mediante el mantenimiento de concentraciones residuales de desinfectantes en todo el sistema de distribución por tuberías. El peligro para la salud pública de las cianobacterias deriva de su capacidad de producir diversas toxinas, conocidas como «cianotoxinas». Al contrario que las bacterias patógenas, las cianobacterias no se multiplican en el organismo humano tras

su ingestión, sino únicamente en el agua antes de ser ingerida. Si bien los péptidos tóxicos (por ejemplo, las microcistinas) se encuentran habitualmente en el interior de las células y pueden, por consiguiente, eliminarse, en gran parte, por filtración, se liberan también al agua alcaloides tóxicos, como la cilindrospermopsina y las neurotoxinas, que pueden atravesar los sistemas de filtración. (OMS, 2006)

1.3 Coliformes totales

Las bacterias pertenecientes al grupo de los Coliformes totales (excluida *Escherichia Coli*) están presentes tanto en aguas residuales como en aguas naturales. Algunas de estas bacterias se excretan en las heces de personas y animales, pero muchos coliformes son heterótrofos y capaces de multiplicarse en suelos y medios acuáticos. Los coliformes totales pueden también sobrevivir y proliferar en sistemas de distribución de agua, sobre todo en presencia de biopelículas. El grupo de los coliformes totales incluye microorganismos que pueden sobrevivir y proliferar en el agua. Por consiguiente, no son útiles como índice de agentes patógenos fecales, pero pueden utilizarse como indicador de la eficacia de tratamientos y para evaluar la limpieza e integridad de sistemas de distribución y la posible presencia de biopelículas. (OMS, 2006)

El análisis de los coliformes totales, como indicador de desinfección, es mucho más lento y menos fiable que la medición directa de la concentración residual de desinfectante. (OMS, 2006)

1.4 Infecciones transmitidas por el agua

Existen diversos tipos de agentes patógenos que pueden transmitirse por el agua de consumo contaminada. El cuadro proporciona información general sobre agentes patógenos importantes en la gestión de sistemas de abastecimiento de agua de consumo. La gama de agentes patógenos cambia en función de factores variables como el aumento de las poblaciones de personas y animales, el incremento del uso de aguas residuales, los cambios de los hábitos de la población o de las intervenciones médicas, las migraciones y viajes de la población, y presiones selectivas que favorecen la

aparición de agentes patógenos nuevos o mutantes, o de recombinaciones de los agentes patógenos existentes. También existe una considerable variabilidad en la inmunidad de las personas, ya sea adquirida por contacto con un agente patógeno o determinada por factores como la edad, el sexo, el estado de salud y las condiciones de vida. (OMS, 2006)

TABLA N°1
AGENTES PATÓGENOS TRANSMITIDOS POR EL AGUA Y SU IMPORTANCIA
EN LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.

Agente patógeno.	Importancia para la salud.	Persistencia en los sistemas de abastecimiento de agua.	Resistencia al Cloro.	Inefectividad relativa.	Fuente animal importante.
Bacterias					
Burkholderia pseudomalle	Baja	Puede	Baja	Baja	No
Campylobacter jejuni, C. coli	Alta	Proliferar	Baja	Moderada	Sí
Escherichia coli patógena	Alta	Moderada	Baja	Baja	Sí
E.coli enterohemorrágica	Alta	Moderada	Baja	Alta	Sí
Legionella spp.	Alta	Moderada	Baja	Moderada	No
Micoacterias no tuberculosas	Baja	Prolifera	Alta	Baja	No
Pseudomonas aeruginosae	Moderada	Prolifera	Moderada	Baja	No
Salmonella typhi	Alta	Puede	Baja	Baja	No
Otras salmonelas	Alta	Prolifera	Baja	Baja	Sí
Shigella spp.	Alta	Moderada	Baja	Moderada	No

Vibrio cholerae	Alta	Puede	Baja	Baja	No
Yersinia enterocolitica.	Alta	Proliferar	Baja	Baja	Sí
Virus					
Adenovirus.	Alta	Larga	Moderada	Alta	No
Enterovirus.	Alta	Larga	Moderada	Alta	No
Virus de la hepatitis A.	Alta	Larga	Moderada	Alta	No
Virus de la hepatitis E.	Alta	Larga	Moderada	Alta	Potencialmente
Norovirus y sapovirus.	Alta	Larga	Moderada	Alta	Potencialmente
Rotavirus.	Alta	Larga	Moderada	Alta	No
Protozoos.					
Acanthamoeba spp.	Alta	Larga	Alta	Alta	No
Cryptosporidium parvum.	Alta	Larga	Alta	Alta	Sí
Cyclospora cayetanensis.	Alta	Larga	Alta	Alta	No
Entamoeba histolytica.	Alta	Moderada	Alta	Alta	No
Giardia intestinalis.	Alta	Moderada	Alta	Alta	Sí
Naegleria fowleri	Alta	Puede proliferar	Alta	Alta	No
Toxoplasma gondii	Alta	Larga	Alta	Alta	Sí
Helelmintos.					

Dracunculus medinensis.	Alta	Moderada	Moderada	Alta	No
Schistosoma spp.	Alta	Corta	Moderada	Alta	Sí

Fuente: OMS.2006

Nota: La transmisión por el agua de los agentes patógenos incluidos en el cuadro ha sido confirmada mediante estudios epidemiológicos e historias clínicas. La comprobación de la patogenicidad se basa, en parte, en la reproducción de la enfermedad en hospedadores adecuados. El valor de la información de estudios experimentales en los que se expone a voluntarios a concentraciones conocidas de agentes patógenos es relativo; como la mayoría de los estudios se realizan con voluntarios adultos sanos, la información obtenida sólo es aplicable a una parte de la población expuesta y la extrapolación a grupos más vulnerables debe estudiarse más a fondo. Periodo de detección del estado infeccioso en agua a 20 °C: persistencia corta: hasta 1 semana; moderada: de 1 semana a 1 mes; larga: más de 1 mes.

Reflejando el estado infeccioso en suspensión libre en agua tratada con dosis y tiempos de contacto convencionales, la resistencia es «moderada» si es posible que el agente no sea destruido completamente. (OMS, 2006)

Incluye los tipos enteropatógenos, enterotoxígenos y enteroinvasivos, la vía de infección principal es por contacto con la piel, pero puede infectar a enfermos de cáncer o personas inmunodeficientes por vía oral y en agua templada. (OMS, 2006).

1.5 Efectos sobre la salud humana

Las bacterias del género *Acinetobacter* suelen ser comensales, pero en ocasiones producen infecciones, sobre todo en pacientes vulnerables, en los hospitales. Son patógenos oportunistas que pueden ocasionar infecciones de las vías urinarias, neumonía, bacteriemia, meningitis secundaria e infecciones de heridas. Predisponen a estas enfermedades factores como los tumores malignos, las quemaduras, la cirugía mayor y la inmunodepresión, por ejemplo, en neonatos y ancianos. La aparición y rápida propagación de bacterias multirresistentes del complejo A, *calcoaceticus-*

baumannii, que ocasionan infecciones nosocomiales, son motivo de preocupación en centros de atención de salud. (OMS, 2006)

1.6 Etapa de pretratamiento

Las operaciones de coagulación, floculación, sedimentación (o flotación) y filtración retiran partículas del agua, incluidos los microorganismos (bacterias, virus y protozoos). Es importante optimizar y controlar las operaciones para lograr un rendimiento constante y confiable. (OMS, 2006)

La coagulación es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, para favorecer su aglomeración; en consecuencia, se eliminan las materias en suspensiones estables; la coagulación no solo elimina la turbiedad sino también la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos. (Andía Y, 2000)

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar. (Andía Y, 2000)

En el tratamiento del agua de consumo se utilizan diversos procesos de filtración, incluida la filtración granular, la filtración lenta en arena, la filtración de precapa y la filtración de membrana (microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa). Bien diseñada y funcionando correctamente, la filtración puede actuar como barrera permanente y eficaz contra microbios patógenos; en algunos casos, puede ser la única barrera (por ejemplo, para la eliminación de ooquistes de *Cryptosporidium* mediante filtración directa cuando se usa cloro como único desinfectante). (OMS, 2006)

Las aguas crudas se deben someter en una primera instancia a la etapa de pretratamiento, que tiene por objeto separar del agua el material que por su naturaleza y tamaño no permite su depuración. (OMS, 2006)

1.7 Desinfección

La desinfección es una operación de importancia incuestionable para el suministro de agua potable. La destrucción de microorganismos patógenos es una operación fundamental que muy frecuentemente se realiza mediante productos químicos reactivos como el Cloro. (OMS, 2006)

La desinfección constituye una barrera eficaz para numerosos patógenos (especialmente las bacterias) durante el tratamiento del agua de consumo y debe utilizarse tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas expuestas a la contaminación fecal. La desinfección residual se utiliza como protección parcial contra la contaminación con concentraciones bajas de microorganismos y su proliferación en el sistema de distribución. La desinfección química de un sistema de abastecimiento de agua de consumo que presenta contaminación fecal reducirá el riesgo general de enfermedades, pero no garantizará necesariamente la seguridad del suministro. Por ejemplo, la desinfección con Cloro del agua de consumo tiene una eficacia limitada frente a los protozoos patógenos —en particular *Cryptosporidium*— y frente a algunos virus. La eficacia de la desinfección puede también ser insatisfactoria frente a patógenos presentes en flóculos o partículas que los protegen de la acción del desinfectante. Una turbidez elevada puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y generar una demanda significativa de Cloro. Una estrategia general de gestión eficaz añade a la desinfección, para evitar o eliminar la contaminación microbiana, barreras múltiples, como la protección del agua de origen y operaciones de tratamiento adecuado, así como la protección del agua durante su almacenamiento y distribución. (OMS, 2006)

El uso de productos químicos desinfectantes en el tratamiento del agua genera habitualmente subproductos. No obstante, los riesgos para la salud que ocasionan estos

subproductos son extremadamente pequeños en comparación con los asociados a una desinfección insuficiente, y es importante que el intento de controlar la concentración de estos subproductos no limite la eficacia de la desinfección. (OMS, 2006)

El intento de controlar los subproductos de la desinfección (SPD) no debe poner en peligro la desinfección. (OMS, 2006)

Puede medirse y controlarse fácilmente la concentración de algunos desinfectantes del agua de consumo, como el Cloro, y se recomienda realizar análisis frecuentes si se practica la cloración del agua. (OMS, 2006).

La dosificación de desinfectantes (dosis) debe determinarse en laboratorio a través de la Prueba de Demanda de Cloro. Debe tenerse en cuenta que la demanda de Cloro de cualquier agua, varía con la cantidad de Cloro que se aplique, con el tiempo de contacto del que se dispone en la planta de tratamiento con el pH y con la temperatura. (OMS, 2006)

TABLA N° 2

COMPUESTOS DESINFECTANTES UTILIZADOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS

COMPUESTO	FÓRMULA	PRESENTACIÓN	CONCENTRACIÓN COMERCIAL
Cloro.	Cl ₂	Gas líquido bajo presión.	99,5%
Hipoclorito de Calcio.	Ca(ClO) ₂ .4H ₂ O	Granular polvo.	65% de Cloro disponible en peso (mínimo)
Hipoclorito de Sodio.	NaOCl	Solución.	10% de Cloro disponible en peso (mínimo)

Fuente: OMS,2006

1.8 Cloración.

Consiste en la adición de Cloro en forma de Cloro gas, aplicable a sistemas de abastecimiento grandes (urbanos), de sales de Cloro, hipocloritos de calcio y soluciones de hipoclorito de sodio, aplicables a pequeños sistemas. Las características y especificaciones que deben cumplir cada una de estas sustancias se encuentran referenciadas en la NB 648 – 95, NB 649 – 95. (VSB, 2004)

Se debe adoptar como método de desinfección para sistemas públicos de aprovisionamiento de aguas para consumo y uso humano, en consideración a que presenta Cloro residual que mantiene desinfectada la infraestructura de almacenamiento y transporte del agua. (VSB, 2004)

La aplicación de las sales y soluciones de Cloro se realizó a través de dosificadores de altura constante cuyo error de dosificación no sobrepase el 10 %. La dosificación se realizó en las zonas de alta turbulencia (salida de los filtros o ingreso a los tanques de almacenamiento), de manera que se garantice la mezcla del desinfectante con el agua. (VSB, 2004).

1.8.1 Trihalometanos (THMs) Subproductos de la desinfección por cloración (SPD)

Si el agua contiene elementos y sustancias químicas como materia orgánica, bromatos, cloratos, entre otros, pueden formarse subproductos indeseables durante la desinfección, como son los compuestos organoclorados como los THMs (trihalometanos): (Fustamante N, 2017)

Los trihalometanos (THMs) se forman en el agua de consumo principalmente como consecuencia de la cloración de la materia orgánica presente de forma natural en los sistemas de abastecimiento de agua bruta. La tasa y el grado de formación de THMs aumentan en función de la concentración de cloro y de ácidos húmicos, la temperatura, el pH y la concentración de ion bromuro. El cloroformo es el trihalometano más común y el principal subproducto de la desinfección presente en el agua de consumo clorada.

En presencia de bromuros, se forman preferentemente trihalometanos bromados y las concentraciones de cloroformo disminuyen proporcionalmente. Se presupone que la mayoría de los trihalometanos presentes en el agua se transfieren en última instancia al aire debido a su volatilidad. Por ejemplo: Las personas pueden exponerse durante la ducha a concentraciones elevadas de cloroformo del agua de grifo clorada. Hay cuatro fuentes que contribuyen, aproximadamente en partes iguales, a la exposición total a trihalometanos volátiles: la ingestión de agua de consumo, la inhalación de aire de espacios interiores (en gran medida por la volatilización desde el agua de consumo), la inhalación y exposición cutánea durante la ducha o el baño, y la ingestión de alimentos. Todas, excepto la exposición por los alimentos, se derivan principalmente del agua de consumo. La exposición a los trihalometanos volátiles presentes en el aire de espacios interiores es especialmente importante en países con ventilación escasa en las casas y frecuencias altas de duchas y baños. (OMS, 2006).

TABLA N°3

VALORES DE REFERENCIA DE LOS PRODUCTOS DE LOS THMs

Valores de referencia.	
Cloroformo.	0,3 mg/l
Bromoformo.	0,1 mg/l
Dibromoclorometano (DBCM)	0,1 mg/l
Bromodiclorometano (BDCM)	0,06 mg/l
Presencia.	No se prevé la presencia de trihalometanos en el agua bruta (a menos que esté cerca de una fuente de contaminación), pero suelen hallarse en el agua tratada o clorada, generalmente en concentraciones menores que 100

	<p>$\mu\text{g}/\ell$. En la mayoría de las circunstancias, el cloroformo es el compuesto dominante.</p>
Límite de detección.	<p>0,1-0,2 $\mu\text{g}/\ell$ (Límites de detección del método) mediante purga y atrapamiento, extracción líquido-líquido e inyección acuosa directa en combinación con un sistema cromatográfico; 0,1 $\mu\text{g}/\ell$ mediante GC con ECD; 2,2 $\mu\text{g}/\ell$ mediante GC/MS</p>
Concentración alcanzable mediante tratamiento.	<p>Las concentraciones de cloroformo, bromoformo, BDCM y DBCM en el agua de consumo suelen ser menores que 0,05 mg/ℓ. Las concentraciones se pueden reducir mediante cambios en las técnicas de desinfección (por ejemplo: La reducción de precursores orgánicos de trihalometanos) o mediante arrastre con aire.</p>

Fuente: OMS, 2006.

1.9 Cómo actúa el Cloro.

Cuando se añade Cloro, éste purifica el agua al destruir la estructura celular de los organismos, lo cual los elimina. (Reed B, 2009).

Sin embargo, este proceso sólo funciona si el Cloro entra en contacto directo con los organismos. Si el agua contiene lodo, las bacterias se pueden esconder dentro del mismo y no son alcanzadas por el Cloro. (Reed B, 2009).

El Cloro necesita cierto tiempo para destruir todos los organismos. En agua a una temperatura mayor de 18°C, el Cloro debe estar en contacto con el agua, al menos, durante 30 minutos, si el agua está más fría, el tiempo de contacto se debe incrementar. (Reed B, 2009).

Por esta razón, es normal que se le añada Cloro al agua apenas se introduce en el tanque de almacenamiento o en una tubería larga de distribución, para darle tiempo a que el producto químico reaccione con el agua antes de llegar al consumidor. (Reed B, 2009).

La efectividad del Cloro también se ve afectada por el pH (acidez) del agua. La cloración no es efectiva si el pH es mayor de 7,2 o menor de 6,8. (Reed B, 2009).

1.10 Cloro residual o Cloro libre.

El Cloro se consume a medida que los organismos se destruyen, si se añade suficiente Cloro, quedará un poco en el agua luego de que se eliminen todos los organismos; se le llama Cloro libre. El Cloro residual permanece en el agua hasta perderse en el mundo exterior o hasta usarse para contrarrestar una nueva contaminación. (Reed B, 2009).

Por esta razón, si se analiza el agua y se encuentra que todavía existe Cloro residual en ella, se comprueba que la mayoría de los organismos peligrosos ya fueron eliminados del agua y, por lo tanto, es seguro consumirla. A este procedimiento lo conocemos como medición del Cloro residual. La medida del Cloro residual en un suministro de agua es un método simple pero importante para revisar si el agua que se suministra es segura para beber. (Reed B, 2009).

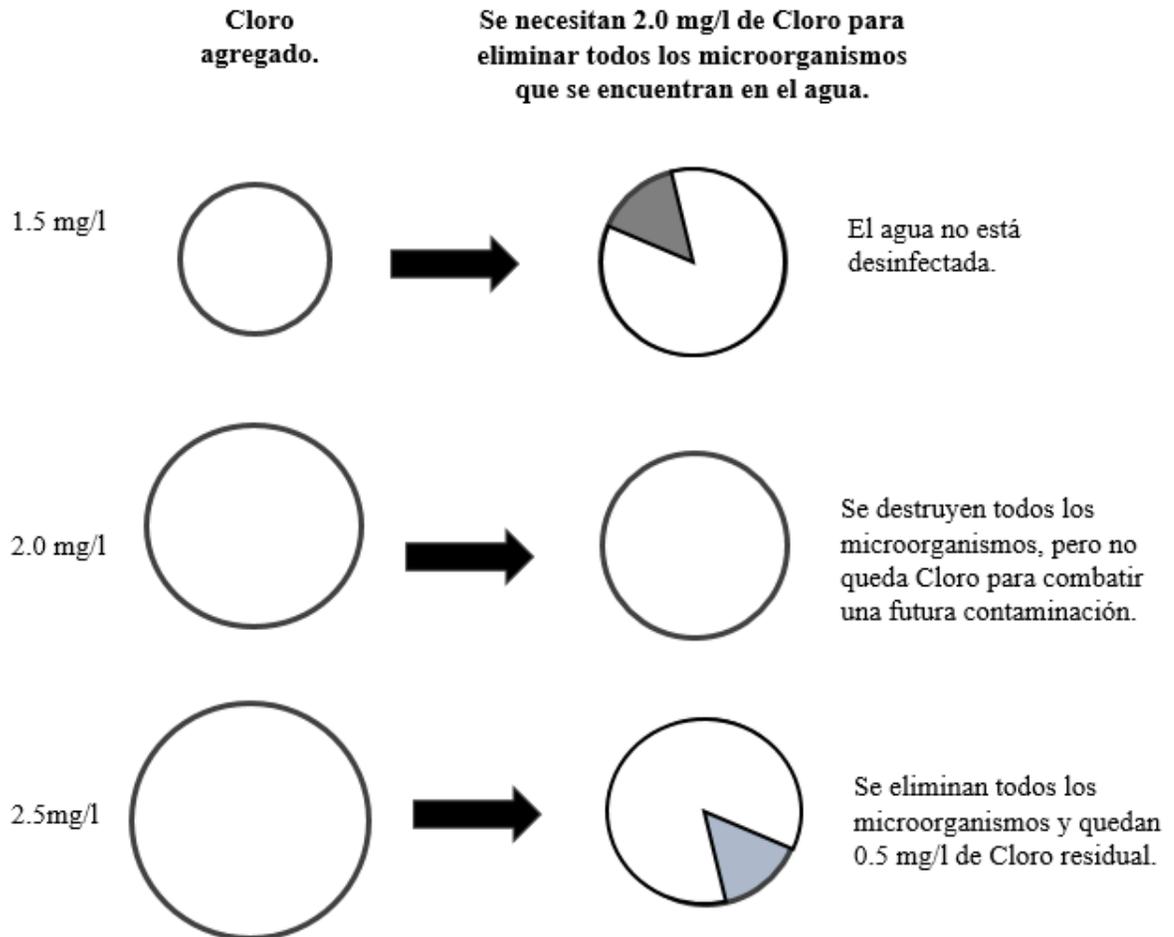
1.11 Cuándo y dónde se analiza el agua.

