

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FC
Facultad de
Construcciones

Departamento de Ingeniería Hidráulica

TRABAJO DE DIPLOMA

Título Comportamiento de la calidad del agua almacenada considerando el uso de la Zeolita modificada con Zinc en la fabricación del mortero de recubrimiento interno en depósitos de hormigón.

Autores Ramsés Ochoa Avalos

Tutores Dianeya Morales Arbolaez
Dr. José F. Martirena Fernandez

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Facultad de Construcciones
Departamento de Ingeniería Hidráulica



TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO HIDRÁULICO

Título: Comportamiento de la calidad del agua almacenada considerando el uso de la Zeolita modificada con Zinc en la fabricación del mortero de recubrimiento interno en depósitos de hormigón.

Autor: Ramsés Ochoa Avalos
Tutor: Dianeya Morales Arbolaez
Dr. José F. Martirena Fernandez.

Santa Clara
Año 2017

Exergo

“...debemos estar contentos, pero no satisfechos...quedan muchas cosas por hacer.”

Fidel Castro Ruz

Dedicatoria :

Hacen falta sueños para aferrarse a la realidad...yo tenia un sueño que hoy se me convirtió en una verdad y todo gracias a tres personas que han iluminado mi camino.

Por el amor que me inspira; mi padre que es mi ídolo, mi madre que es la fuerza y mi hermano que es mi confianza, les dedico mi victoria y mi sueño hecho realidad.

Resumen

La disminución de la calidad de agua en depósitos de hormigón es una problemática con la que contamos en nuestro país. El uso de materiales nuevos elaborados a partir de los ya existentes, permite, por ejemplo el empleo de la zeolita modificada con zinc como un material en morteros de recubrimiento interno de los depósitos de hormigón para disminuir los niveles de descomposición del agua almacenada en estos. Mediante el intercambio iónico y su acción biocida, este mortero mejora las características químicas y bacteriológicas del agua potable y el agua residual almacenada en el depósito.

En esta investigación se muestra como se comporta el agua en contacto con el mortero de ZZ y las características que se mejoran con respecto a morteros de uso habitual.

Abstract

The loss of the quality of the water in concrete containers is a problem in our country. The use of new materials together with the ones that exist, allow us, the use of zeolite together with zinc as an inside recover in the concrete containers in order to prevent the water problems store in these places. Through the ionic interchange and its biocide action, this mortar betterens te chemical and bacteriological characteristics of the water for drinkingpurpose and the one left in the containers.

With this work wewant to show how the water deals the ZZ mortar and the characteristics improve with the mortar.

Contenido

Introducción.....	9
Capítulo 1. Uso de la zeolita modificada con zinc como un material purificador de agua.....	13
1.1 Estudio de la calidad de las aguas.....	13
1.1.1 Vertimiento de aguas residuales.....	14
1.1.2 El agua potable y sus requisitos sanitarios.....	19
1.2 Deterioro del agua debido a su estancamiento.....	22
1.2.1 Deterioro del agua potable en depósitos.....	24
1.3 Tipos de depósitos de almacenamiento de agua potable.....	24
1.3.1 Capacidad del tanque de almacenamiento.....	28
1.4 Uso de la zeolita.....	31
1.5 La zeolita modificada con zinc en Cuba.....	34
1.5.1 Propiedades de la zeolita modificada con zinc en contacto con el agua.....	35
1.5.2 La zeolita modificada con zinc como purificador de agua.....	39
Capítulo 2. Comportamiento de la calidad del agua en su reacción con el mortero de zeolita modificada con zinc.....	42
2.1 Mortero de zeolita modificada con zinc.....	42
2.2 Trabajo con modelo a escala.....	45
2.3 Características del agua potable en su reacción con morteros de zeolita modificada con zinc.....	48
2.4 Características del agua residual en su reacción con morteros de zeolita modificada con zinc.....	54
Capítulo 3 Comportamiento de mejora de la calidad de agua para consumo y aguas residuales con el empleo de morteros de zeolita modificada con zinc.....	58
3.1 Intercambio iónico en morteros de zeolita modificada con zinc.....	58
3.2 Influencia biocida del mortero de zeolita modificada con zinc.....	59
3.3 Mejora en la calidad del agua con el uso de morteros de zeolita modificada con zinc.....	59

3.4	Área de mayor influencia del mortero de ZZ para un depósito real de agua potable.	65
3.61	Cálculo del área de mayor influencia del mortero de ZZ para un depósito real de agua	66
	Conclusiones	70
	Recomendaciones	71

Introducción

Sin agua no hay vida, el agua es esencial para: cualquier forma de vida, los ecosistemas naturales y la regulación del clima. El agua es un recurso de volumen relativamente constante. Durante muchos años se consideró un recurso infinito pero en la actualidad se sabe que su disponibilidad es limitada.

Desde la antigüedad se ha admitido la importancia de la calidad del agua para el abastecimiento urbano, pero no fue hasta el siglo XIX cuando se puso de manifiesto la necesidad de una adecuada gestión del agua residual como medio de protección de la salud pública. En las últimas dos décadas del presente siglo se han realizado grandes esfuerzos en todo el mundo para incrementar el porcentaje de población con acceso al agua potable segura y servicios de saneamiento básicos. Sin embargo, en la actualidad casi la mitad de la población mundial carece de agua potable y más de un tercio no dispone de acceso al saneamiento (Ollero, 2015, REINOSO, 2010).

El 80% de la de los problemas de salud de los países subdesarrollados están vinculados a la falta de agua potable y servicios sanitarios básicos. Presentándose como una permanente problemática para la salud pública de la mayor parte de la población mundial(Ollero, 2015, REINOSO, 2010).

En la presente investigación se aborda el uso de un nuevo material en la elaboración de morteros de recubrimiento interno de depósitos de hormigón a base de ZZ y su influencia en la calidad de las aguas de consumo humano y las residuales.

El agua no puede ser almacenada indefinidamente, al transcurrir el tiempo se comienza a apreciar físicamente la descomposición de esta. Esto es debido a que ocurren variaciones en sus características físicas, químicas y bacteriológicas que afectan su calidad inicial. La magnitud de estas afectaciones con respecto al tiempo de ocurrencia esta dado por: la calidad de agua almacenada inicialmente, el tipo de material del depósito, la temperatura, etc.

El empleo de materiales que mejoren el almacenaje del agua, prolongando su durabilidad y calidad, se aplican mucho en la actualidad, pues esto hace las construcciones más eficientes en su explotación.

Ejemplo de esto son los reservorios fabricados a partir de los PVC y los PAD, materiales que retardan el deterioro del agua para consumo humano, también encontramos pinturas aislantes que no permiten la oxidación del agua cuando es almacenada en recipientes metálicos, la creación de morteros antibacterianos que tienen características biocidas, etc.

La ZZ, es un material zeolítico enriquecido o adicionado con Zn donde ocurre la reacción de intercambio iónico hidrotérmico del Zn^{2+} el que mejora la clinoptilolita natural purificada sin modificación de la célula unitaria. La ZZ trabaja como un controlador de la liberación del zinc, el cual tiene acción bactericida (Rodríguez-Fuentes, 2004a).

El uso de la zeolita modificada con zinc se ha empleado en diferentes funciones principalmente por la industria farmacéutica, donde tiene amplio espectro, pero desde 1999 ZZ recibió el registro sanitario como purificador de agua, abriendo un sin número de posibilidades de su uso en este aspecto (Liana Perdomo López, 1999).

En Cuba se tiene que el material más empleado en la construcción de depósitos de agua potable y de agua residual es el hormigón, a mayor y menor escala, o sea, a nivel de plantas de tratamiento de agua potable y de agua residual, así como en pequeños sistemas de abasto de agua para consumo y evacuación de agua residual en viviendas.