El Cloro se usa como desinfectante con mayor frecuencia cuando el agua se suministra mediante tuberías. La cloración regular de otros suministros de agua es difícil y se

reserva usualmente para la desinfección después de la reparación y el mantenimiento. Generalmente, el Cloro residual se determina en los siguientes puntos: (Reed B, 2009).

- Inmediatamente después de que se ha añadido el Cloro al agua para revisar que el proceso de cloración esté funcionando; (Reed B, 2009).
- En el sitio de entrega al público más cercano al punto de cloración, para verificar que los niveles de Cloro residual estén dentro de los límites establecidos (entre 0,5 y 0,2 mg/l); (Reed B, 2009).
- En el punto más lejano de la tubería, donde probablemente los niveles de Cloro residual sean los más bajos. Si los niveles de Cloro se encuentran por debajo de 0,2 mg/l, es necesario añadir más Cloro en un punto intermedio de la red de tuberías. (Reed B, 2009).

GRÁFICO N °1
CANTIDAD NECESARIA DE CLORO AGREGADO, PARA
TENER CLORO RESIDUAL



Fuente: Reed B, 2009.

En el gráfico N°1 se puede observar que al agregar 1.5mg/l de Cloro, durante el tratamiento de desinfección del agua, resulta insuficiente para la destrucción de todos los microorganismos presentes en el agua, por lo que es necesario aumentar la cantidad de Cloro agregada al agua, a 2,5 mg/l en este rango se eliminan todos los microorganismos y quedan 0,5mg/l de Cloro residual.

La cantidad de Cloro residual cambia durante el día y la noche. Si se asume que la red de tuberías está bajo presión todo el tiempo, existe una tendencia a que haya más Cloro residual en el sistema durante el día que durante la noche. Esto se debe a que el agua permanece en el sistema más tiempo durante la noche (Cuando la demanda es menor) y, por esta razón, existe una mayor oportunidad para que el agua contaminada consuma el Cloro residual. (Reed B, 2009).

El Cloro residual se debe revisar frecuentemente. Si el sistema es nuevo o se ha rehabilitado, se deben hacer chequeos diarios hasta que esté seguro de que el proceso de cloración está funcionando correctamente. Después de esto, haga, por lo menos, un control semanal. (Reed B, 2009).

1.12 Efectos sobre la salud humana del exceso de Cloro en el agua.

Al ser una sustancia tan activa, un exceso de Cloro puede reaccionar con distintos compuestos orgánicos, por lo que aumenta el riesgo de que se produzcan trihalometanos (THMs), que son compuestos carcinógenos para el ser humano. Los THMs se encuentran en el agua potable como resultado de la interacción del Cloro con materia orgánica natural que se encuentra en el agua. Estos estarán presentes mientras el agua contenga Cloro o hipoclorito, además de los precursores orgánicos. Es por esto que hay que mantener la cantidad de Cloro residual dentro de unos límites. (Sánchez A, 2008)

1.13 Aspectos relativos a la aceptabilidad.

El agua no debe presentar sabores u olores que pudieran resultar desagradables para la mayoría de los consumidores. Los consumidores evalúan la calidad del agua de consumo basándose principalmente en sus sentidos. Los componentes microbianos, químicos y físicos del agua pueden afectar a su aspecto, olor o sabor y el consumidor evaluará su calidad y aceptabilidad basándose en estos criterios; aunque es posible que estas sustancias no produzcan ningún efecto directo sobre la salud, los consumidores pueden considerar que el agua muy turbia, con mucho color, o que tiene un sabor u olor desagradable es insalubre y rechazarla. En casos extremos, los consumidores pueden

evitar consumir agua que es inocua pero inaceptable desde el punto de vista estético, y consumir en cambio agua de otras fuentes cuyo aspecto sea más agradable pero que puede ser insalubre. Es, por consiguiente, sensato conocer las percepciones del consumidor y tener en cuenta, además de los valores de referencia relacionados con efectos sobre la salud, criterios estéticos al evaluar sistemas de abastecimiento de agua de consumo y al elaborar reglamentos y normas. (OMS, 2006)

Los cambios en el aspecto, olor y sabor del agua de consumo de un sistema de abastecimiento con respecto a sus características organolépticas normales pueden señalar cambios en la calidad del agua bruta o cruda (sin tratar) de la fuente o deficiencias en las operaciones de tratamiento, y deben investigarse. (OMS, 2006)

a) Contaminantes de origen biológico.

Hay diversos organismos que pueden no tener relevancia para la salud pública, pero que no son deseables porque producen sabor y olor. Además de afectar a la aceptabilidad del agua, indican que su tratamiento o el estado de mantenimiento y reparación del sistema de distribución, o ambos, son insuficientes. (OMS, 2006)

b) Actinomicetos y hongos.

La presencia de actinomicetos y hongos puede ser abundante en fuentes de aguas superficiales, incluidas los embalses, y también pueden proliferar en materiales inadecuados para uso en los sistemas de distribución de agua, como el caucho que puede generar geosmina, 2-metil-isoborneol y otras sustancias, que confieren sabores y olores desagradables al agua de consumo. (OMS, 2006)

c) Cianobacterias y algas.

Las floraciones de cianobacterias y de otras algas en embalses y aguas fluviales pueden dificultar la coagulación y la filtración, lo que hace que el agua presente coloración y turbidez después de la filtración, también pueden generar geosmina, 2-metil-isoborneol y otras sustancias químicas que presentan umbrales gustativos en el agua de consumo

de unos pocos nanogramos por litro y algunas sustancias producidas por las cianobacterias (cianotoxinas) también tienen repercusión directa en la salud. (OMS, 2006)

d) Bacterias ferruginosas.

En aguas que contienen sales ferrosas y manganosas, su oxidación por bacterias ferruginosas (o por la exposición al aire) puede generar en las paredes de depósitos, tuberías y canales precipitados de color herrumbroso que pueden contaminar el agua. (OMS, 2006).

2. MARCO CONCEPTUAL

Agua Potable. –Es aquella que, por sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, se considera apta para el consumo humano y que cumple con lo establecido en la presente norma. (VSB, 2005)

Agua para Consumo Humano. - Agua que cumple con los requisitos de la norma NB 512, también se denomina agua potable. (VSB, 2005. NB-495)

Cloro Libre. - Es la cantidad de Cloro disponible para la desinfección del agua. Queda como remanente después de reaccionar con los compuestos presentes en el agua y está disponible para eliminación de patógenos, se determina como la suma del ácido hipocloroso más ion hipoclorito. (Fustamante N, 2017)

Cloro Residual. - Cantidad de Cloro libre, no combinado, presente en el agua potable; se expresa en miligramos por litro (mg/l). (VSB, 2005. NB-495)

Cantidad de Cloro presente en el agua luego de un período específico de tiempo. (OPS, 2007)

Desinfección. - Proceso que consiste en eliminar los microorganismos patógenos que pueden estar presentes en el agua, mediante el uso de equipos o sustancias químicas. (OPS, 2007)

La desinfección es una operación de importancia incuestionable para el suministro de agua potable. La destrucción de microorganismos patógenos es una operación fundamental que muy frecuentemente se realiza mediante productos químicos reactivos como el Cloro. (OMS, 2006)

Muestreo. - Acción que consiste en tomar muestras con el objeto de analizar sus propiedades y características. (VSB, 2005. NB-495)

Parámetro. -Nombre del elemento o compuesto a medirse mediante un procedimiento analítico de laboratorio. (VSB, 2005. NB-495)

Riesgo en Salud. - Probabilidad de ocasionar daño a la salud de los consumidores, debido a una operación defectuosa o contaminación en el sistema de abastecimiento de agua. (VSB, 2005. NB-495)

Sistema De Agua Potable. - Conjunto de estructuras, equipos, accesorios e instalaciones que tienen por objeto transformar la calidad del agua y transportarla desde la fuente de abastecimiento hasta los puntos de consumo, en condiciones adecuadas de calidad, cantidad y presión. (VSB, 2005. NB-495)

Turbiedad. - Parámetro que indica la capacidad para que un haz de luz atraviese un cuerpo de agua que se considera una característica organoléptica de la calidad del agua potable. (Fustamante N, 2017)

Hipoclorito de Calcio. -El hipoclorito cálcico es sólido y comercialmente se presenta en forma de grano fino o tabletas. Es más estable que las soluciones de hipoclorito sódico. Debe conservarse protegido de la humedad y en sitio fresco. (Pérez J y Espigares M, 1995)

Demanda de Cloro. – Se denomina así a la cantidad de Cloro que al entrar en contacto con el agua se consume, reaccionando con las sustancias presentes en ella y en la eliminación e inactivación de los microorganismos. (Fustamante N, 2017)

3. MARCO LEGAL

El presente documento fue elaborado con base a la Normativa actual vigente en el estado Plurinacional de Bolivia.

Constitución Política Del Estado Plurinacional De Bolivia

En su capítulo quinto: recursos hídricos los artículos 373 al 376

Artículo 373. I. El agua constituye un derecho fundamentalísimo para la vida, en el marco de la soberanía del pueblo. El Estado promoverá el uso y acceso al agua sobre la base de principios de solidaridad, complementariedad, reciprocidad, equidad, diversidad y sustentabilidad.

II. Los recursos hídricos en todos sus estados, superficiales y subterráneos, constituyen recursos finitos, vulnerables, estratégicos y cumplen una función social, cultural y ambiental. Estos recursos no podrán ser objeto de apropiaciones privadas y tanto ellos como sus servicios no serán concesionados y están sujetos a un régimen de licencias, registros y autorizaciones conforme a ley.

Artículo 374. I. El Estado protegerá y garantizará el uso prioritario del agua para la vida. Es deber del Estado gestionar, regular, proteger y planificar el uso adecuado y sustentable de los recursos hídricos, con participación social, garantizando el acceso al agua a todos sus habitantes. La ley establecerá las condiciones y limitaciones de todos los usos.

II. El Estado reconocerá, respetará y protegerá los usos y costumbres de las comunidades, de sus autoridades locales y de las organizaciones indígena originarias campesinas sobre el derecho, el manejo y la gestión sustentable del agua.

III. Las aguas fósiles, glaciales, humedales, subterráneas, minerales, medicinales y otras son prioritarias para el Estado, que deberá garantizar su conservación, protección, preservación, restauración, uso sustentable y gestión integral; son inalienables, inembargables e imprescriptibles.

Artículo 375. I. Es deber del Estado desarrollar planes de uso, conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de las cuencas hidrográficas.

II. El Estado regulará el manejo y gestión sustentable de los recursos hídricos y de las cuencas para riego, seguridad alimentaria y servicios básicos, respetando los usos y costumbres de las comunidades.

III. Es deber del Estado realizar los estudios para la identificación de aguas fósiles y su consiguiente protección, manejo y aprovechamiento sustentable.

Artículo 376. Los recursos hídricos de los ríos, lagos y lagunas que conforman las cuencas hidrográficas, por su potencialidad, por la variedad de recursos naturales que contienen y por ser parte fundamental de los ecosistemas, se consideran recursos estratégicos para el desarrollo y la soberanía boliviana. El Estado evitará acciones en las nacientes y zonas intermedias de los ríos que ocasionen daños a los ecosistemas o disminuyan los caudales, preservará el estado natural y velará por el desarrollo y bienestar de la población.

Ley 1333 Del Medio Ambiente de 27 de Abril de 1992

De los Recursos Naturales Renovables.

Artículo 32°.- Es deber del Estado y la sociedad preservar, conservar, restaurar y promover el aprovechamiento de los recursos naturales renovables, entendidos para los fines de esta Ley, como recursos bióticos, flora y fauna, y los abióticos como el agua, aire y suelo con una dinámica propia que les permite renovarse en el tiempo.

Artículo 33°.- Se garantiza el derecho de uso de los particulares sobre los recursos naturales renovables, siempre que cumplan lo dispuesto en el artículo 34 de la presente Ley.

Del Recurso Agua.

Artículo 36°.- Las aguas en todos sus estados son de dominio originario del Estado y constituyen un recurso natural básico para todos los procesos vitales. Su utilización

tiene relación e impacto en todos los sectores vinculados al desarrollo, por lo que su protección y conservación es tarea fundamental del Estado y la sociedad.

Artículo 37°.- Constituye prioridad nacional la planificación, protección y conservación de las aguas en todos sus estados y el manejo integral y control de las cuencas donde nacen o se encuentran las mismas.

Artículo 38°.- El Estado promoverá la planificación, el uso y aprovechamiento integral de las aguas, para beneficio de la comunidad nacional con el propósito de asegurar su disponibilidad permanente, priorizando acciones a fin de garantizar agua de consumo para toda la población.

Artículo 39°.- El Estado normará y controlará el vertido de cualquier sustancia o residuo líquido, sólido y gaseoso que cause o pueda causar la contaminación de las aguas o la degradación de su entorno. Los organismos correspondientes reglamentarán el aprovechamiento integral, uso racional, protección y conservación de las aguas. (MDSMA, 1992)

Ley de derechos de la Madre tierra 071 del 21 de Diciembre del 2010

Derechos de La Madre Tierra.

Artículo 7.- 3. Al agua: Es el derecho a la preservación de la funcionalidad de los ciclos del agua, de su existencia en la cantidad y calidad necesarias para el sostenimiento de los sistemas de vida, y su protección frente a la contaminación para la reproducción de la vida de la Madre Tierra y todos sus componentes. (MDSMA, 2010).

Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica aprobado mediante el Decreto Supremo 24176 del 8 de Diciembre de 1995

De la Clasificación de Cuerpos de Aguas.

Artículo 4° La clasificación de los cuerpos de agua, según las clases señaladas en el Cuadro N° 1 - Anexo A del presente reglamento, basada en su aptitud de uso y de acuerdo con las políticas ambientales del país en el marco del desarrollo sostenible,

será determinada por el MDSMA. Para ello, las instancias ambientales dependientes del prefecto deberán proponer una clasificación, adjuntando la documentación suficiente para comprobar la pertinencia de dicha clasificación. Esta documentación contendrá como mínimo: Análisis de aguas del curso receptor a ser clasificado, que incluya al menos los parámetros básicos, fotografías que documenten el uso actual del cuerpo receptor, investigación de las condiciones de contaminación natural y actual por aguas residuales crudas o tratadas, condiciones biológicas, estudio de las fuentes contaminantes actuales y la probable evolución en el futuro en cuanto a la cantidad y calidad de las descargas.

Esta clasificación general de cuerpos de agua; en relación con su aptitud de uso, obedece a los siguientes lineamientos:

CLASE “A” Aguas naturales de máxima calidad, que las habilita como agua potable para consumo humano sin ningún tratamiento previo, o con simple desinfección bacteriológica en los casos necesarios verificados por laboratorio.

CLASE “B” Aguas de utilidad general, que para consumo humano requieren tratamiento físico y desinfección bacteriológica.

CLASE “C” Aguas de utilidad general, que para ser habilitadas para consumo humano requieren tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica.

CLASE “D” Aguas de calidad mínima, que, para consumo humano, en los casos extremos de necesidad pública, requieren un proceso inicial de presedimentación, pues pueden tener una elevada turbiedad por elevado contenido de sólidos en suspensión, y luego tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica especial contra huevos y parásitos intestinales.

En caso de que la clasificación de un cuerpo de agua afecte la viabilidad económica de un establecimiento, el Representante Legal de éste podrá apelar dicha clasificación ante la autoridad ambiental competente, previa presentación del respectivo análisis costo - beneficio.

Artículo 6° Se considera como parámetros básicos, los siguientes: DBO5; DQO; Colifecales NMP; Oxígeno Disuelto; Arsénico Total; Cadmio; Cianuros; Cromo Hexavalente; Fosfato Total; Mercurio; Plomo; Aldrín; Clordano; Dieldrín; DDT; Endrín; Malatión; Paratión.

De los Servicios Municipales y Cooperativas de abastecimiento de Agua potable y Alcantarillado.

Artículo 14° Los Servicios de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado que existen actualmente como servicios municipales o cooperativas, o los que se crearán en el futuro, y las administraciones de parques industriales de jurisdicción municipal:

- a) Elaborarán procedimientos técnicos y administrativos dentro del primer año de vigencia del presente Reglamento, para establecer convenios con las industrias, instituciones y empresas de servicio que descarguen sus aguas residuales crudas y/o tratadas en los colectores sanitarios de su propiedad o que estén bajo su control;
- b) Por convenios técnicos y administrativos, los servicios de abastecimiento de agua potable y alcantarillado asumen la responsabilidad del tratamiento de las aguas residuales bajo las condiciones que consideren necesarias, tomando en cuenta el tipo de su planta de tratamiento y las características del cuerpo receptor donde se descarga.
- c) Los acuerdos incluirán, sin perjuicio de la legislación sobre agua potable y alcantarillado y este es el reglamento con los siguientes aspectos:
 - Identificación de los puntos de descarga de efluentes, volúmenes, composición, concentración y frecuencia.
 - Pretratamiento a aplicar antes de la descarga.
 - Estructura de tarifas y costos a pagar por el usuario.
 - El sistema de monitoreo, incluyendo registros, medidores e inspecciones.

Artículo 15° Los procedimientos técnico-administrativos referidos en el anterior artículo deberán definir los métodos de cálculo de las tasas y tarifas por descargas de aguas residuales de las industrias e instituciones, tomando en cuenta lo establecido en el Reglamento Nacional de Prestación de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado para Centros Urbanos.

Del Monitoreo, Evaluación, Prevención, Protección y Conservación de la Calidad Hídrica.

Artículo 36° - En caso de que un cuerpo de agua o sección de un cauce receptor tenga uno o más parámetros con valores mayores a los establecidos según su clase, la Instancia Ambiental Dependiente del Prefecto deberá investigar y determinar los factores que originan esta elevación, para la adopción de las acciones que mejor convengan, con ajuste a lo establecido en el Reglamento de Prevención y Control Ambiental.