Debido a las insuficiencias existentes en nuestro país en el sistema de abasto y evacuación de aguas residuales, el almacenamiento de estas suele extenderse, por lo que no resulta descabellado que se busquen alternativas para preservar la calidad del agua en depósitos de hormigón.

Por todo lo planteado anteriormente podemos definir como situación problemática

Situación problemática:

Las variaciones de las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua potable y el agua residual almacenadas en depósitos de hormigón provocan la disminución de su calidad al incrementarse el tiempo de almacenamiento, debido, entre otros factores, a la interacción del agua y el recubrimiento interno del

depósito, lo que contribuye a que se produzcan afectaciones en los cuerpos receptores y en la salud humana.

Problema científico:

¿Es posible mediante el uso de nuevos materiales en la fabricación de morteros de recubrimiento interno de depósitos de hormigón de nuestro país, contribuir a la conservación y mejoramiento de los parámetros de calidad del agua potable y agua residual almacenada?

Para la solución del problema identificado se asume la Hipótesis

Hipótesis:

Los parámetros de calidad de agua potable y agua residual almacenada en depósitos de hormigón se pueden mejorar con el uso de morteros de revestimiento interno fabricados con una adición de Zeolita modificada con zinc.

Objetivo general:

Evaluar la capacidad de la mejora de la calidad del agua potable y el agua residual con el empleo de depósitos de hormigón revestidos con morteros enriquecidos con Zeolita modificada con zinc en su interior.

Objetivos específicos:

- Reflejar el uso de la zeolita modificada con zinc como un material purificador de agua.
- Describir el comportamiento de la calidad del agua cuando reacciona con los morteros de Zeolita modificada con zinc.
- Analizar el comportamiento de mejora de la calidad de agua con el empleo de Zeolita modificada con zinc.
- Calcular el área de mayor influencia del mortero de zeolita modificada con zinc en un depósito de hormigón.

Resultados esperados:

En la siguiente investigación se espera probar que la ZZ en morteros de recubrimiento interno de depósitos de hormigón logra mantener su propiedad biocida y su facilidad de intercambio iónico, logrando mejorar los parámetros de calidad del agua almacenada en comparación con los morteros de uso habitual.

Estructura de la tesis:

Para lograr los resultados esperados y el cumplimiento de los objetivos se estructuró la investigación en tres capítulos

Capítulo 1: Uso de la zeolita modificada con zinc como un material purificador de agua, en este se muestran los fundamentos teórico y prácticos de la investigación, evaluando la información existente que le antecede, mostrando como deben comportarse los parámetros de calidad de las aguas, el comportamiento del agua almacenada, los tipos de depósitos y materiales más usados en su fabricación, se muestra una descripción de la zeolita y se refleja el uso de la ZZ como un material purificador de agua.

Capítulo 2: Comportamiento de la calidad del agua en su reacción con el mortero de zeolita modificada con zinc, en este se reflejan los materiales y métodos usados para desarrollar la presente investigación, mostrando el diseño del mortero de zeolita modificada con ZZ y sus características fisicomecánicas, también se describe el comportamiento de los parámetros de calidad del agua en contacto con el mortero de ZZ.

Capítulo 3: Comportamiento de mejora de la calidad de agua para consumo y aguas residuales con el empleo de morteros de zeolita modificada con zinc, en este capítulo se refleja la presencia del intercambio iónico y la acción biocida de la ZZ dentro del mortero, se analiza el comportamiento de mejora de la calidad de agua con el empleo de Zeolita modificada con zinc y sus ventajas. Se muestra el cálculo de dimensiones y volúmenes de un depósito para un núcleo familiar de cinco personas, mostrando mediante cálculos y figuras el área de mayor influencia para las colocación del mortero de ZZ.

Capítulo 1. Uso de la zeolita modificada con zinc como un material purificador de agua.

La calidad del agua se rige por normas, estas establecen los parámetros que debe cumplir el agua para un determinado uso o finalidad. El cumplimiento de estas minimiza las afectaciones producidas por el manejo de este preciado líquido.

La escases y los problemas en la disponibilidad del agua, producidos por la contaminación y el cambio climático, crean la necesidad de almacenar el agua a gran o pequeña escala. El agua almacenada sobre todo en depósitos tiende a disminuir su calidad al transcurrir el tiempo, por lo que en la actualidad se realizan estudios para mejorar la calidad del agua almacenada.

El uso de nuevos materiales para la fabricación de depósitos es una de las alternativas evaluadas para aumentar el tiempo de almacenamiento del agua. En nuestro país se ha evaluado la efectividad de la zeolita modificada con zinc como un nuevo material para el tratamiento del agua de consumo.

1.1 Estudio de la calidad de las aguas

La importancia del agua, el saneamiento, la higiene para la salud y el desarrollo han quedado reflejados en los documentos finales de diversos **foros** internacionales sobre políticas, entre los que cabe mencionar conferencias relativas a la salud, como la Conferencia Internacional sobre Atención Primaria de Salud que tuvo lugar en Alma Ata, Kazajstán (ex Unión Soviética) en 1978, conferencias sobre el agua, como la Conferencia Mundial sobre el Agua de Mar del Plata (Argentina) de 1977, que dio inicio al Decenio Internacional del Agua Potable y del Saneamiento Ambiental, así como los Objetivos de Desarrollo del Milenio aprobados por la Asamblea General de las Naciones Unidas (ONU) en 2000 y el documento final de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible de Johannesburgo de 2002. Más recientemente, la Asamblea General de las Naciones Unidas declaró el periodo de 2005 a 2015 como Decenio Internacional para la Acción «El agua, fuente de vida»(Ollero, 2015)

Son muchas las investigaciones, trabajos y estudios que tratan la calidad del agua pero al darse conceptos de calidad suelen hacerlo para el tipo de agua específicos

que van a tratar como por ejemplo las diferentes guías para la calidad de agua potable expresan que el agua potable es aquella que presenta características físicas, químicas y bacteriológicas que no ocasionan ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda la vida.

En esta investigación no solo se trabajó con el agua potable así que se asume (luego de analizar varias de estas definiciones) a la calidad de agua como: Características del agua que pueden afectar su adaptabilidad a un uso específico, definida por una o más características físicas, químicas o biológicas, en dependencia del uso y las exigencias del usuario.

La calidad del agua está regida por normas que establecen los valores admisibles de las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua. Para la realización de esta investigación se trabaja con las Normas Cubanas que rigen la calidad de agua para consumo y aguas residuales. Aunque se revisaron otras normas se trabaja con estas pues son más representativas para nuestro territorio y no presentan diferencias significativas de otras estudiadas (Iliana Perdomo López, 1999).

1.1.1 Vertimiento de aguas residuales

El vertimiento de las aguas residuales en nuestro país están regidas (entre otras) por: NC (27) Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres
NC 521_2007 Vertimiento a zonas costeras.

NC 1048 Calidad del agua para preservar el suelo.

Estas normas muestran las características generales que deben presentar las aguas residuales en nuestro país.

Los parámetros básicos que a los efectos de la Norma Cubana (27) para regular el vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres se han considerado y son los que se especifican en la tabla 1 de los que se han tomado los datos de los parámetros básicos para las descargas (Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, 1999).

Tabla 1. Límites Máximos Permisibles Promedio para las Descargas de Aguas Residuales según la Clasificación del Cuerpo Receptor.