Artículo 49°.- Los Servicios de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado desarrollarán programas permanentes de control, reparación y rehabilitación de las redes de agua y desagüe, a fin de eliminar el riesgo de conexiones cruzadas entre agua potable y alcantarillado, y de colapso de instalaciones en mal estado o antiguas, eligiendo materiales de tuberías con una vida útil de por lo menos 50 años, o bien utilizar materiales de la mejor calidad compatibilizados con la agresividad química del suelo y del agua.(MDSMA, 1995)

Para el presente trabajo es indispensable el conocimiento y la aplicación de lo establecido en las Normas Bolivianas:

NB-495 “Agua Potable – Definiciones y Terminología”. Esta norma establece las definiciones y términos empleados en las normas sobre agua potable, sistemas de abastecimiento de agua, muestreo y análisis de laboratorio.

NB-496 “Agua Potable- Toma de muestras”. Esta norma establece las condiciones y frecuencias necesarias para llevar a cabo el muestreo representativo de agua, potable

para ser sometida a análisis físicos, químicos, bacteriológicos y/o radiológicos y determinar su calidad, el campo de aplicación de ésta norma comprende los sistemas de agua potable en los cuales se realiza el muestreo para la caracterización, el control y la vigilancia de la calidad del agua potable.

NB 512 – 04 “Agua potable – requisitos” Esta norma establece los valores máximos aceptables de los diferentes parámetros, que determinan la calidad de agua abastecida con destino al uso y consumo humano y las modalidades de aplicación y control, se aplica a todas las aguas abastecidas con destino al uso y consumo humano.

NB 512 “Reglamento nacional para el control de la calidad de agua para consumo humano” Esta norma reglamenta la Norma Boliviana NB 512 Agua Potable – Requisitos, en cuanto se refiere a la calidad física, química, microbiológica, organoléptica y radiactiva del agua destinada al consumo humano, estableciendo las condiciones que deben cumplir las Entidades Prestadoras de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (EPSA) a nivel nacional.

NB 689 “Instalaciones de agua - diseño para sistemas de agua potable” La norma establece los criterios técnicos de diseño de sistemas de agua potable de carácter público y/o privado, en el área urbana, peri-urbana y rural del país, para obtener obras con calidad, seguridad, durabilidad y economía; y de esa manera, contribuir al mejoramiento del nivel de vida y salud de la población, se aplica a nivel nacional para el diseño, ejecución o control de sistemas de agua potable públicos y/o privados.

CAPÍTULO II

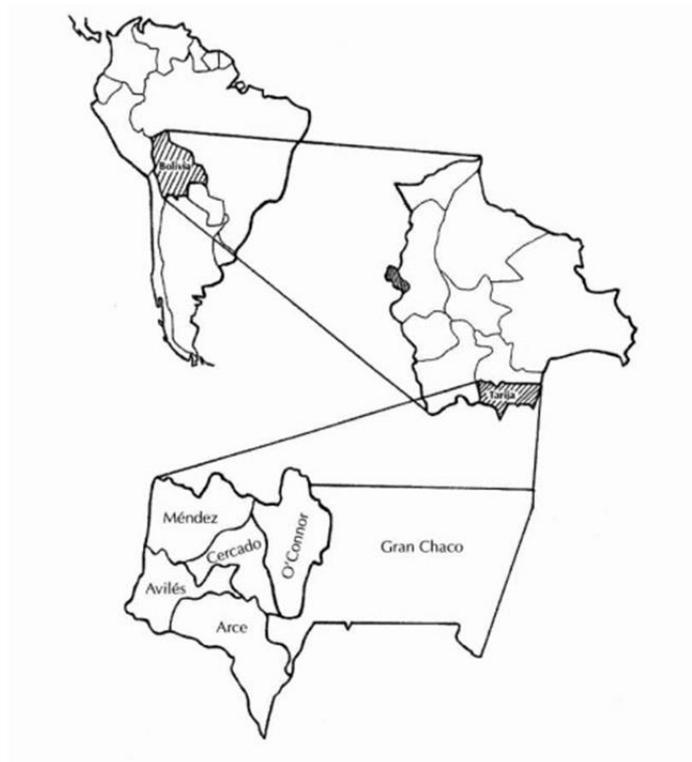
1. MATERIALES Y METODOLOGÍA

1.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo de investigación se desarrolló en el País de Bolivia que está situado en la zona central de América del Sur, con una superficie de 1.098.581 km², entre los meridianos 57°26' y 69°38' de longitud occidental del meridiano de Greenwich y los paralelos 9°38' y 22°53' de latitud sur.

IMAGEN N °1

MAPA DE UBICACIÓN DE BOLIVIA Y TARIJA



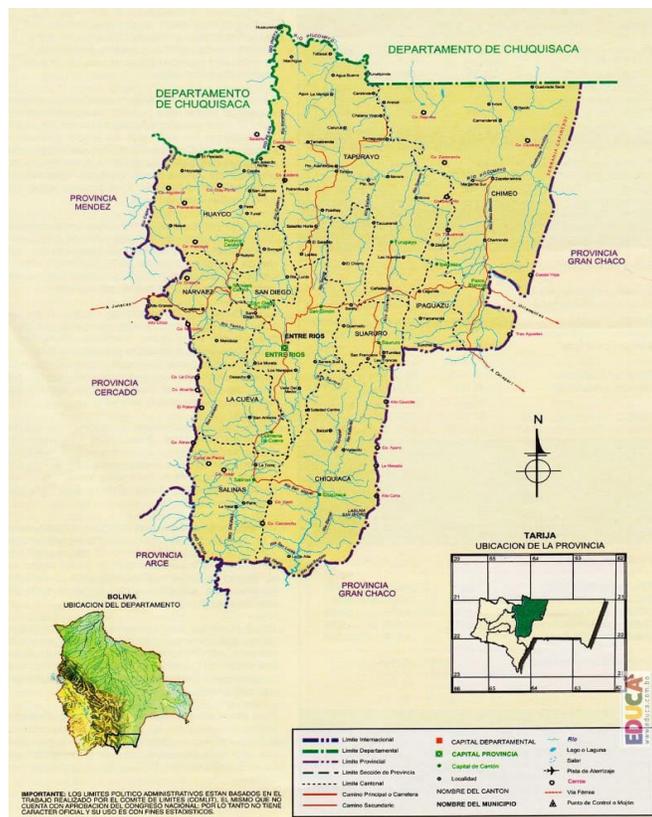
Fuente: PROMETA, Iya y Grupo Dru, 1998

El departamento de Tarija se encuentra ubicado al sur del país.

El Municipio de Entre Ríos, pertenece a la Provincia O' Connor, del Departamento de Tarija, siendo de esta su Primera y única Sección Municipal. Geográficamente el Municipio de Entre Ríos se encuentra ubicado entre las coordenadas $20^{\circ} 51' 57''$ y $21^{\circ} 56' 51''$ de latitud sud, $63^{\circ} 40' 23''$ y $64^{\circ} 25' 6''$ de longitud oeste, en la parte central del Departamento de Tarija., limitando al norte con el Departamento de Chuquisaca, al Sud y al Este con la Provincia Gran Chaco, al Oeste con la Provincia Cercado, hacia el Noroeste con la Provincia Méndez y hacia el Sudoeste con las Provincias Avilés y Arce.

IMAGEN N °2

MAPA DE UBICACIÓN DE LA PROVINCIA O'CONNOR



Fuente: Educa-Geografía

TABLA N°4

COORDENADAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

PUNTOS DE MUESTREO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		COORDENADAS UTM	
P1: Tanque Clorador.	21°31'35.98"S	64°11'8.78"O	622944.5	2362453.5
P2: Casa más cercana.	21°31'37.92"S	64°10'52.34"O	622331.4	2380958.9
P3: Casa 1 más alejada.	21°31'9.84"S	64°10'8.95"O	621089.5	2380086.1
P4: Casa 2 más alejada.	21°31'35.08"S	64°10'6.37"O	621009.5	2380861.6

Fuente: Elaboración propia.

El área de estudio del presente trabajo abarca, las viviendas dentro de la mancha urbana en la Ciudad de Entre Ríos que se encuentran más próximas y más alejadas al sistema de Cloración de agua potable ubicadas en la comunidad de “Las Lomas”

IMAGEN N°3

VISTA SATELITAL DE LA UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Elaboración propia.

1.2 MATERIALES

TOMA DE MUESTRAS

- Cinta adhesiva.
- 6 Frascos de polipropileno de 500ml desinfectado.
- 12 Botellas de polipropileno de 1 litro.
- Pinza.
- Algodón.
- Alcohol.
- Encendedor.

- Conservadora de temperaturas.
- Hielo.
- Guantes quirúrgicos.
- Tablero.
- Cámara fotográfica.
- Libreta de campo.
- Formulario de muestreo.
- Planillas de registro de puntos de muestreo.
- Reactivos de Cloro residual Hanna Instruments.
- 3 Frascos de vidrio de 10 ml.
- Gotero.

AFORO DE LOS CAUDALES

- Cámara fotográfica.
- Libreta de campo.
- Lápiz.
- Flexómetro.
- Balde de 30 litros.
- Flotador.
- Balde de 18 litros.
- Cronometro.
- Frascos de vidrio de 10 ml.
- Computadora.

DOSIFICACIÓN DEL HIPOCLORITO DE CALCIO

- Hipoclorito de calcio 0,4 kg en estado sólido.
- Tanque de 40 litros.
- Pileta.
- Manguera.

- Guantes quirúrgicos.

1.3 METODOLOGÍA. -

El presente trabajo se realizó en base a los enfoques de la metodología cualitativa y cuantitativa. Esta modalidad tradicional de estudio se orienta más dentro de la investigación cuantitativa que la cualitativa, aunque ésta no se excluye.

Cualitativa.

Enfoque cualitativo Utiliza la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación. . (Sampieri R, 2014)

La metodología cualitativa recoge información de carácter subjetivo, es decir que no se perciben por los sentidos, como el cariño, la afición, los valores, aspectos culturales. Por lo que sus resultados siempre se traducen en apreciaciones conceptuales (en ideas o conceptos) pero de las más alta precisión o fidelidad posible con la realidad investigada. (Behar D, 2008)

Cuantitativa.

Enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías. (Sampieri R, 2014)

La metodología cuantitativa recoge información empírica (de cosas o aspectos que se pueden contar, pesar o medir) y que por su naturaleza siempre arroja números como resultado. (Behar D, 2008)

1.3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La tipología que aquí se adopta se refiere a ciertas formas de practicar la investigación, con características propias alusivas a aspectos como el objeto, propósito, procedimientos o técnicas, limitaciones, contextos, etcétera, (Niño V, 2011).

El presente trabajo se enmarca en la investigación de carácter descriptiva, experimental y explicativa

1.3.1.1 Descriptiva.

Busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas. (Sampieri R, 2014)

1.3.1.2 Experimental.

Su propósito es validar o comprobar una hipótesis. Para ello se vale del experimento el cual “consiste en someter un objeto en estudio a la influencia de ciertas variables, en condiciones controladas y conocidas por el investigador, para observar los resultados que la variable produce en el objeto” (Cerdeira, op. cit, 2000).

La experimentación establece relaciones de causa-efecto y se ocupa de descubrir, comprobar, confrontar, negar o confirmar teorías, y eventualmente, como consecuencia, formular leyes. (Niño V, 2011)

1.3.1.3 Explicativa.

Van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables. (Sampieri R, 2014)

1.3.2 Métodos, Técnicas e Instrumentos.

1.3.2.1 Descripción del actual sistema de cloración.

Método lógico deductivo directo: Se aplican los principios descubiertos a casos particulares a partir de la vinculación de juicios. Consiste en encontrar principios desconocidos, a partir de los conocidos. Una ley o principio puede reducirse a otra más general que la incluya. (Behar D, 2008).

Se determina el actual proceso mediante la entrevista focalizada es la que se realiza y orienta sobre un tema y contenido específico. Exige mucha habilidad y tacto de parte del entrevistador para orientar la actividad hacia el foco propuesto, evitando toda clase de susceptibilidades y molestias al entrevistado. Puede desarrollarse el tema de lo sencillo a lo complejo, o de lo visible a lo más profundo y desconocido. (Niño V, 2011)

Entrevista focalizada es prácticamente tan libre y espontánea, pero tiene la particularidad de concentrarse en un único tema, el entrevistador deja hablar sin restricciones al entrevistado, proponiéndole apenas algunas orientaciones básicas, pero, cuando éste se desvía del tema original y se desliza hacia otros distintos, el entrevistador vuelve a centrar la conversación sobre el primer asunto, y así repetidamente. Se emplea normalmente con el objeto de explorar a fondo alguna experiencia vivida por el entrevistado o cuando nuestros informantes son testigos presenciales de hechos de interés, por lo que resulta adecuado a la vez insistir sobre lo mismo, pero dejando a entera libertad para captarlos en toda su riqueza. (Behar D, 2008).

Esto ocurre también cuando se trata de interrogar a los actores principales de ciertos hechos o a testigos históricos. Tal tipo de entrevista requiere de gran habilidad en su desarrollo para evitar tanto la dispersión temática como caer en formas más estructuradas de interrogación. (Behar D, 2008).

La observación consiste en el registro sistemático, válido y confiable del comportamiento o conducta manifestada, puede utilizarse como instrumento de medición en muy diversas circunstancias. (Behar D, 2008).

Para conocer el funcionamiento actual del sistema con la implementación de entrevistas realizadas a los técnicos encargados del sistema de potabilización del agua y mediante la observación sistemática, realizando varias visitas a las instalaciones donde se realiza la cloración en el proceso de desinfección actual de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Entre Ríos, se descubrirá consecuencias desconocidas de las deficiencias del sistema en base, al conocimiento concreto establecido en la normativa vigente NB-689 y NB-512 que determinan el funcionamiento eficiente para una planta potabilizadora de agua y la calidad del agua para el consumo humano.

1.3.2.2 Medida de los puntos, el más cercano y los dos más alejados para la toma de muestras.

Método inductivo.- Crea leyes a partir de la observación de los hechos, mediante la generalización del comportamiento observado; en realidad, lo que realiza es una especie de generalización, sin que por medio de la lógica pueda conseguir una demostración de las citadas leyes o conjunto de conclusiones. (Behar D, 2008).

Técnica Escalas de medición.- Todo problema de investigación científica, aún el más abstracto, implica de algún modo una tarea de medición de los conceptos que intervienen en el mismo. (Behar D, 2008).

La idea de medición.- La medida, es intrínsecamente comparativa, medir algo, en el caso más sencillo, es determinar cuántas veces una cierta unidad o patrón de medida, quepa en el objeto a medir. Para medir la longitud de un objeto físico nosotros desplazamos una regla o cinta graduada sobre el mismo, observando cuantas unidades (en este caso centímetros o metros) abarca el objeto en cuestión. Es decir que comparamos el objeto con nuestro patrón de medición para determinar cuántas unidades y fracciones del mismo incluye. (Behar D, 2008).

Se ubicó el punto más cercano desde el tanque de cloración a la entrada de la mancha urbana, siendo este el garaje de la Alcaldía en el barrio, la Pista y los dos puntos más alejados ubicados en el barrio Banda Mealla y la Urbanización San Lorenzo, mediante la observación del plano de la mancha urbana, realizando la medida de las distancias seleccionando dichos puntos para poder realizar la toma de muestras.

Estos puntos se tomaron de la descripción de la mancha urbana de la ciudad de Entre Ríos, otorgado por la Unidad de Catastro de la H.A.M.E.R. Se hizo la lectura a escala del programa de software Visio, donde se seleccionaron los puntos de muestreo tomando en cuenta lo establecido en la NB 496-05 “Agua potable Toma de muestras”.

1.3.2.3 Medición de los caudales del sistema de agua potable.

El presente trabajo se enmarcó en una metodología, cuantitativa, como la palabra lo indica, la investigación cuantitativa tiene que ver con la “cantidad” y, por tanto, su medio principal es la medición y el cálculo. En general, busca medir variables con referencia a magnitudes. (Niño V, 2011).

La medición se realizó mediante técnicas especializadas conocidas como aforos, de acuerdo a la naturaleza y tamaño de la fuente, se emplearon los métodos de volumen conocido volumétricos el directo y el flotador (El método de sección conocida).

1.3.2.3.1 Medición de caudal en el sistema de filtración.

Se emplearon dos procedimientos:

El flotador (Método de sección conocida) y el conocimiento de la velocidad de desplazamiento del agua y la aplicación posterior de la fórmula de continuidad ($Q=A*\nu$), la cual dice que el caudal escurrido es igual al producto del área de escurrimiento por la velocidad de desplazamiento del agua o líquido en cuestión y la velocidad del agua se midió mediante el uso de flotadores.

Para Q_1 : Canal

$$Q_1 = A * v$$

En el que:

Q_1 = Caudal del Canal (m^3/s)

A = Área del canal (m^2)

v = Velocidad (m/s)

- Se calculó el área del canal.

$$A = \text{Tirante} * \text{Ancho}$$

- Se calculó la velocidad del agua que pasa por el canal, con la distancia de 3 metros, por ser la distancia entre los dos caudales de entrada al canal, hasta la cámara de filtración.

$$v = \frac{D}{t}$$

Dónde el cual:

d = Distancia que recorre el flotador (m)

t = Tiempo que tarda en recorrer la distancia (s)

- Se reemplazan los datos en la fórmula del caudal.

$$Q_1 = A * v$$

El método del recipiente de un volumen conocido y el cual consisten en medir el tiempo requerido para llenar dicho volumen cuando se toma toda el agua de dicha fuente o corriente.

Para Q_2 : Tubería

Se empleó un balde de 30 ℓ

$$30\ell * \frac{1m^3}{1000} = 0.03m^3$$

$$Q_2 = \frac{V}{t}$$

Dónde el:

Q_2 = caudal de la tubería que se dirige al Tanque Clorador (m^3/s)

V= volumen del agua que sale del tubo (m^3)

t= tiempo en que se llena el balde (s)

Para Q_3 : caudal de exceso o perdido

Se empleó un balde de 30 ℓ

$$30\ell * \frac{1m^3}{1000} = 0.03m^3$$

$$Q_3 = \frac{V}{t}$$

Donde el:

Q_3 = Caudal del tubo que rebalsa del sistema de filtración (m^3/s)

V= Volumen del agua que sale del tubo (m^3)

t= Tiempo en que se llena el balde (s)

➤ Caudal total del sistema.

$$Q_t = (Q_1 + Q_2) - Q_3$$

Donde el:

Q_t = Caudal total que sale de las camaras de filtración(m^3/ s)

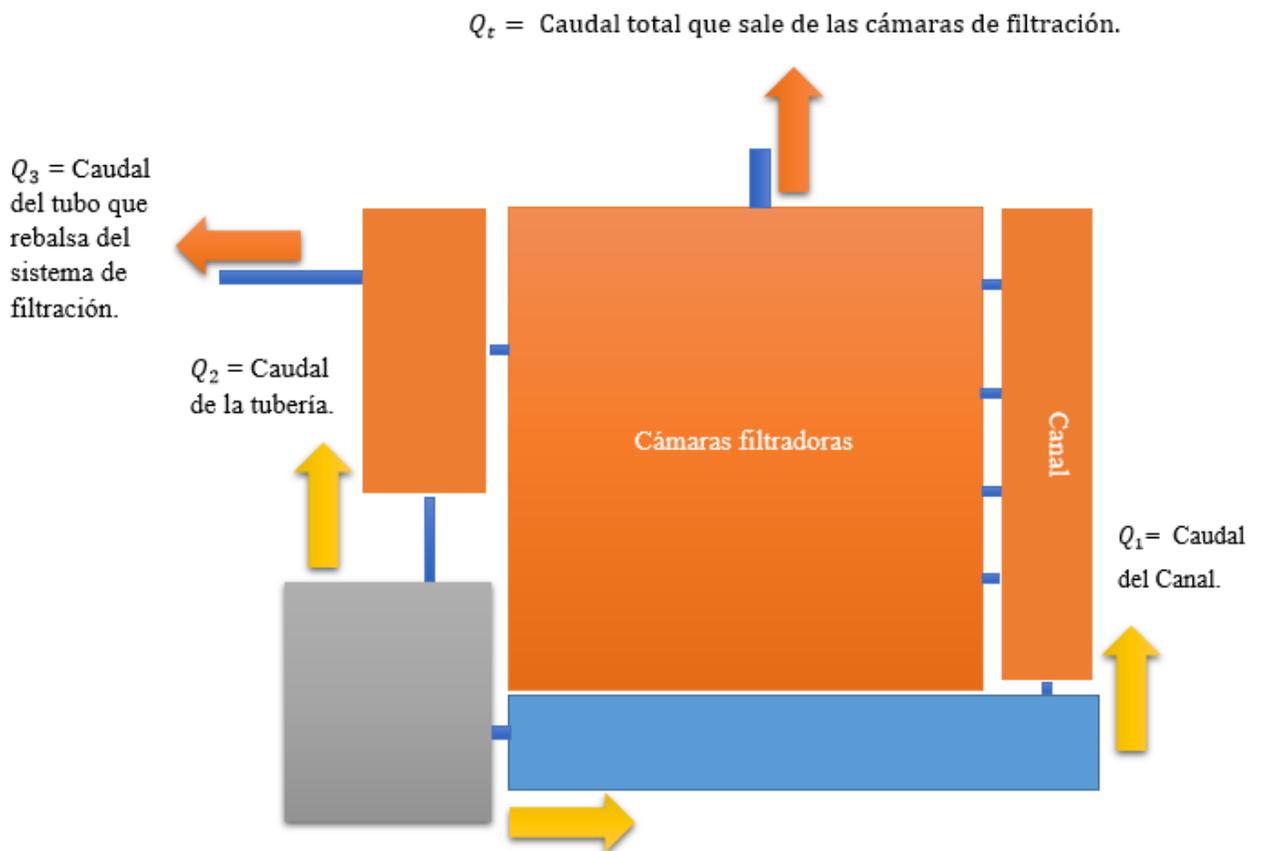
Q_1 = Caudal del Canal (m^3/ s)

Q_2 = Caudal de la tubería que se dirige al tanque Clorador(m^3/ s)

Q_3 = Caudal del tubo que rebalsa del sistema de filtración (m^3/ s)

GRÁFICO N°2

CAUDALES DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

1.3.2.3.2 Medición del caudal que ingresa al tanque de almacenamiento previo a la cloración.

Debido a las condiciones y características del tanque se utilizará el método del recipiente de un volumen conocido y el cual consiste en medir el tiempo requerido para llenar dicho volumen cuando se toma toda el agua de dicha fuente o corriente.

Se empleó un balde de 18 ℓ

$$18\ell * \frac{1m^3}{1000} = 0.018m^3$$

$$Q_4 = \frac{V}{t}$$

Donde el:

Q_4 = Caudal del tubo que llega al Tanque Clorador (m^3/s)

V= Volumen del agua que sale del tubo (m^3)

t= Tiempo en que se llena el balde (s)

1.3.2.3.3 Diferencia del caudal del agua derivada que se dirige a otros barrios.

$$\Delta Q = Q_t - Q_4$$

Donde el:

ΔQ =Caudal que se deriva a otros barrios antes de ingresar al Tanque Clorador (m^3/s)

Q_t = Caudal total que sale de las cámaras de filtración(m^3/s)

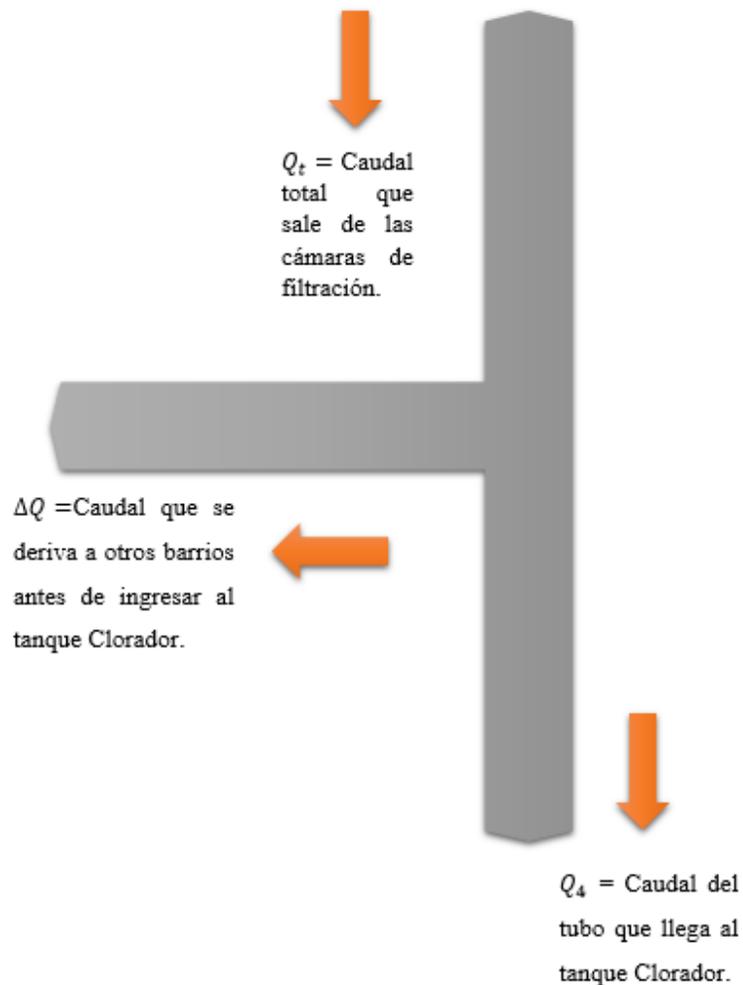
Q_4 = Caudal del tubo que llega al Tanque Clorador (m^3/s)

Del sistema de Filtración ubicada en Moreta campo Ichazu, donde se realiza el tratamiento previo a la Cloración surge, (Q_t) caudal total que sale de las cámaras de filtración destinado para el tratamiento de Cloración del agua, proveniente del río

Tambo, que se divide en dos caudales uno, (ΔQ) caudal que se deriva a los barrios La Pampa y Alambrado antes de ingresar al Tanque Clorador y (Q_4) caudal del tubo que llega al Tanque Clorador para su tratamiento de desinfección con Hipoclorito de Calcio para la mancha urbana.

GRÁFICO N°3

CAUDALES QUE SE DERIVAN A LOS BARRIOS DE LA CIUDAD DE ENTRE RÍOS PARA SU CLORACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

1.3.2.4 Métodos empleados para la toma de muestras

Selección de la muestra. - Es la actividad por la cual se toman ciertas muestras de una población de elementos de los cuales vamos a extraer algunos criterios de decisión, el muestreo es importante porque a través de él podemos hacer análisis de situaciones de una empresa o de algún campo de la sociedad. Una muestra debe ser representativa si va a ser usada para estimar las características de la población. Los métodos para seleccionar una muestra representativa son numerosos, dependiendo del tiempo, dinero y habilidad disponibles para tomar una muestra y la naturaleza de los elementos individuales de la población. (Behar D, 2008).

La técnica empleada para la selección de muestras fue el, Muestreo intencionado: también recibe el nombre de sesgado. El investigador selecciona los elementos que a su juicio son representativos, lo que exige un conocimiento previo de la población que se investiga. (Behar D, 2008).

Para establecer la verdad o falsedad de la hipótesis formulada, "La calidad del agua potable es afectada por la dosificación inadecuada de Hipoclorito de Calcio, al carecer del Cloro residual, establecido en las Normas NB-512 reglamento nacional para el control de la calidad de agua para consumo humano y norma boliviana NB 512-04", mediante las técnicas muestreo intencionado y análisis de contenido se realizaron las pruebas de laboratorio para determinar, la calidad del agua potable que sale del sistema de cloración, con la determinación de los parámetros de control mínimo (análisis microbiológico) fuera del sistema de cloración y la cantidad de Cloro residual que llega de la primera hasta las 2 viviendas más alejadas del sistema, para dicha toma de muestras se seguirán los pasos establecidos en NB 469 Toma de Muestras y el Protocolo de Muestreo, Transporte y Conservación de Muestras de Agua con Fines Múltiples (Consumo humano, abrevado animal y riego), que especifican como tomar muestras en los sistemas de potabilización de aguas.

La toma de las muestras se realizó siguiendo las técnicas específicas de muestreo recomendadas por el laboratorio "CEANID" (Centro de Análisis Investigación y

Desarrollo) que realiza dichos análisis utilizando envases especiales, se tomaron cinco muestras para los diferentes análisis requeridos y basados en la NB 496 Toma de muestras para agua potable.

1.3.2.4.1 Toma de muestras para los parámetros de control mínimo.

Para la determinación de los parámetros de control mínimo, se requiere 500ml de agua para conocer la calidad del agua proveniente del río Tambo, que entra y sale del sistema de cloración de la ciudad de Entre Ríos, empleando frascos debidamente esterilizados de 500ml del laboratorio de “CEANID”, se tomaron tres muestras diferentes en los puntos de muestreo 1 y 2 para estos parámetros, se describe a continuación cada punto de muestreo y el procedimiento empleado en cada uno.

Punto 1: Tanque Clorador.

La muestra N°1 se tomó en el Tanque Clorador en la comunidad Las Lomas, en la entrada del caudal procedente de la Planta de Filtración al tanque donde se realizó la cloración, para determinar la calidad con la que ingresó el agua, en las fechas: 6/11/2018, 15/11/2018 y 4/12/2018 en las coordenadas UTM: 622944.5 y 2362453.5

El procedimiento para la toma de muestras fue emplear guantes quirúrgicos, para evitar la contaminación de la muestra, abrir el frasco dentro del caudal evitando la contaminación del frasco, dejando un espacio de aire de 1 cm. antes de que el agua llegue al tope del frasco, lo que facilita homogenizar la muestra antes de su análisis. (VSB,2005- NB 496)

Punto 2: Garaje de la Alcaldía.

Basándonos en la NB 496-05 “agua potable toma de muestras” se estableció como punto de muestreo el Garaje de la alcaldía ubicado en el barrio La Pista, por tratarse de un lugar representativo del sistema de agua potable, donde teníamos facilidad de acceso al ser propiedad de la Alcaldía de Entre Ríos y está ubicado como un punto cercano al

Tanque de Cloración, que cuenta con un grifo en perfectas condiciones de funcionamiento, del mismo que se procedió a tomar la muestra N°2 para determinar la calidad del agua, después del tratamiento de cloración del sistema de Entre Ríos, con análisis de los parámetros de Control Mínimo, debido a que la normativa ya mencionada establece que se deberá realizar la toma de muestras en las unidades de salida de la Planta de tratamiento de agua potable y/o tanques de almacenamiento de agua potable, para el control de la calidad del agua potable que sale de la Planta de tratamiento, dichos análisis se realizaron en las fechas 6/11/2018, 15/11/2018 y 4/12/2018 en las coordenadas UTM: 622331.4 y 2380958.9

El procedimiento para la toma de muestras fue emplear guantes quirúrgicos, para evitar la contaminación de la muestra, eliminar del grifo cualquier adherencia o suciedad mediante una pinza con una torunda de algodón empapada con alcohol, descartando este material, para después esterilizar el grifo durante un minuto con una llama, abrir el grifo para dejar correr agua de 1 min a 3 min, eliminando impurezas y agua estancada en la tubería, Destapar el frasco esterilizado y llena con la muestra, sujetando con una mano la tapa con el capuchón protector y con la otra pone el frasco bajo el chorro de agua, evitando el contacto del grifo con la boca del frasco. (VSB,2005- NB 496)

TABLA N° 5
PARAMETROS Y MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE LOS PARAMETROS DE
CONTROL MÍNIMO EN EL LABORATORIO DE “CEANID”

Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad
Conductividad (21,3°C)	SM 2510-B	uS/cm
pH (21,3°C)	SM 4500-H-B	---
Turbiedad	SM 2130-B	UNT
Coliformes termoresistentes.	NB 31004:07	UFC/100ml

Fuente: Elaboración propia.

1.3.2.4.2 Toma de muestras para Cloro residual y Cloro total.

Para la determinación del Cloro residual y Cloro total, se requiere 1ℓ de agua para conocer la calidad del Cloro residual y Cloro activo que lleva el agua a toda la red de distribución de agua potable de la ciudad de Entre Ríos proveniente del río Tambo, empleando frascos de 1ℓ se tomaron tres muestras diferentes en los puntos de muestreo 2, 3 y 4 para estos parámetros, cada muestra debe estar completamente llena de agua sin dejar ningún espacio de aire, se describe a continuación cada punto de muestreo y el procedimiento empleado en cada uno.

Punto 2: Garaje de la Alcaldía.

Basándonos en la NB 496-05 “agua potable toma de muestras” se estableció como punto de muestreo el Garaje de la alcaldía ubicado en el barrio La Pista, por tratarse de un lugar representativo del sistema de agua potable, donde teníamos facilidad de acceso

al ser propiedad de la Alcaldía de Entre Ríos y está ubicado como un puto cercano al Tanque de Cloración, que cuenta con un grifo en perfectas condiciones de funcionamiento, del mismo que se procedió a tomar la muestra N°3, para determinar la calidad de Cloro activo (total) con la que el agua, llega a la primera casa de la red de distribución, después del tratamiento de cloración del sistema de Entre Ríos, en las fechas 6/11/2018, 15/11/2018 y 4/12/2018 en las coordenadas UTM: 622331.4 y 2380958.9.

El procedimiento para la toma de muestras fue emplear guantes quirúrgicos, para evitar la contaminación de la muestra, eliminar del grifo cualquier adherencia o suciedad mediante una pinza con una torunda de algodón empapada con alcohol, descartando este material, para después esterilizar el grifo durante un minuto con una llama, abrir el grifo para dejar correr agua de 1 min a 3 min, eliminando impurezas y agua estancada en la tubería, Destapar el frasco esterilizado y llena con la muestra, sujetando con una mano la tapa con el capuchón protector y con la otra pone el frasco bajo el chorro de agua, evitando el contacto del grifo con la boca del frasco. (VSB,2005- NB 4 96)

Es una buena práctica medir el Cloro residual libre en las viviendas más próximas a la cámara o lugar de cloración, para determinar posibles excesos en la concentración del cloro residual en el agua, que podría originar el rechazo de los usuarios. (Fustamante N, 2017)

Cuando las dosis de cloro son altas, la formación de THMs aumenta en función de dichas dosis. (Pérez J y Espigares M, 1995)

En este punto se efectuaron nueve muestreos de Cloro residual empleando dos frascos de $0.00001m^3$ y sobres de reactivo Indicador Hanna en polvo en paquete sellado para la determinación de Cloro residual mediante el método DPD, para muestras de 10ml los cuales se compararon con la tabla de valores de Cloro residual con solución de DPD que tienen un rango de 0.05 a 1.0 mg/l, para la realización de este muestreo se enjuagaron los frascos con el agua proveniente del grifo y se llenaron con la misma

para luego agregar el reactivo en polvo y proceder a agitarlo hasta obtener color y comparar con la tabla para determinar el Cloro residual que tenía el agua, antes y durante la dosificación.

TABLA N° 6

PARÁMETROS Y MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DEL CLORO RESIDUAL

Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad
Cloro Residual	Reactivo de Cloro residual HANNA-INSTRUMENTS DPD	mg/l

Fuente: Elaboración propia.

Punto 3: Casa 1 más alejada de la red de distribución, Coliseo.

El Cloro residual libre debe medirse en la salida de la cámara de cloración y en cada punto crítico de control. Un punto de control del cloro residual libre es aquel punto de la red de distribución o la vivienda que está más alejado del lugar donde se realiza la cloración. (Fustamante N, 2017)

Basándonos en la NB 496-05 “agua potable toma de muestras” se estableció como punto de muestreo el Coliseo Nuevo, del barrio de Banda Mealla, por tratarse de un lugar representativo del sistema de agua potable, donde teníamos facilidad de acceso al ser propiedad de la Alcaldía de Entre Ríos y está ubicado como un punto más alejado de la red de distribución, que cuenta con un grifo en perfectas condiciones de funcionamiento, del mismo que se procedió a tomar la muestra N° 4 para determinar la calidad de Cloro activo (total) y Cloro residual con la que el agua, llega a la casa más alejada de la red de distribución, después del tratamiento de cloración del sistema de Entre Ríos, en las fechas 6/11/2018, 15/11/2018 y 4/12/2018 en las coordenadas UTM: 621089.5 y 2380086.1

El procedimiento para la toma de muestras fue emplear guantes quirúrgicos, para evitar la contaminación de la muestra, eliminar del grifo cualquier adherencia o suciedad mediante una pinza con una torunda de algodón empapada con alcohol, descartando este material, para después esterilizar el grifo durante un minuto con una llama, abrir el grifo para dejar correr agua de 1 min a 3 min, eliminando impurezas y agua estancada en la tubería, Destapar el frasco esterilizado y llena con la muestra, sujetando con una mano la tapa con el capuchón protector y con la otra pone el frasco bajo el chorro de agua, evitando el contacto del grifo con la boca del frasco. (VSB, 2005- NB 496)

Punto 4: Casa 2 más alejada de la red de distribución, Jorge Aldana.

Basándonos en la NB 496-05 “agua potable toma de muestras” se estableció como punto de muestreo el domicilio, del señor Jorge Aldana del barrio San Lorenzo, final de la calle Alianza, por tratarse de un lugar representativo del sistema de agua potable, donde teníamos facilidad de acceso y está ubicado como un punto más alejado de la red de distribución, que cuenta con un grifo en perfectas condiciones de funcionamiento, del mismo que se procedió a tomar la muestra N°5, para determinar la calidad de Cloro activo (total) y Cloro residual, con la que el agua llega a la casa más alejada de la red de distribución, después del tratamiento de cloración del sistema de Entre Ríos, en las fechas 6/11/2018, 15/11/2018 y 4/12/2018 en las coordenadas UTM: 621009.5 y 2380861.6

El procedimiento para la toma de muestras se realizó de la misma forma que en el Punto 3 Casa 1 más alejada de la red de distribución, Coliseo, basado en la NB-496, ya mencionado.

TABLA N°7
PARAMETROS Y MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE CLORO RESIDUAL Y
CLORO ACTIVO EN EL LABORATORIO DE “CEANID”

Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad
Cloro Residual.	HACH 2231-88	mg/l
Cloro Total.	EPA DPD 330.5	mg/l

Fuente: Elaboración propia.

1.3.2.5 Preparación de las muestras

Las preparaciones de los tres muestreos se realizaron siguiendo las instrucciones del laboratorio “CEANID”, donde especificaron el envío en cadena de frío. Se deben mantener refrigeradas, manteniendo los recipientes con bastante hielo que cubra por completo las muestras u otro sistema de enfriamiento durante el tiempo que dure su transporte al laboratorio. (VSB,2005- NB 496)

1.3.2.6. Determinación de la calidad de la agua potable antes y después de la Cloración.

ICA mundial de agua potable (Drinking Water Quality Index – DWQI) que se aplica a las fuentes de abastecimiento a ser usadas para producir agua potable y que fue desarrollado ante la necesidad de evaluar la situación mundial de las fuentes de captación. (Torrez P. et.al, 2009)

Orientado inicialmente a la evaluación de la calidad ecológica de las aguas basado en la comparación de los valores de cada parámetro con un punto de referencia, el cual generalmente es obtenido de una norma; dada su flexibilidad en los parámetros para el uso de directrices con la protección de la vida acuática que emplea, y el índice permite evaluar la calidad de las aguas destinadas a consumo humano. (Torrez P. et.al, 2009)

1.3.2.6.1 Medida del ICA en el punto de muestreo P1: Tanque Clorador, antes del proceso de Cloración.

Se empleó la ecuación de Cálculo para la determinación de ICA el caudal empleado previo al tratamiento de cloración en el P1: Tanque Clorador.

$$ICA = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

Dónde:

(F1) Alcance: Porcentaje de parámetros que exceden la norma.

(F2) Frecuencia: Porcentaje de pruebas individuales de cada parámetro que excede la norma.

(F3) Amplitud: Magnitud en la que excede la norma cada parámetro que no cumple.

1.3.2.6.2 Medida del ICA en el P2: Garaje de la Alcaldía (casa más próxima al sistema de Cloración)

Se empleó la ecuación de Cálculo para la determinación de ICA después del tratamiento de cloración en el P2: Garaje de la Alcaldía.

$$ICA = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

Donde el:

(F1) Alcance: Porcentaje de parámetros que exceden la norma.

(F2) Frecuencia: Porcentaje de pruebas individuales de cada parámetro que excede la norma.

(F3) Amplitud: Magnitud en la que excede la norma cada parámetro que no cumple.

1.3.2.7 Cálculo del caudal de solución clorada a aplicar (Qsc)

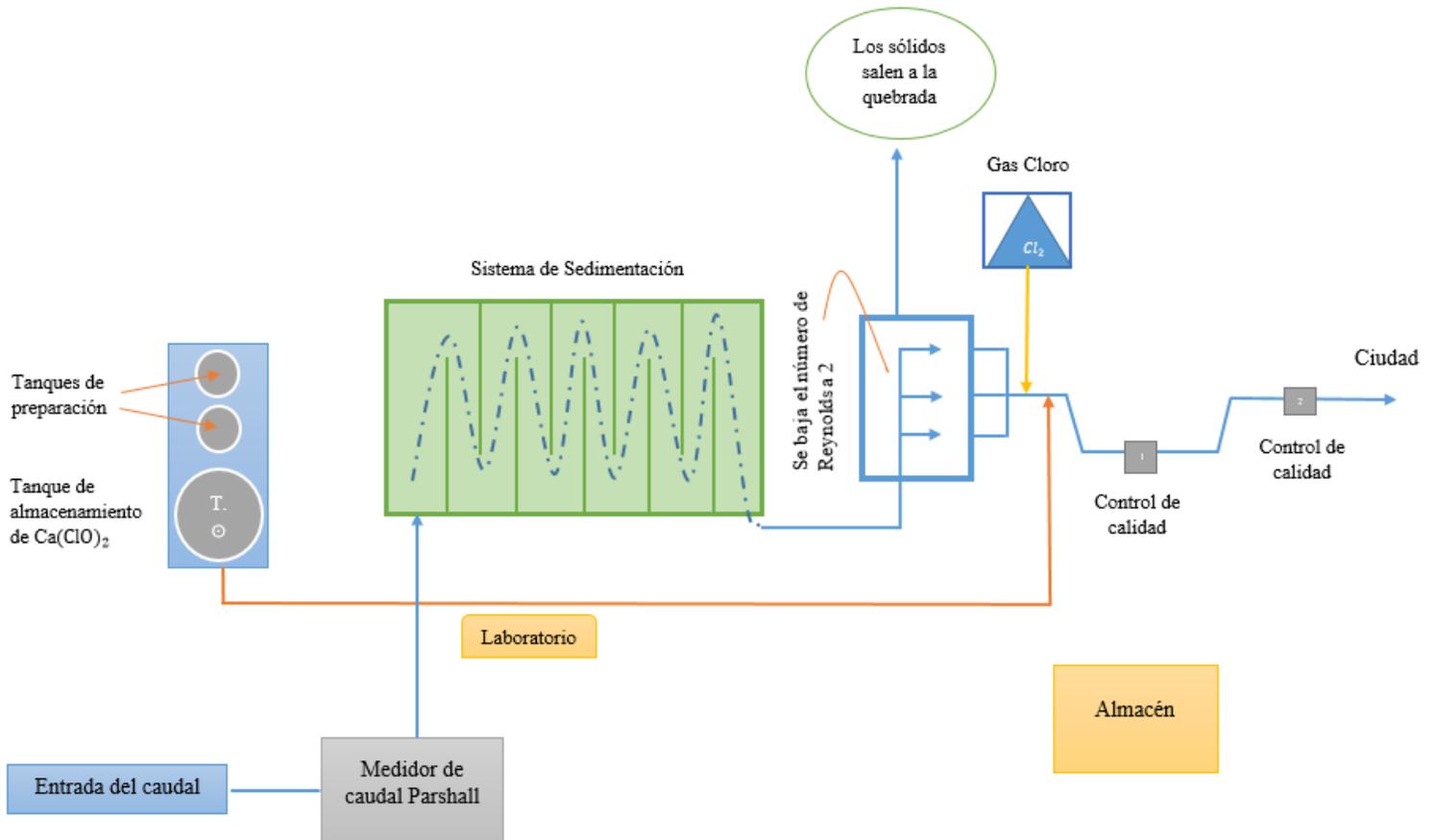
En Tarija se cumple con los requisitos de la Norma Boliviana (NB) de agua para consumo humano que establece las condiciones que deben cumplir las Entidades Prestadoras de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (EPSA) a nivel nacional.

El agua es tratada en la planta de tratamiento con los siguientes procesos

- a.- Floculación.
- b.- Sedimentación.
- c.- Filtración.
- d.- Cloración.

GRÁFICO N°4

DIAGRAMA DE LA PLANTA DE CLORACIÓN DE TARIJA



Fuente: Elaboración propia.

Para la obtención del caudal de la solución clorada a aplicar (Q_{sc}) se procedió a la comparación de caudales que se maneja en la ciudad de Tarija con la ciudad de Entre Ríos, por tratarse de un trabajo práctico efectivo que funciona bajo las normas establecidas NB de agua para consumo humano, con la finalidad de obtener una relación entre ambos caudales para optimizar las cantidades de Hipoclorito de Calcio y hallar el caudal de la solución clorada a aplicar (Q_{sc}) de la ciudad de Entre Ríos.

$$Q_{sc} = \frac{Q_{DTJ}}{R}$$

Q_{sc} = Caudal de solución clorada a aplicar 3,2 (ml/s)

Q_{DTJ} = Caudal de la solución clorada de Tarija. (l/s)

R = Relación de caudales de Tarija-Entre Ríos. (Adimensional)

1.3.2.7.1 Cálculo del tiempo de dosificación del volumen de (Q_{sc})

Se empleó un muestreador de 10 ml.

$$Q_{sc} = \frac{Vm}{t}$$

Dónde el:

Q_{sc} = Caudal de la solución clorada a aplicar. (ml/s)

V_m = Volumen del muestreador de la solución de Cloro. (ml.)

t = Tiempo en que se llena el muestreador. (s) entonces se despeja la formula en:

$$t = \frac{Vm}{Q_{sc}}$$

1.3.2.8 Evaluación de la dosis adecuada de Hipoclorito de Calcio.

Método experimental: Aplica la observación de fenómenos, que en un primer momento es sensorial, con el pensamiento abstracto se elaboran las hipótesis y se diseña el experimento, con el fin de reproducir el objeto de estudio, controlando el fenómeno para probar la validez de las hipótesis. (Behar D, 2008)

La cloración por goteo consiste principalmente en:

- La aplicación continua de un caudal pequeño (Goteo) de una solución clorada, con alta concentración de Cloro libre ($H_2O + Ca (ClO)_2$) en la cámara de cloración o reservorio de almacenamiento. Las concentraciones de Cloro en la solución clorada pueden variar en un rango específico. (Fustamante N, 2017)

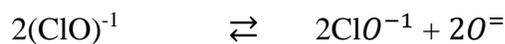
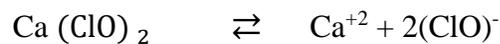
- El objetivo es aplicar un caudal y una dosis de Cloro suficiente para cubrir la demanda de Cloro y asegurar la concentración de Cloro residual en la red. (Fustamante N, 2017)

En el momento de realizar la cloración por goteo se cuenta con una temperatura del agua de 21°C.

1.3.2.8.1 Cálculo de la concentración (%) porcentual de Cloro Total.

La concentración de Cloro empleado en el sistema de cloración de la ciudad de Entre Ríos, conociendo que el peso del hipoclorito de Calcio $Ca (ClO)_2$ es de 143kg y manejando el dato de la cantidad en peso del Cloro sólido agregan de 4,5kg para la solución de 450ℓ, calculando a través de una regla de tres simple el peso de Cloro sólido empleado para nuestro tanque de 40 ℓ.

Se manejan las siguientes igualaciones de compuestos químicos, para la determinación de la concentración porcentual.



1.3.2.8.2 Recálculo de la concentración porcentual de Cloro.

Se obtiene a través de la masa despejando la fórmula de densidad:

$$f = \frac{m}{v}$$

Dónde:

ρ = densidad (Kg/ℓ)

m= masa (kg)

V= volumen (ℓ)

Entonces:

$$m = \rho * V$$

1.3.2.9 Cálculo de la dosis de Cloro a aplicar en el agua.

1.3.2.9.1 Método por Balances de Masas.

Se trata del cálculo para obtener teóricamente con el caudal de 12 ℓ que ingresa al tanque de cloración la dosis de Cloro a aplicar en el agua, mediante un análisis simplificado de balance de masas según la siguiente ecuación:

$$D * Q = d * Q_{sc}$$

Dónde:

D: Dosis de Cloro a aplicar al agua en (mg/ℓ)

Q: Caudal de agua a desinfectar en (ℓ/s)

d: Concentración de Cloro en la solución clorada en (mg/ℓ)

Q_{sc}: Caudal de solución clorada a aplicar en (ℓ/s).

Despejando la ecuación obtenemos que:

$$D = \frac{d * Q_{sc}}{Q}$$

1.3.2.9.2 Determinación de la cantidad necesaria de Hipoclorito de Calcio en estado sólido con la dosificación necesaria para una desinfección óptima.

Para determinar la cantidad necesaria de Hipoclorito de Calcio se emplea el método cuantitativo en la preparación de la solución de hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{ClO}_2)$ se emplearon 0,4 kg de hipoclorito de calcio en estado sólido mezclados con $0,04 \text{ m}^3$ de agua, siendo esta la preparación de la concentración que realizan continuamente los técnicos encargados de la cloración, con la variación del caudal de goteo que se implementó para mejorar la dosificación de la solución de Cloro.

1.3.2.10 Estimación de los costos para el proceso de cloración.

Método explicativo, una explicación suele ir precedida de la descripción, aunque no siempre, y dependiendo del campo o área científica y de las técnicas aplicadas. Suele ser cuantitativa, si hay medición para explicar la relación causa-efecto (Niño V, 2011)

Se procedió a comprar el hipoclorito de Calcio en estado sólido de la Distribuidora Sur y determinar cuánto se va gastar de este en una dosificación, el tiempo que va durar el tanque de 450ℓ con el caudal del sistema de goteo óptimo para la dosis adecuada de hipoclorito de Calcio y cuanto es lo necesario para la dosificación mensual.

Para realizar los monitoreos mensuales al sistema de cloración es importante emplear los sobres de reactivo en polvo Hanna Instrument para la determinación de Cloro residual mediante el método DPD. Y el instrumento para evaluar la reacción del reactivo empleado en los puntos de muestreo, para un control del funcionamiento efectivo de la Planta Cloradora y así mantener un monitoreo continuo de dicho funcionamiento y una dosis adecuada de hipoclorito de Calcio.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. DESCRIPCIÓN DEL ACTUAL SISTEMA DE CLORACIÓN

Para la realización del tratamiento del agua potable para consumo humano, la ciudad de Entre Ríos cuenta con un sistema de filtración ubicado en Moreta campo Ichazu que capta el caudal del río Tambo, donde se realiza el tratamiento primario (Físico) previo al tratamiento químico realizado por un sistema de goteo, con Hipoclorito de Calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$.

El sistema de filtración dirige un caudal de $0,03075 \text{ m}^3/\text{s}$ a los Tanques de Cloración los cuales abarcan toda la mancha urbana de la ciudad de Entre Ríos, el tanque donde se realizó la dosificación del sistema de cloración de la ciudad de Entre Ríos que está ubicada en la comunidad de Las Lomas con las coordenadas UTM: 622944.5 y 2362453.5, el cual recibe un caudal de $0,012 \text{ m}^3/\text{s}$ proveniente del sistema de filtración debido porque la diferencia de estos dos caudales se deriva a otros barrios antes de ingresar al Tanque Clorador por la existencia de dos plantas de cloración para para el tratamiento de sus aguas y posterior distribución a los barrios que abarcan toda la mancha urbana.

Actualmente la cloración es realizada por técnicos de la Alcaldía, los cuales emplean 4,5kg de hipoclorito de Calcio en estado sólido disuelto en un tanque de 450 litros de agua, mismo que se encuentra adaptado a un sistema de goteo a través de un grifo de plástico con su manguera que dirige la dosis de la solución de hipoclorito de Calcio, al tanque de almacenamiento para su posterior distribución a la red de agua potable de la ciudad de Entre Ríos.

El sistema de goteo para la Cloración se encuentra dentro de una infraestructura que carece de una puerta, y los tanques de almacenamiento donde se agrega la dosificación se encuentran abiertos.

2. MEDICIÓN DEL PUNTO MÁS CERCANO Y LOS DOS PUNTOS MÁS ALEJADOS DEL SISTEMA DE CLORACIÓN

Se procedió a solicitar el mapa de la mancha urbana de la ciudad de Entre Ríos, otorgado por la Unidad de Catastro de la H.A.M.E.R. Se hizo la lectura a escala 1:5000 del programa de software Visio, del cual se midieron las distancias para los puntos más alejados y el más cercano, determinando cuáles serían las muestras más representativas.

IMAGEN N°4

MAPA DE LA MANCHA URBANA DE LA CIUDAD DE ENTRE RÍOS



Fuente: Unidad de Catastro de la H.A.M.E.R. (Programa software Visio)

Luego se procedió a ubicar satelitalmente los puntos marcados del mapa de la mancha urbana con el programa Google Earth, y se marcó una ruta tomando en cuenta la red de distribución de agua potable, obteniendo las distancias de los puntos seleccionados para el muestreo con el Tanque Clorador y se procedió a georreferenciar los puntos de muestreo.

Se determinó el punto más cercano al Tanque Clorador y los dos puntos más alejados, que pertenecen al sistema de cloración del tanque ubicado en la comunidad de Las

Lomas, con las coordenadas UTM: 622331.4 y 2380958.9, en dichos puntos se realizaron los respectivos muestreos de control mínimo, Cloro residual y Cloro total.

IMAGEN N°5

DISTANCIAS DE LOS PUNTOS DE MUESTREO CON RELACIÓN AL TANQUE CLORADOR



Fuente: Google Earth.

TABLA N° 8

DISTANCIAS AL TANQUE CLORADOR Y COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DENTRO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

PUNTOS DE MUESTREO	LONGITUD [m]	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		COORDENADAS UTM	
P1: Tanque Clorador.	0	21°31'35.98"S	64°11'8.78"O	622944.5	2362453.5
P2: Casa más cercana.	470	21°31'37.92"S	64°10'52.34"O	622331.4	2380958.9
P3: Casa 1 más alejada.	1345	21°31'9.84"S	64°10'8.95"O	621089.5	2380086.1
P4: Casa 2 más alejada.	2083	21°31'35.08"S	64°10'6.37"O	621009.5	2380861.6

Fuente: Elaboración propia.

3. RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LOS CAUDALES DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN HASTA EL TANQUE CLORADOR

3.1 Resultado del cálculo de los caudales medidos en el sistema de filtración.

El sistema de filtración también cuenta con un canal y una tubería que dirige el agua al Tanque Clorador, también existe un sistema de rebalse en caso de colapso del sistema, se realizó el aforo de los caudales del sistema de filtración en fecha 21 de Noviembre de 2018.

3.1.1 Cálculo del caudal del Canal.

Para Q_1 : Canal

$$Q_1 = A * v$$

Donde:

Q_1 = Caudal del Canal (m^3/s)

A = Área húmeda del canal (m^2)

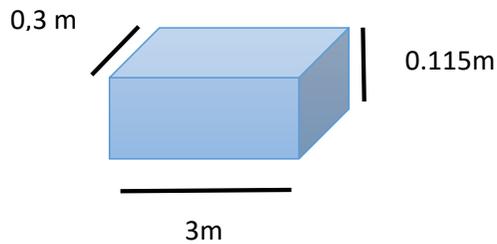
v = Velocidad (m/s)

- Se calculó el área del canal empleando los datos obtenidos de la medición del canal.

Nivel Húmedo de agua: 0.115m

Ancho: 0.3m

Distancia: 3m



A = Tirante * Ancho

A = 0,115m * 0,3m

A = 0,0345m²

El canal del sistema de filtración está construido de hormigón el cual transporta menos volumen en una sección que si fuera tubería porque el factor de rugosidad del hormigón es más alto que el de una tubería PVC, entonces la rugosidad es inversamente proporcional a la velocidad.

- Se calculó la velocidad del agua que pasa por el canal.

TABLA N° 9
CÁLCULO DEL TIEMPO PROMEDIO QUE EL FLOTADOR RECORRE UNA
DISTANCIA DE 3 METROS

Distancia que recorre el flotador. (m)	N° de Mediciones	Tiempo (s)	Sumatoria Total. (s)	Tiempo Promedio. (s)
3	1	3,35	34,16	3,416
	2	3,50		
	3	3,43		
	4	3,36		
	5	3,40		
	6	3,29		
	7	3,54		
	8	3,41		
	9	3,48		
	10	3,40		

Fuente: Elaboración propia.

Entonces:

$$v = \frac{D}{t}$$

Dónde el:

d= Distancia que recorre el flotador. (m)

t= Tiempo que tarda en recorrer la distancia. (s)

$$v = \frac{3m}{3,416 s}$$

$$v = 0,878 \text{ m/s}$$

- Se reemplazan los datos en la fórmula del caudal y obtenemos.

$$Q_1 = A * v$$

$$Q_1 = 0,0345 \text{ m}^2 * 0,878 \text{ m/s}$$

$$Q_1 = 0,0303 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.1.2 Cálculo del caudal de la tubería del sistema de filtración

Para Q_2 : tubo

Se empleó un balde de 30 ℓ

$$30\ell * \frac{1\text{m}^3}{1000} = 0.03\text{m}^3$$

- Se calculó el tiempo que tarda en llenarse el balde, el volumen se mantiene constante.

TABLA N°10

*CÁLCULO DEL TIEMPO PROMEDIO QUE TARDA EN LLENARSE EL BALDE
DE UN VOLUMEN DE 30 ℓ*

N° de Mediciones.	Tiempo. (s)	Sumatoria Total. (s)	Tiempo Promedio. (s)
1	18,37	89,52	17,904
2	17,28		
3	16,96		
4	17,56		
5	19,35		

Fuente: Elaboración propia.

Entonces:

$$Q_2 = \frac{V}{t}$$

Donde el:

Q_2 = Caudal del tubo que se dirige al Tanque Clorador. (m^3/s)

V= Volumen del agua que sale del tubo. (m^3)

t= Tiempo en que se llena el balde. (s)

$$Q_2 = \frac{0,03m^3}{17,904 s}$$

$$Q_2 = 0,0017 m^3/s$$

3.1.3 Cálculo del caudal de la tubería que sale como exceso o pérdida de la Planta de Filtración.

Para Q_3 : Caudal excedente de la planta.

Se empleó un balde de 30 ℓ

$$30\ell * \frac{1m^3}{1000} = 0.03m^3$$

- Se calculó el tiempo que tarda en llenarse el balde, el volumen se mantiene constante.

TABLA N° 11

CÁLCULO DEL TIEMPO PROMEDIO QUE TARDA EN LLENARSE EL BALDE

N° de Mediciones.	Tiempo. (s)	Sumatoria Total. (s)	Tiempo Promedio. (s)
1	31,13	94,61	31,54
2	31,55		
3	31,93		

Fuente: elaboración propia.

Entonces:

$$Q_3 = \frac{V}{t}$$

Donde el:

Q_3 = Caudal de la tubería que realiza el desagüe del caudal excedente en la Planta de Filtración. (m^3/s)

V= Volumen del agua que sale del tubo. (m^3)

t= Tiempo en que se llena el balde. (s)

$$Q_3 = \frac{0,03m^3}{31,54 s}$$

$$Q_3 = 0,00095 m^3/s$$

3.1.4 Cálculo del caudal total del sistema de filtración

➤ Caudal total del sistema de filtración.

$$Q_t = (Q_1 + Q_2) - Q_3$$

Dónde el:

Q_t = Caudal total del sistema de filtración. (m^3/s)

Q_1 = Caudal del Canal. (m^3/s)

Q_2 = Caudal del tubo que se dirige al tanque Clorador. (m^3/s)

Q_3 = Caudal de perdida. (m^3/s)

$$Q_t = (0,03m^3/s + 0,0017m^3/s) - 0,00095m^3/s$$

$$Q_t = 0,03105m^3/s$$

El caudal total que se dirige a los tanques de cloración de la ciudad de Entre Ríos es de $0,03075 m^3/s$ en los cuales se realiza el proceso de cloración.

3.1.5 Cálculo del caudal que ingresa al Tanque Clorador de la comunidad Las Lomas.

Por las condiciones que presenta el tanque de cloración de la comunidad Las Lomas se empleó el método volumétrico.

Para Q_4 : Caudal que ingresa al tanque clorador de la comunidad Las Lomas.

Se empleó un balde de 18ℓ

$$18\ell * \frac{1m^3}{1000} = 0.018m^3$$

- Se calculó el tiempo que tarda en llenarse el balde, el volumen se mantiene constante.

TABLA N°12

CÁLCULO DEL TIEMPO PROMEDIO QUE TARDA EN LLENARSE EL BALDE

N° de Mediciones.	Tiempo. (s)	Sumatoria Total. (s)	Tiempo Promedio. (s)
1	1,59	8,9	1,48
2	1,33		
3	1,53		
4	1,39		
5	1,53		
6	1,53		

Fuente: Elaboración propia.

Entonces:

$$Q_4 = \frac{V}{t}$$

Donde el:

Q_4 = Caudal del tubo que ingresa al Tanque Clorador. (m^3/s)

V= Volumen del agua que sale de la tubería. (m^3)

t= Tiempo en que se llena el balde. (s)

$$Q_4 = \frac{0,018m^3}{1,48 s}$$

$$Q_4 = 0,01213 m^3/s$$

3.1.6 Diferencia del caudal del agua derivada que se dirige a otros barrios.

$$\Delta Q = Q_t - Q_4$$

ΔQ = Caudal que se deriva a otros barrios antes de ingresar al Tanque Clorador.

Q_t = Caudal total del sistema de filtración. (m^3/s)

Q_4 = Caudal del tubo que ingresa al Tanque Clorador. (m^3/s)

$$\Delta Q = 0,03105m^3/s - 0,01213 m^3/s$$

$$\Delta Q = 0,01891m^3/s$$

Del sistema de filtración del agua potable sale un caudal de agua $0,03105 m^3/s$, destinado para el consumo de la población de la ciudad de Entre Ríos, antes de ingresar al Tanque Clorador de la comunidad Las Lomas, se desvía un caudal de $0,01891m^3/s$ hacia el tanque de cloración de la comunidad de Alambrado y el tanque de cloración del Barrio La Pampa, por lo que el Tanque Clorador de la comunidad Las Lomas recibe un caudal de $0,01213 m^3/s$, para su tratamiento de desinfección y distribución a los barrios de la mancha urbana con excepción del Barrio La Pampa.

4. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ANÁLISIS Y COMPARACIÓN CON LA NORMATIVA.

Para la realización de los análisis en los diferentes puntos de muestreo se emplearon dos métodos uno la contratación de los servicios del laboratorio CEANID (Centro de Análisis Investigación y Desarrollo), en el cual se solicitó los análisis de: parámetros de control mínimo (conductividad eléctrica, pH, Turbiedad, Coliformes termoresistentes) Cloro Residual y Cloro total, el otro método empleado fue el método DPD. sobres de reactivo en polvo Hanna Instrumets para la determinación de Cloro residual.

4.1 Resultados de las muestras realizado por el laboratorio CEANID y por el método D.P.D con los reactivos en polvo Hanna Instruments.

A continuación, se detalla los resultados de cada parámetro obtenido, en los diferentes puntos y frecuencias de muestreo.

4.1.1 Resultados del parámetro conductividad eléctrica.

TABLA N°13

RESULTADOS DEL PARÁMETRO CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Parámetro	Punto de muestreo.	Técnica	Unidad	Resultados			Valor máximo aceptable.	Referencia de los límites.
				6/11/18	15/11/18	4/12/18		
Conductividad	P 1	SM	uS/ cm	78,3	65,60	37,0	1.500 μS/cm	NB 512
	P 2	2510-B		80,9	68,05	42,0		

Fuente: Elaboración propia.

La conductividad es realmente una medida de la actividad iónica de una solución en términos de su capacidad para transmitir corriente. (Ecofluidos ingenieros, 2012)

A través de los análisis de conductividad eléctrica realizados en los puntos de muestreo, P1: Tanque Clorador y P2: Garaje de la Alcaldía, se puede observar que no se excede el valor máximo aceptable estipulado por la NB 512, lo que significa que la solución (agua) no está concentrada, porque la proximidad de los iones inhibe su actividad, en consecuencia, su habilidad de transmitir corriente.

4.1.2 Resultados del parámetro pH

TABLA N°14
RESULTADOS DEL PARÁMETRO pH

Parámetro	Punto de muestreo	Técnica	Resultados			Valor máximo aceptable.	Referencia de los límites.
			6/11/18	15/11/18	4/12/18		
pH	P 1	SM	7,29	7,48	7,16	6,5 – 9,0	NB 512
	P 2	4500-H-B	7,46	7,16	7,08		

Fuente: Elaboración propia.

Cuando el valor del pH es de 8,5, el Cloro se encuentra en la forma de ion hipoclorito,.



por lo que cuando las aguas son ligeramente alcalinas, para conseguir el efecto bactericida en el mismo período de tiempo es necesario aumentar drásticamente las cantidades de Cloro añadidas al agua cuando se adiciona Cloro en forma de hipoclorito Sódico o Cálcico, el pH inicial del agua tiende a aumentar: (Pérez J y Espigares M, 1995).

El Cloro al entrar en contacto con el agua a ser desinfectada, reacciona principalmente en sus formas de ácido hipocloroso e ion hipoclorito. Las proporciones en que se forman una u otra de estas formas están muy influenciadas por el pH del agua.

El principal y la más importante forma activa del Cloro es el ácido hipocloroso; sin embargo, sólo se produce en porcentajes importantes en una solución con pH por debajo de 7.5. Clorar un agua con pH mayores a 7.5 resulta poco eficiente. (Fustamante N, 2017)

Según los resultados de los análisis de pH tomados en los dos primeros puntos de muestreo, p1: Tanque Clorador, p2: Garaje de la alcaldía se constata que el pH antes y

después de la cloración se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la NB 512 y se logra realizar una cloración efectiva.

También podemos concluir que el pH del agua suministrado por la HAM de Entre Ríos, es un agua natural de excelente calidad, para ser clorada directamente.

4.1.3 Resultados del parámetro Turbiedad.

TABLA N°15

RESULTADOS DEL PARÁMETRO TURBIEDAD

Parámetro	Punto de muestreo.	Técnica	Unidad	Resultados			Valor máximo aceptable	Referencia de los límites.
				6/11/18	15/11/18	4/12/18		
Turbiedad	P 1	SM	UNT	< 1	<1	1,40	5 UNT	NB 512
	P 2	2130-B		<1	<1	1,17		

Fuente: Elaboración propia.

La turbiedad es un parámetro que indica la capacidad para que un haz de luz atraviese un cuerpo de agua, se considera una característica organoléptica de la calidad del agua potable. (Fustamante N, 2017)

Mientras más turbia sea el agua, se podría tener mayor riesgo de contaminación microbiológica o de contener otros contaminantes. No es recomendable clorar aguas con más de 5 UNT. (Fustamante N, 2017)

(Según op.cit James R. et.al 2009) los niveles de turbiedad antes de la cloración del agua deben ser:

- Ideal: menor a 1 UNT. (Unidad Nefelométrica de Turbiedad)
- Aceptable: menor a 5 UNT.
- En caso de emergencia menor a 20 UNT por un muy corto periodo de tiempo. (Fustamante N, 2017)

Las operaciones previas a la desafección de coagulación, floculación, sedimentación y filtración, afecta directamente a la eficiencia de eliminación de partículas de las unidades de filtración en medio granular y afecta indirectamente a la eficiencia de la desinfección. (OMS, 2006)

Los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio indican que el agua de la ciudad de Entre Ríos cumple con el parámetro de turbiedad, conteniendo de forma ideal la cantidad de sólidos en suspensión, para ser tratado con Cloro y producir agua potable y seguir cumpliendo con los parámetros organolépticos del agua, para su aceptabilidad por los consumidores, siendo un agua cristalina (Incolora) la cual puede ser tratada efectivamente en el proceso de cloración, según la NB 512.

4.1.4 Resultados del parámetro Coliformes Termoresistentes.

TABLA N°16

RESULTADOS DEL PARÁMETRO COLIFORMES TERMORESISTENTES

Parámetro	Punto de muestreo.	Técnica	unidad	Resultados			Valor máximo aceptable.	Referencia de los límites.
				6/11/18	15/11/18	4/12/18		
Coliformes Termoresistentes	P 1	NB 31004:0	UFC/10 0ml	2,9x 10 ¹	8	9	0 UFC/100 ml	NB 512
	P 2	7		2,2 x 10 ¹	6	<1		

Fuente: Elaboración propia

Los Coliformes Fecales (Termoresistentes), son aquellos coliformes que resisten temperaturas hasta de 52°C, se trata de organismos anaerobios esporulados, normalmente presentes en las heces, sus esporas pueden subsistir en el agua, por periodos de tiempo más prolongados y pueden resistir a la desinfección si el grado de tiempo de concentración y el pH son inadecuados, su presencia en aguas desinfectadas puede indicar que existen deficiencias en el tratamiento.

Las operaciones de coagulación, floculación, sedimentación (o flotación) y filtración retiran partículas del agua, incluidos los microorganismos (bacterias, virus y protozoos). Es importante optimizar y controlar las operaciones para lograr un rendimiento constante, confiable y pueden actuar como barrera permanente y eficaz contra microbios patógenos (OMS ,2006)

Para que la desinfección sea efectiva, es necesario que exista contacto íntimo entre el desinfectante y el microorganismo. Con escasas excepciones, la principal fuente de microorganismos patógenos en el agua son las heces del hombre y animales, por lo que generalmente están asociados con materia particulada. Esta asociación se ve influenciada por múltiples factores, entre los cuales, el tamaño de los microorganismos quizás sea el más importante. Los virus, por su pequeño tamaño, pueden ser protegidos por partículas mucho más pequeñas de las necesarias para bacterias y protozoos, y además, las cargas superficiales que intervienen en los procesos de adsorción son más efectivas en los virus debido a que su relación superficie/masa es mucho mayor. Este concepto ha conducido a valorar aún más los procesos de eliminación de partículas. (Pérez J y Espigares M, 1995).

Las bacterias y virus adsorbidos en la superficie de partículas del tipo de la arcilla o flóculos inorgánicos, apenas ven afectadas sus tasas de supervivencia a la desinfección, mientras que los virus asociados con restos celulares, heces o partículas sólidas de aguas residuales, alcanzan niveles importantes de protección. Las tasas de inactivación son inicialmente muy rápidas, pero la supervivencia de algunos microorganismos puede prolongarse durante mucho tiempo. (Pérez J y Espigares M, 1995)

Los análisis realizados por el laboratorio CEANID, muestran que en ambos puntos de muestreo antes y después de la cloración en las fechas previas a la dosificación propuesta el parámetro coliformes termoresistentes excede el valor máximo aceptable establecido por la NB512, lo que indica contaminación del agua por coliformes termoresistentes y por lo tanto la ineffectividad de las dosificaciones realizadas, si bien con éstos datos se demuestra contaminación microbiológica, no hay que olvidar el

hecho que esta planta de tratamiento de cloración, está en una zona rural, donde la cría de animales como chanchos, vacas, caballos, gallinas y otros es normal, influenciando de forma directa al sistema que se encuentra destapado o al aire libre.

4.1.5 Resultados del parámetro Cloro total.

TABLA N°17

RESULTADOS DEL PARÁMETRO CLORO TOTAL

Parámetro	Punto de muestreo.	Técnica	Unidad	Resultados			Valor máximo aceptable.	Referencia de los límites.
				6/11/18	15/11/18	4/12/18		
Cloro Total	P 2	EPA	mg/l	n.d.	n.d.	0,22	Sin referencia	NB-512
	P 3	DPD		0,1	n.d.	n.d.		
	P 4	330.5		n.d.	n.d.	n.d.		

Fuente: Elaboración propia.

El Cloro total es la suma de Cloro residual y Cloro combinado.

Cloro Total: Valor mínimo 0.6 mg/l , valor máximo aceptable mg 1.2 mg/l (INVIMA, 2014)

Según los análisis obtenidos del laboratorio CEANID, de los tres puntos muestreados p2: Garaje Alcaldía, p3: Casa 1 más alejada del sistema, p4: Casa 2 más alejada del sistema de cloración, el Cloro total, en la realización de los muestreos no se cumple con lo establecido como los parámetros de control mínimo de 0.6 mg/l, según los análisis realizados por el laboratorio CEANID.

4.1.6 Resultados del parámetro Cloro Residual.

TABLA N°18

RESULTADOS DEL PARÁMETRO CLORO RESIDUAL

Parámetro	Punto de muestreo.	Técnica laboratorio CEANID.	Elaboración propia Reactivo DPD – Hanna.	Resultados			Valor máximo aceptable.	Referencia de los límites.
				6/11/18	15/11/18	4/12/18		
Cloro Residual	P 3	HACH 2231-88		0,1	n.d	n.d	0,2 – 1,0 mg/l	NB 512
	P 4		0,5*	n.d	n.d	n.d		

Fuente: Elaboración propia.

*Ver imagen n° 39 tonalidad F, rango en la tabla de valores 0,5 pg. 134

El efecto más importante que se persigue con la cloración es la oxidación de la materia orgánica del agua, el Cloro es capaz de oxidar muy rápidamente sustancias inorgánicas reductoras, tales como sales de hierro y manganeso y sulfuros. La combinación del Cloro con la materia orgánica y con el amoníaco produce compuestos Clorados que genéricamente se denominan Cloro residual y que tienen una gran importancia en la cloración. (Pérez J y Espigares M, 1995)

El Cloro residual que queda disponible después de haber efectuado la desinfección del agua, es decir, la destrucción o inactivación de los microorganismos presentes. (Fustamante N, 2017)

La NB 512 (Norma Boliviana) exige como valores mínimos 0,2 mg/l y como valor máximo 1,0 mg/l, en la realización de los muestreos no se cumple con lo establecido en la NB512, según los análisis realizados por el laboratorio CEANID, se debe tomar en cuenta que las muestras se almacenaron en el laboratorio por una semana antes de ser analizadas y el Cloro es una sustancia muy volátil, por lo tanto se encontró un contraste con los resultados obtenidos por el método cuali-cuantitativo D.P.D reactivo

para Cloro residual Hanna Instruments, dentro del cual durante el proceso de toma de muestras para el laboratorio se procedió a muestrear in-situ en la segunda vivienda más alejada del sistema de cloración ubicada en la urbanización San Lorenzo, el cual dio como resultado un cambio de color muy visible que comparado con la tabla de valores para reactivos D.P.D da como resultado una coloración de 0,5 un rosa de una tonalidad F.

Como podemos observar los datos de estas tres últimas tablas, coinciden por completo, por lo que realizando una adecuada cloración se podría llegar a los valores exigidos por NB-512, podemos concluir que una dosis adecuada de hipoclorito de Calcio mejora las condiciones de la calidad del agua potable para consumo humano proveniente de la red de distribución de la comunidad Las Lomas.

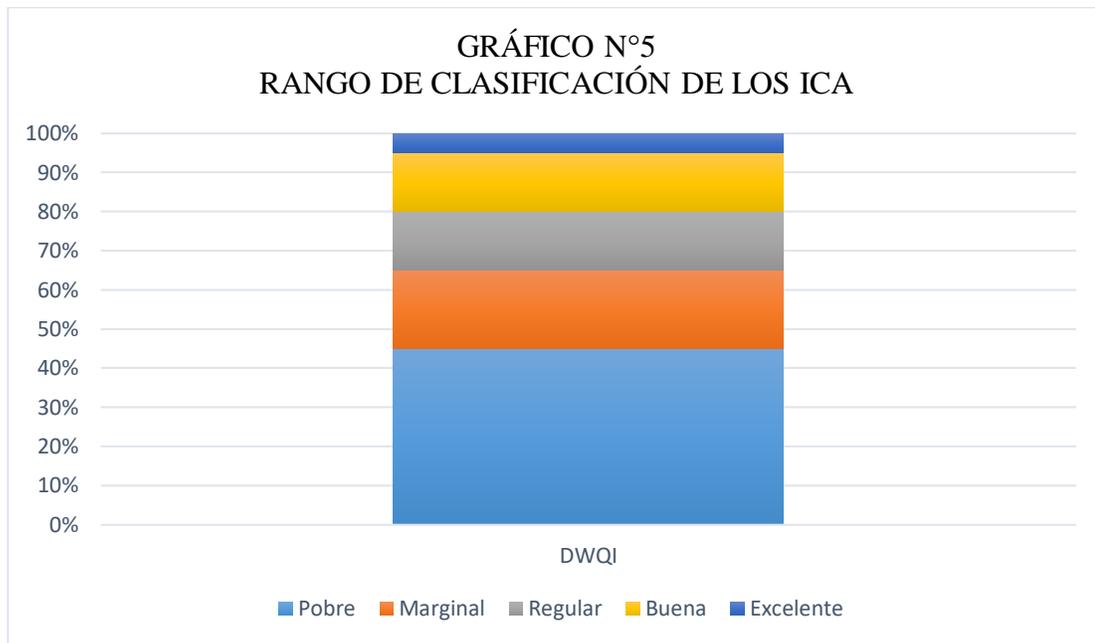
4.2 Determinación de la calidad del agua potable antes y después de la Cloración.

ICA mundial de agua potable (Drinking Water Quality Index – DWQI) que se aplica a las fuentes de abastecimiento a ser usadas para producir agua potable y que fue desarrollado ante la necesidad de evaluar la situación mundial de las fuentes de captación. (Torrez P. et.al, 2009)

Orientado inicialmente a la evaluación de la calidad ecológica de las aguas basado en la comparación de los valores de cada parámetro con un punto de referencia, el cual generalmente es obtenido de una norma; dada su flexibilidad en los parámetros y el uso de directrices para protección de la vida acuática que emplea, el índice permite evaluar la calidad de las aguas destinadas a consumo humano. (Torrez P. et.al, 2009)

El valor del ICA permite clasificar el recurso a partir de rangos establecidos que son definidos considerando el evaluar. Las categorías, esquemas o escalas de clasificación, son un punto de igual o mayor interés que el cálculo en sí del índice, pues es aquí donde finalmente el valor obtenido es transformado en una característica que define la calidad final del agua. (Torrez P. et. al, 2009)

Cada resultado obtenido por la ecuación del DWQI (Índice de calidad del agua potable), muestras tomadas antes P1: Tanque de Cloración y después P2: Garaje de la alcaldía, del tratamiento de cloración se compara con los rangos de clasificación y se determina la calidad del agua potable de la ciudad de Entre Ríos antes y después del tratamiento de Desinfección.



Fuente: Torrez P. et. al, 2009

Los ICA presenta 5 rangos de clasificación de calidad del agua los cuales varían de acuerdo con cada índice, van de Pobre aguas con ICA= 0 a 45, aguas Marginales con ICA= 45 a 65, aguas Regulares ICA= 65 a 80, aguas Buenas con ICA=80 a 95 y aguas Excelentes con ICA= 95 a 100.

TABLA N°19

CLASIFICACIÓN DE LOS ICA

CÓDIGO	ICA
	DWQI
1	Pobre
2	Marginal
3	Regular
4	Buena
5	Excelente

Fuente: Torrez P. et. al, 2009

En general se observa que los rangos codificados con los números 1 y 2 clasifican el agua como de mala calidad la cual, de acuerdo con los ICA que definen usos es inaceptable para consumo humano; a partir del rango 3 hasta el 5, las clasificaciones describen aguas de mediana a excelente calidad, que de acuerdo con las recomendaciones dadas por los ICA que definen usos, requieren de tratamiento cuya complejidad depende del rango; así, a menor calidad mayores requerimientos en el tratamiento del agua. (Torrez P. et.al, 2009)

4.2.1 Medida del ICA en el punto de muestreo P1: Tanque Clorador, antes del proceso de Cloración.

Se empleó la ecuación de Cálculo para la determinación de ICA el caudal empleado previo al tratamiento de cloración en el P1: Tanque Clorador.

$$ICA = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

Donde el:

(F1) Alcance: Porcentaje de parámetros que exceden la norma.

(F2) Frecuencia: Porcentaje de pruebas individuales de cada parámetro que excede la norma.

(F3) Amplitud: Magnitud en la que excede la norma cada parámetro que no cumple.

Para reemplazar la formula se emplearon los parámetros de control mínimo muestreados en el tanque Clorador entonces tenemos que:

$$F1 = \frac{1 \times 100}{4} = 25\%$$

Donde de cuatro parámetros analizados uno excede con lo establecido en la NB 512.

$$F2 = \frac{3 \times 100}{12} = 25\%$$

Donde de las doce pruebas individuales de cada parámetro tres exceden la norma.

$$F3 = \frac{2.9 \times 10^1 + 8 + 9}{3} = 15,33$$

Valor con el que se excede la NB 512 de cada parámetro que no cumple con la norma.

$$ICA = 100 - \left(\frac{\sqrt{25^2 + 25^2 + (15,33)^2}}{1.732} \right)$$

$$ICA = 74,37\%$$

El resultado obtenido de 74,37% dentro del punto de muestreo P1: Tanque Clorador, pertenece al rango 3 (Ver gráfico N°4 y tabla N°17) otorgando una clasificación de Regular, para el agua que proviene del sistema de filtración, previa al tratamiento de desinfección.

4.2.2 Medida del ICA en el P2: Garaje de la Alcaldía (Casa más próxima al sistema de Cloración)

Se empleó la ecuación de Cálculo para la determinación de ICA después del tratamiento de cloración en el P2: Garaje de la Alcaldía.

$$ICA = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

Donde el:

(F1) Alcance: Porcentaje de parámetros que exceden la norma.

(F2) Frecuencia: Porcentaje de pruebas individuales de cada parámetro que excede la norma.

(F3) Amplitud: Magnitud en la que excede la norma cada parámetro que no cumple

Para reemplazar la formula se emplearon los parámetros de control mínimo muestreados en el Garaje de la Alcaldía entonces tenemos que:

$$F1 = \frac{1 \times 100}{4} = 25\%$$

Donde de cuatro parámetros analizados uno excede con lo establecido en la NB 512.

$$F2 = \frac{2 \times 100}{12} = 16.67\%$$

Donde de las doce pruebas individuales de cada parámetro dos exceden la norma.

$$F3 = \frac{2.2 \times 10^1 + 6}{2} = 14$$

Valor con el que se excede la NB 512 de cada parámetro que no cumple con la norma.

$$ICA = 100 - \left(\frac{\sqrt{25_1^2 + 16.67_2^2 + 14_3^2}}{1.732} \right)$$

$$ICA = 80,86\%$$

El resultado obtenido de 80,86% dentro del punto de muestreo P1: Tanque Clorador, pertenece al rango 4 (ver gráfico N°4 y tabla N°17) otorgando una clasificación de Buena, para el agua que proviene de la planta Cloradora, después de realizado el tratamiento de desinfección.

5. CÁLCULO DEL CAUDAL DE SOLUCIÓN CLORADA A APLICAR (Q_{sc})

Para poder encontrar un caudal de partida para la dosificación de Hipoclorito de Calcio se estableció como punto de partida una relación entre los sistemas de tratamiento de la ciudad de Tarija con la ciudad de Entre Ríos por que se contaba con información técnica del tratamiento que ellos realizan para la desinfección del agua potable en la ciudad.

5.1. Relación de caudales.

Se realizó una relación entre ambos caudales de Tarija-Entre Ríos que ingresan a las plantas de cloración y se obtiene:

$$R_Q = \frac{Q_{Tj}}{Q_{ER}}$$

R_Q = Relación Caudales.

Q_{Tj} =Caudal de Tarija del sistema de cloración.

Q_{ER} =Caudal de Entre Ríos del sistema de cloración.

$$R_Q = \frac{350l/s}{12 l/s} = 29,17$$

Se establece una relación de los caudales de las ciudades Tarija-Entre Ríos para optimizar las cantidades de Hipoclorito de Calcio en la ciudad de Entre Ríos.

5.2. Caudal dosificación Tarija.

Para hallar el caudal para la dosificación adecuada para la ciudad de Entre Ríos, se determina el caudal que maneja el sistema de goteo de la ciudad de Tarija, en base a la información obtenida.

Entonces:

$$Q_{\text{Dosificacion T}} = \frac{V}{t}$$

Donde el:

$Q_{\text{Dosificacion T}}$ = Caudal de hipoclorito de calcio que sale del dosificador. (ℓ/s)

V= Volumen de la solución preparada de hipoclorito de calcio del dosificador. (ℓ)

t= Tiempo en que se termina la solución de hipoclorito de Calcio. (s)

$$Q_{\text{Dosificacion T}} = \frac{4000 l}{12 hrs} * \frac{1 hr}{60 min} * \frac{1 min}{60 s} = 0,093 \ell/s$$

5.3. Caudal de solución clorada para Entre Ríos (Qsc)

Para determinar el caudal necesario de la dosis se emplea el caudal que utiliza Tarija con la relación al caudal de Entre Ríos.

Entonces:

$$Q_{sc} = \frac{Q_{\text{Dosificacion T}}}{\text{Relación Caudales}}$$

$$Q_{sc} = \frac{0,093 \text{ l/s}}{29,17} = 0,0032 \text{ l/s}$$

Transformación de unidades a ml/s

$$0,0032 \text{ l/s} * \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ l}} = 3,2 \text{ ml/s}$$

Por lo tanto se determinó que el caudal necesario para Entre Ríos, según la dosificación que realizan en Tarija, para obtener un resultado óptimo en la cloración es de 3,2 ml/s

5.4 Cálculo del tiempo de dosificación de volumen de (Qsc)

Se empleó un muestreador de 10 ml.

$$Q_{sc} = \frac{Vm}{t}$$

Dónde:

Qsc = Caudal de la solución clorada a aplicar. (3,2ml/s)

Vm= Volumen del muestreador de la solución de Cloro. (ml)

t= Tiempo en que se llena el muestreador. (s)

Entonces se despeja la fórmula en:

$$t = \frac{Vm}{Qsc}$$

$$t = \frac{10 \text{ ml}}{3,2 \text{ ml/s}} = 3,125 \text{ s}$$

Para llegar a 3,1s se ha tenido que regular varias veces la válvula del sistema de dosificación del hipoclorito de Calcio, hasta lograr llenar el muestreador de volumen 10 ml en un tiempo de 3,1s, para este trabajo se necesitó la colaboración de más personal, uno en la regulación de la válvula que debía ajustarla según el caudal que se necesitaba, una persona en el control del tiempo y otra que controle el volumen del agua hasta los 10 ml para evitar cualquier error que pueda producirse.

6. EVALUACIÓN DE LA DOSIS ADECUADA DE HIPOCLORITO DE CALCIO.

6.1 Cálculo de la concentración (%) porcentual de Cloro Total.

Se manejan las siguientes igualaciones de compuestos químicos, para la determinación de la concentración porcentual.

Conociendo que:

Para la preparación aplicada: 4,5 kg Ca (ClO)₂ en 450 ℓ H₂O

Para la solución a experimentar: 40ℓ H₂O

Pesos de los Elementos:

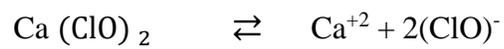
Ca= 40,078 kg

Cl= 35,435 kg

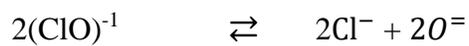
O= 15,999 kg



$$X = 0,4 \text{ Kg Ca (ClO)}_2$$



$$Z = 0,2881 \text{ kg(ClO)}^-$$



$$W = 0,1986 \text{ kg } 2\text{Cl}^-$$

$$W = 0,1986 \text{ kg } \text{Cl}_2$$

Es el resultado del Cloro total que se preparó en 0,40 kg de Ca (ClO)_2 en 40 l



$$X = 0,4965\% \approx 0,5\% \text{ Cl}_2$$

6.1.1 Recálculo de la concentración porcentual de Cloro total

Se realiza la interpolación de la concentración porcentual:

Concentración Porcentual	Densidad (g/ ml)
[%]	f
0,5	X
1	0,8
65	1,1

$$65 - 0,5 = 64,5$$

$$1,1 - X$$

$$1 - 0,5 = 0,5$$

$$0,8 - X$$

$$64,5 \quad \longrightarrow \quad 1,1 - X$$

$$0,5 \quad \longrightarrow \quad 0,8 - X$$

$$64,5(0,8 - X) = 0,5(1,1 - X)$$

$$51,6 - 64,5X = 0,55 - 0,5X$$

$$51,6 - 0,55 = 64,5X - 0,5X$$

$$51,05 = 64X$$

$$\frac{51,05}{64} = X$$

$$X = 0,798 \text{ g/ml} = \text{kg/ } \ell$$

$$40\ell \circ \longrightarrow \int 1\text{Kg/ } \ell = 1 \text{ g/ml}$$

Despejamos de la fórmula de densidad la masa:

$$f = \frac{m}{v}$$

Donde la:

f = Densidad de los 40ℓ \odot (kg/ ℓ)

m= Masa (kg)

V= Volumen (ℓ)

$$m = f * v$$

$$m = 1 \text{ kg}/\ell * 40\ell$$

$$m = 40\text{kg} \odot$$

- Se calcula otra vez la masa, pero con el dato de la concentración porcentual como la densidad que hay en 0,5%

$$m = f * v$$

$$m = 0,798 \text{ kg}/\ell * 40\ell$$

$$m = 31,92 \text{ kg} \odot (\text{solución})$$

- Ahora se determina el porcentaje de la solución contenido de Cloro.

$$0,1986 \text{ kg } Cl_2 \text{ (Solute)} \longrightarrow 31,92 \text{ kg} \odot$$

$$X \longrightarrow 100\text{kg}$$

$$X = 0,622 \% \odot Cl_2$$

Es el contenido de Cloro máximo en porcentaje dentro del tacho de 40ℓ .

Entonces:

$$D_1 = \frac{496.356 \frac{\text{mg}}{\text{l}} * 0,0032 \frac{\text{l}}{\text{s}}}{12 \frac{\text{l}}{\text{s}}}$$

$$D_1 = \frac{1588,3392 \text{ mg/l}}{12}$$

$$D_1 = 132,36 \text{ mg/l}$$

Para la obtención de la dosis de Cloro a aplicar en el agua en la ciudad de Entre Ríos en este D_1 se empleó como dato (Q_{sc}) teórico obtenido de la relación de los caudales de Tarija y Entre Ríos, teniendo como resultado la Dosis de Cloro que teóricamente se debe aplicar con el caudal que recibe el Tanque Clorador para su tratamiento de desinfección.

Después de haber obtenido teóricamente la dosis necesaria a aplicar se procedió a realizar la práctica para demostrar si dicha dosis obtenida era la correcta para nuestro sistema de potabilización del agua perteneciente al tanque Clorador ubicado en la comunidad Las Lomas, para dicho fin se empleó más personal del que se había previsto, pues se necesitó que tres personas se encuentren en el tanque de la comunidad de Las Lomas para la regulación del nuestro caudal (Q_{sc}), hasta que se llegue a al caudal de $3,2 \text{ ml/s}$ de la solución clorada y se necesitaron dos personas más que se encuentren en nuestro segundo punto de muestro que era la primera casa más próxima al tanque Cloración para realizar la evaluación cuantitativa y cualitativa con el método DPD. HANNA de reactivo en polvo de Cloro Residual, el cual nos permitió determinar la valoración del Cloro Residual en un rango de $0,05$ a $1,0 \text{ mg/l}$ comenzando con la dosis que ya tenía el sistema con cada regulación de nuestra válvula hasta obtener nuestra dosis teórica y evaluar si esta cumple con la NB 512.

Desde un punto de vista práctico es muy importante la determinación de Cloro en el agua, el procedimiento empleado a continuación se expone:

6.2.2 Método del DPD o de Palin (Reactivo de Cloro Residual HANNA)

El reactivo específico que se emplea con este método es el Dietil-parafenilen-diamina (DPD), en presencia de Cloro, da una coloración rosa proporcional a la concentración de Cloro, que puede valorarse volumétricamente con una solución de sulfato ferroso amoniacal al 0,1 % (1 ml de esta solución corresponde a 0.1 mg de Cloro), o semicuantitativamente por comparación con una escala de color. (Pérez J y Espigares M, 1995)

Se largó el grifo de nuestra primera casa (Garaje H.A.M) desde el momento que se empezó a dosificar lo calculado a partir de lo cual se empezó con los análisis de método D.P.D reactivo Hanna cada cinco minutos.

Previamente de la aplicación la dosificación calculada se procedió un día antes a medir el (Qsc) de dosis que se estaba aplicando y se realizaron tres pruebas con el reactivo Hanna que dieron como resultado 0,05mg/l en las tres muestras, encontrándose en una tonalidad A, muy por debajo de la NB.

Se empleó un muestreador de 10 ml

Entonces:

- Medición del caudal con la dosis aplicada por el sistema de cloración.

$$Q_{sc1} = \frac{Vm}{t}$$

Dónde el:

Q_{sc_1} = Caudal de dosificación que manejan en la Planta Cloradora. (ml/s)

V_m = Volumen del muestreador (ml)

t = Tiempo en que se llena el muestreador. (s)

$$Q_{sc_1} = \frac{10 \text{ ml}}{191,46 \text{ s}} = 0,052 \text{ ml/s}$$

Entonces para un $Q_{sc_1} = 0,052 \text{ ml/s}$ se obtiene una valoración cualitativa y cuantitativa de 0,05 mg/l. con una tonalidad A, medido en un contraste de fondo blanco, encontrándose fuera de la NB como requisito básico que debe tener la primera casa más próxima al sistema de cloración.

Por lo tanto, se procedió a realizar la dosificación calculada el día 4/dic/2018 como ya se explicó anteriormente se dejó caer el agua del grifo de la primera casa desde el momento que se empezó a dosificar lo calculado con la regulación de la válvula.

Antes de obtener nuestro caudal $Q_{sc}=3,2 \text{ ml/s}$ se reguló tres veces la válvula obteniendo como resultado de los caudales:

➤ Primera Regulación de la válvula.

$$RQ_{sc_1} = \frac{V}{t}$$

Donde el:

RQ_{sc_1} = Caudal de dosificación de la primera regulación de la válvula. (ml/s)

V_m = Volumen del muestreador 10 (ml)

t= Tiempo en que se llena el muestreador (s)

$$RQ_{sc_1} = \frac{10ml}{7s} = 1,43 \text{ ml/s}$$

De la cual se realizó su prueba respectiva con el reactivo D.P.D Hanna y dio como resultado una tonalidad B El cual cualitativa y cuantitativamente corresponde a 0,1 mg/l.

➤ Segunda Regulación de la válvula.

$$RQ_{sc_2} = \frac{V}{t}$$

Donde el:

RQ_{sc_2} = Caudal de dosificación de la primera regulación de la válvula (ml / s)

V_m = Volumen del muestreador 10 (ml)

t= Tiempo en que se llena el muestreador (s)

$$RQ_{sc_2} = \frac{10 \text{ ml}}{6s} = 1,66 \text{ ml/s}$$

De la cual se realizó su prueba respectiva con el reactivo Hanna y dio como resultado una tonalidad C. El cual cualitativa y cuantitativamente corresponde a 0,2 mg/l

➤ Tercera Regulación de la válvula (Q_{sc}) teórico.

$$RQ_{sc_3} = \frac{V}{t}$$

Donde el:

RQ_{sc_3} = Caudal de dosificación de la tercera regulación de la válvula obtención del (Q_{sc}) teórico (ml/s)

V_m= Volumen del muestreador 10 (ml)

t= Tiempo en que se llena el muestreador (s)

$$RQ_{sc_3} = \frac{10ml}{3,125 s} = 3,2 ml/s$$

Al obtener el caudal teórico Q_{sc} 3,2 ml/s, para la dosificación de D₁= 132,36 mg/l, se realizó la prueba respectiva con el reactivo Hanna y dio como resultado una tonalidad D. El que cualitativa y cuantitativamente corresponde a 0,3 mg/l de Cloro residual dentro de la valoración Hanna y la NB dice que debemos estar entre 0,7 – 1 mg/l por tratarse de la casa más próxima al sistema de cloración, se decidió aumentar en tres veces más el valor de Q_{sc} para que la valoración Hanna este dentro de la normativa hasta tener un caudal (Q_{sc}) de 9 ml/s.

TABLA N°20

COMPARACIÓN ENTRE LA RELACIÓN DEL CAUDAL EMPLEADO Y SU
VALORACIÓN CON EL MÉTODO D.P.D HANNA

Dosificación (Qsc)	Valoración cualitativa y cuantitativa HANNA Rango 0,05 – 1,0 mg/l
0,05 ml/s	0,05
3,2 ml/s	0,3

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar en la tabla N°17 se realizó la comparación de los caudales de dosificación, 0,05 ml/s como caudal previo a la regulación de la válvula que da como resultado dentro de la valoración cualitativa y cuantitativa HANNA 0,05 mg/l, encontrándose muy por debajo de lo establecido en la NB, por lo que se procede a la regulación de la válvula hasta obtener el caudal (Qsc) teórico 3,2 ml/s del mismo que se realizó la valoración que cualitativa y cuantitativamente corresponde a 0,3 mg/l de valoración Hanna.

Se procedió nuevamente a la regulación del caudal en tres veces más el valor de Qsc para que la valoración Hanna este dentro de la normativa hasta tener un caudal (Qsc) de 9 ml/s, mediante el ajuste de nuestra válvula y controlando el tiempo de llenado del muestreador. Entonces antes de llegar a este caudal se realizó la regulación de la válvula obteniendo como resultado:

➤ Cuarta Regulación de la válvula.

$$RQsc_4 = \frac{V}{t}$$

Donde el:

$RQsc_4$ = Caudal de dosificación de la cuarta regulación de la válvula. (ml/s)

V_m = Volumen del muestreador. 10 (ml)

t = Tiempo en que se llena el muestreador. (s)

$$RQsc_4 = \frac{10ml}{2s} = 5 \text{ ml/s}$$

De la cual se realizó su prueba respectiva con el reactivo Hanna y dio como resultado una tonalidad E. El cual cualitativa y cuantitativamente corresponde a 0,4 mg/l.

➤ Quinta Regulación de la válvula.

$$RQsc_5 = \frac{V}{t}$$

Donde el:

$RQsc_5$ = Caudal de dosificación de la quinta regulación de la válvula (ml/s)

V_m = Volumen del muestreador. 10 (ml)

t = Tiempo en que se llena el muestreador. (s)

$$RQsc_5 = \frac{10ml}{1,11s} = 9 \text{ ml/s}$$

De la cual se realizó su prueba respectiva con el reactivo Hanna y dio como resultado una tonalidad G. El que cualitativa y cuantitativamente corresponde a 0,7 mg/ℓ siendo este caudal el necesario para la dosificación de Cloro al encontrarse dentro de la NB por lo tanto se realizaron 3 pruebas más que corroboren que la coloración es la correcta, en base a los análisis realizados obtenemos como resultados:

TABLA N°21

*RELACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN CON EL CAUDAL EMPLEADO
MUESTREADO EN LA PRIMERA CASA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE
LA CIUDAD DE ENTRE RÍOS*

Color rosa	Rango dentro de la tabla de valores de Cloro residual con solución de DPD de 0.05 a 1.0 mg/ℓ	Caudal de dosificación empleado (ml/s)
A	0,05	0,052
A	0,05	0,052
A	0,05	0,052
B	0,1	1,43
C	0,2	1,66
D	0,3	3,2
E	0,4	5
G	0,7	9

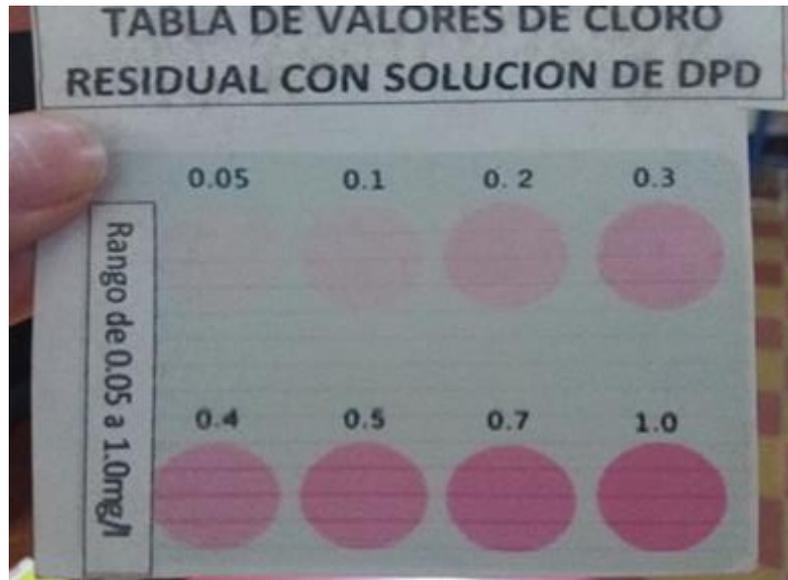
Fuente: Elaboración propia.

*Ver Imagen N°6 tonalidades de rosa de la tabla de valores de cloro residual con solución de D.P.D

En la tabla N°18 se asignaron valores a cada uno de los resultados obtenidos en la toma de muestras del método D.P.D reactivo Hanna dentro de la casa más próxima al sistema de cloración P2: Garaje de la Alcaldía, como punto de muestreo después de cada regulación de la válvula, teniendo como resultado para el primer caudal de dosificación 0,052 ml/s que se encuentra en el Rango 0,05 mg/l dentro de la tabla de valores de Cloro residual con solución de D.P.D de 0.05 a 1.0 mg/l por lo que corresponde a la tonalidad A, para el caudal de 1,43 ml/s que se encuentra en el Rango 0,1 mg/l dentro de la tabla de valores de Cloro residual con solución de D.P.D de 0.05 a 1.0 mg/l por lo que corresponde a la tonalidad B, para el caudal 1,66 ml/s que se encuentra en el Rango 0,2 mg/l dentro de la tabla de valores de Cloro residual con solución de D.P.D de 0.05 a 1.0 mg/l por lo que corresponde a la tonalidad C, para el caudal teórico de 3,2 ml/s que se encuentra en el Rango 0,3 mg/l dentro de la tabla de valores de Cloro residual con solución de D.P.D de 0.05 a 1.0 mg/l por lo que corresponde a la tonalidad D, para el caudal 5 ml/s que se encuentra en el Rango 0,4 mg/l dentro de la tabla de valores de Cloro residual con solución de D.P.D de 0.05 a 1.0 mg/l por lo que corresponde a la tonalidad E, para el caudal 9 ml/s que se encuentra en el Rango 0,7 mg/l dentro de la tabla de valores de Cloro residual con solución de D.P.D de 0.05 a 1.0 mg/l por lo que corresponde a la tonalidad G.

IMAGEN N°6

*TONALIDADES DE ROSA DE LA TABLA DE VALORES DE CLORO RESIDUAL
CON SOLUCIÓN DE DPD*



Fuente: Elaboración propia.

TABLA N°22

VALORACIÓN A CADA RANGO DE LA TABLA

Rango de la tabla mg/ℓ	Asignación
0,005	A
0,1	B
0,2	C
0,3	D
0,4	E
0,5	F
0,7	G
1,0	H

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 19 se asigna una letra a cada valor del Cloro residual con solución D.P.D que está dentro del rango 0,05 a 1,0 mg/ℓ, que va de una tonalidad rosa muy clara para el valor más bajo a rosa oscuro para 1,0 mg/ℓ.

6.3 Cálculo Práctico de la dosis de Cloro a aplicar al agua.

6.3.1 Método por Balance de Masas.

Se determina la dosis de Cloro, mediante un análisis simplificado de balance de masas según la siguiente ecuación:

$$D * Q = d * Q_{sc}$$

Dónde:

D: Dosis de Cloro a aplicar al agua en (mg/ℓ)

Q: Caudal de agua a desinfectar en (ℓ/s)

d: Concentración de Cloro en la solución clorada en (mg/ℓ)

Q_{sc}: Caudal de solución clorada a aplicar en (ℓ/s).

Despejando la ecuación obtenemos que:

$$D_2 = \frac{d * Q_{sc}}{Q}$$

$$9 \text{ ml/s} * 0,001 \text{ ℓ} = 0,009 \text{ ℓ/s}$$

Entonces:

$$D_2 = \frac{496.356 \frac{\text{mg}}{\text{l}} * 0,009 \frac{\text{l}}{\text{s}}}{12 \frac{\text{l}}{\text{s}}}$$

$$D_2 = \frac{4467,204 \text{ mg/l}}{12}$$

$$D_2 = 372,267 \text{ mg/l}$$

El método por balance de masas, emplea como caudal de solución clorada a aplicar $Q_{sc} = 0,009 \text{ l/s}$ dato obtenido en la práctica de dosificación, después de la regulación de la válvula y el análisis con el método reactivo Hanna, como es necesario para cumplir con la NB-512, con el caudal que recibe el Tanque Clorador de 12 l/s , teniendo como resultado la Dosis de Cloro que se debe aplicar en el tratamiento de desinfección $D_2 = 372,267 \text{ mg/l}$ y tener como resultado el Rango $0,7 \text{ mg/l}$ dentro de la tabla de valores de Cloro residual con solución de D.P.D, lo que significa que se eliminan todos los microorganismos y quedan $0,7 \text{ mg/l}$ de Cloro residual.

7. ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS PARA EL PROCESO DE CLORACIÓN

7.1 Costos de la cloración en Tarija.

Los costos para el tratamiento de Cloración de la ciudad de Tarija se definen en:

- Costos de insumos.
- Costos de personal.
- Costos de Energía.
- Costos de Mantenimiento.

7.1.1 Costos de insumos.

TABLA N°23

COSTOS INSUMOS

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO POR DÍA	COSTO POR MES	COSTO POR AÑO	TIPO DE MONEDA
Cloro gas Cl_2	Kg	25	30	750	22500	273750	Bs
Reactivo para la determinación del Cloro residual.	mg	1	0.15625	0.15625	4.6875	57.03125	Bs
Instrumento de determinación de Cloro residual.	pza	1	350	350	350	350	Bs
					22 854.6875	274 157.03125	Bs

Fuente: Elaboración propia.

*Datos aproximados.

En estos costos se contempla las cantidades del desinfectante a usar para el tratamiento diario, mensual y anual en el caso de Tarija el desinfectante es gas Cloro.

También se describen los costos para el control de la dosificación mediante el usos de reactivo para la determinación de Cloro residual marca Hanna Instruments con solución DPD, y el instrumento para la determinación de Cloro residual también marca Hanna Instruments.

7.1.2 Costos de personal.

TABLA N° 24

COSTOS DE PERSONAL

ÍTEM	CANTIDAD	SALARIO MENSUAL (Bs)	TOTAL (Bs)
Directora	1	8000	8000
Técnico 1	1	6000	6000
Técnico 2	3	5000	15000
			29000

Fuente: Elaboración propia.

*Datos aproximados.

7.1.3 Costos de Energía.

- Energía Eléctrica

TABLA N°25

COSTO DE ENERGÍA

ÍTEM	CONSUMO MENSUAL	COSTO MENSUAL (Bs)
Energía Eléctrica	56652 Kwh	923.76

Fuente: Elaboración propia.

*Datos aproximados.

7.1.4 Costos de Mantenimiento.

TABLA N°26

COSTOS DE MANTENIMIENTO

ÍTEM	CANTIDAD	TOTAL (Bs)
Bomba, motores y otros	4	105
técnico	1	400
Fuente: Elaboración propia.		505

*Datos aproximados de verano.

7.2 Costos de la Cloración en la ciudad de Entre Ríos.

7.2.1 Costos de Insumos.

TABLA N°27

*DOSIFICACIONES MENSUALES Y ANUALES EMPLEANDO EL CAUDAL DE
0,009 l/s*

NÚMERO DE DOSIFICACIONES MENSUAL.	51,84
NÚMERO DE DOSIFICACIONES ANUALES.	630,72

Fuente: Elaboración propia.

Los costos para el tratamiento de Cloración de la ciudad de Tarija se definen en

- Costos de insumos.
- Costos de personal.
- Costos de Energía.
- Costos de Mantenimiento

TABLA N°28

COSTOS EMPLEADOS PARA LA DOSIFICACIÓN, MENSUAL Y ANUAL DE LA CIUDAD DE ENTRE RÍOS

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO POR DÍA	COSTO POR MES	COSTO POR AÑO	TIPO DE MONEDA
Hipoclorito de Calcio en estado sólido.	Kg	4.5	26.50	206.064	6181.92	75213.36	Bs
Reactivo para la determinación del Cloro residual.	mg	9	0.15625	1.40625	1.40625	16.875	Bs
Instrumento de determinación de Cloro residual.	pza	1	350	350	350	350	Bs
					6533.32625	75580.235	Bs

Fuente: Elaboración propia.

En estos costos se contempla las cantidades del desinfectante a usar para el tratamiento diario, mensual y anual en la ciudad de Entre Ríos el desinfectante es Hipoclorito de Calcio.

También se describen los costos para el control de la dosificación mediante el usos de reactivo para la determinación de Cloro residual marca Hanna Instruments con solución DPD, y el instrumento para la determinación de Cloro residual también marca Hanna Instruments.

7.2.2 Costos de Personal

TABLA N°29

COSTOS DE PERSONAL

ÍTEM	CANTIDAD	SALARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
Técnico	1	5000	5000
			5000

Fuente: Elaboración propia.

*Datos aproximados.

7.2.3 Costos de Energía.

- No existe consumo de energía en el proceso de Cloración en la ciudad de Entre Ríos.

7.2.4 Costo de Mantenimiento.

- Es el técnico quien realiza el mantenimiento de la Planta de Cloración.

7.3 Comparación de costos.

TABLA N°30

*COMPARACIÓN DE LOS COSTOS MENSUALES DEL PROCESO DE
CLORACIÓN DE LAS CIUDADES DE TARIJA Y ENTRE RÍOS*

COSTOS	TARIJA	ENTRE RÍOS	DIFERENCIA ENTRE COSTOS	TIPO DE MONEDA
INSUMOS	22. 854,6875	6.533,32625	16.321,36125	Bs
PERSONAL	29.000	5.000	24.000	Bs
ENERGIA	923,76	No existe consumo de energía	923,76	Bs
MANTENIMIENTO	505	Es el técnico quien realiza el mantenimiento	505	Bs
TOTAL	53.283,4475	11.533,32625	41.750,12125	Bs

Fuente: Elaboración propia.

Los costos mensuales de la Cloración que se realiza en la ciudad de Entre Ríos son bajos en comparación a los costos de la Cloración en Tarija, en insumos la diferencia es de 16.321,36125 Bs porque se maneja un caudal mucho más reducido, y por el método de cloración que se aplica, por ser un área rural en Entre Ríos se realiza la Cloración con hipoclorito de Calcio, por ser este el método más efectivo para lugares con esas características, mientras que en Tarija realizan la Cloración con Cloro gaseoso, en personal los costos difieren en 24.000 Bs por que la Planta Potabilizadora de Tarija esta monitoreada las 24hrs del día y cuenta con mayor cantidad de personal para realizar el tratamiento de desinfección, se observa que en los costos de energía la diferencia es de 923,76 Bs en relación a Bs. 0, por que no se consume energía en la dosificación con hipoclorito de Calcio en la ciudad de Entre Ríos, mientras que para la

aplicación del Cloro gaseoso y para el funcionamiento de la Planta Potabilizadora en Tarija si se consume energía eléctrica, y con relación a mantenimiento la variación es de Bs.505, porque en la ciudad de Tarija se contrata un técnico para la reparación de bombas, motores entre otros, mientras que en la ciudad de Entre Ríos se cuenta únicamente con un técnico que se encarga de todo el proceso de Cloración, entre otras de sus actividades.

La inversión para el tratamiento de desinfección del agua potable de la ciudad de Tarija es mucho mayor con una diferencia de Bs. 41.750,12125 en el costo total, porque la EPSA cobra a los usuarios por la instalación del servicio y volumen de agua consumida, mientras que en Entre Ríos solamente se cobra por la instalación del servicio y la cantidad de grifos y depósitos que se tenga el usuario en su domicilio.

CAPÍTULO IV

1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.1 CONCLUSIONES

Las Principales conclusiones obtenidas con la realización del presente trabajo son:

- Según los parámetros de control mínimo antes y después del proceso de Cloración, la calidad del agua de la ciudad de Entre Ríos va de regular rango 3 a un rango bueno 4, lo que significa que a partir del rango 3 hasta el 5, las clasificaciones describen aguas de mediana a excelente calidad, aptas para consumo humano.

- La cantidad de Cloro Residual con la solución que se suministraba era cero, al realizar la dosificación correcta y mediante la toma de muestras empleando el método D.P.D para Cloro Residual en la vivienda ubicada en P4: casa más alejada del Tanque Clorador en el barrio San Lorenzo obtuvimos un resultado cuali-cuantitativo de 0,5 mg/ℓ el cual se encuentra dentro del rango de la NB-512.

- La dosis adecuada para el sistema de cloración de la ciudad de Entre Ríos es de 372,267 mg/ℓ para el caudal de 12 ℓ/s y el goteo de 0,009 ℓ/s, para estar dentro de lo establecido en la NB-512 con el parámetro de Cloro residual de 0,5 mg/ℓ, empleando una cantidad de 777,6 ℓ/día, con relación a la dosificación actual que emplea una cantidad de 0,45 ℓ/día dentro de la cual no se cumple con lo establecido en la NB-512 con respecto al parámetro de Cloro residual.

- La cantidad óptima que se considera de Hipoclorito de Calcio en estado sólido es de 4,5kg, de acuerdo a las dosificaciones realizadas, disuelto en 450 ℓ de agua.
- El costo total mensual para el tratamiento de Cloración de agua para el consumo humano de la ciudad de Entre Ríos es de Bs. 11.533,32625.
- La temperatura juega un papel vital para una preparación y dosificación adecuada debido a que el Cl_2 es un gas muy sensible a la temperatura.
- Para realizar una efectiva Dosificación de Hipoclorito de Calcio $Ca (ClO)_2$ se deben cumplir dentro de la NB-512 con los parámetros de control mínimo porque estos son indispensables para la formación de los compuestos clorados y su descomposición en el agua.

1.2 RECOMENDACIONES

- Se deben implementar más tratamientos, como las operaciones previas a la desafección de coagulación, floculación y sedimentación, afecta directamente a la eficiencia de eliminación de partículas de las unidades de filtración en medio granular y mejora la eficiencia de la desinfección, al mejorar la calidad del agua que entra a la Planta de Cloración.
- Limitar en lo posible la presencia de precursores de THMs en el agua antes de los tratamientos, mediante la limpieza frecuente de las instalaciones para eliminar la posible presencia de materia orgánica con la que reaccionaría el Cloro, colocar las instalaciones al abrigo de la luz, etc.
- Mantener un constante control del Cloro residual para evitar una sobre dosis que puede ocasionar la formación de los THMs o un déficit que significaría que el agua no está desinfectada.
- Para poder brindar a los usuarios un servicio más tecnológico es necesario cobrar por volumen de agua consumido para lo que se requiere, el funcionamiento de los medidores instalados en las viviendas.
- El sistema de dosificación actual debe considerar la implementación de una puerta en el depósito donde se encuentran los tanques que contienen la solución Clorada.
- Todo el sistema de Cloración (tanque dosificador, preparación de la solución, tanques de almacenamiento donde se realiza la mezcla de la dosis con la masa del caudal proveniente del sistema de filtración) debe estar bajo sombra, debe conservarse protegido de la humedad y en sitio fresco, toda el agua que va

ser Clorada, que proviene del sistema de filtración, debe transportarse en un canal completamente cerrado, hacia un tanque de almacenamiento y dosificación de Cloro cerrado.

- Es importante que el rango de Cloro Residual dentro de la casa más cercana al Tanque Clorador esté dentro de 0,7 y 1,0 mg/ℓ para asegurar la desinfección de los puntos más alejados puesto que el Cloro es muy reactivo, y con el recorrido dentro de la red de distribución tiende a perderse, por lo tanto, las viviendas más alejadas presentan un porcentaje mucho menor de Cloro y deben cumplir como parámetro mínimo 0,2- 0,3 mg/ℓ.