		Ríos y Embalses			Acuífero vertimiento en suelo y zona no saturada de 5 m			Acuífero vertimiento directo a la zona saturada		
Parámetros	UM	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)
Ph	Unidad	6,5-8,5	6-9	6-9	6-9	6-9	6-10	6-9	6-9	6-10
Conductividad Eléctrica	μ S/cm	1 400	2 000	3 500	1 500	2 000	4 000	1 500	2 000	4 000
Temperatura	°C	40	40	50	40	40	50	40	40	50
Grasas y aceites	mg/L	10	10	30	5	10	30	Ausente	10	20
Materia flotante	-	Ausente	Ausente	-	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	-	Ausente
Sólidos Sedimentables Totales	mL/L	1	2	5	1,0	3,0	5,0	0.5	1,0	5,0
DBO ₅	mg/L	30	40	60	40	60	100	30	50	100
DQO (Dicromato)	mg/L	70	90	120	90	160	250	70	140	250
Nitrógeno total (Kjd)	mg/L	5	10	20	5	10	15	5	10	15
Fósforo total	mg/L	2	4	10	5	5	10	5	5	10

Las descargas de aguas residuales no podrán producir una disminución del oxígeno disuelto en los cuerpos receptores superficiales de categorías A, B y C, a valores menores de 4, 3 y 2 mg/L, respectivamente

A los efectos de esta norma los cuerpos receptores se clasificarán cualitativamente según su uso de la forma siguiente:

Clase (A): Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas que se utilizan para la captación de aguas destinadas al abasto público y uso industrial en la

elaboración de alimentos. La clasificación comprende a los cuerpos de aguas situados en zonas priorizadas de conservación ecológica.

Clase (B): Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas donde se captan aguas para el riego agrícola en especial donde existan cultivos que se consuman crudos, se desarrolla la acuicultura y se realizan actividades recreativas en contacto con el agua, así como cuerpos de agua que se explotan para el uso industrial en procesos que necesitan de requerimientos sobre la calidad del agua. La clasificación comprende los sitios donde existan requerimientos menos severos para la conservación ecológica que los comprendidos en la Clase (A)

Clase (C): Ríos, embalses, zonas hidrogeológicas de menor valor desde el punto de vista del uso como: aguas de navegación, riego con aguas residuales, industrias poco exigentes con respecto a la calidad de las aguas a utilizar, riego de cultivos tolerantes a la salinidad y al contenido excesivo de nutrientes y otros parámetros.

Los parámetros seleccionados no cubren el universo de posibilidades que hoy en día se pueden presentar en descargas individuales o mixtas. En las evaluaciones para casos específicos corresponde al organismo rector de las aguas terrestres señalar, si fuera necesario, otros parámetros a considerar y sus límites máximos permisibles promedio o cargas contaminantes permisibles, siempre de acuerdo con la clasificación de los cuerpos receptores, su estado sanitario actual y las prioridades para su conservación (Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, 1999).

Cuando el vertimiento de aguas residuales crudas o tratadas se realice en la zona costera y cuerpos marinos, ello se hará cumpliendo con lo establecido por el Decreto Ley 212/00 y con lo establecido por la NC 521_2007 en cuanto a los límites máximos permisibles promedio de los parámetros regulados para los vertimientos de residuales.

A los efectos de la NC 521_2007 los cuerpos receptores se clasificarán cualitativamente en seis tipos (Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, 2012c):

- Clase A: Áreas marinas de zonas de conservación ecológica, o áreas protegidas.

- Clase B: Áreas marinas dedicadas al baño y donde se realizan actividades recreativas en que las personas entran en contacto directo con el agua. Áreas marinas donde hay presencia de arrecifes coralinos.
- Clase C: Áreas marinas donde se desarrolla la pesca.
- Clase D: Áreas marinas cuyas aguas se toman para uso industrial como en la generación de energía.
- Clase E: Áreas marinas en bahías donde se desarrolle la actividad marítimo - portuaria.

Tabla 2 Límites Máximos Permisibles para las Descargas de Aguas Residuales a la Zona Costera y a los Cuerpos Receptores Marinos (Parámetros Básicos) (Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, 2012c).

		Clase del Cuerpo Receptor					
Parámetro	UM	A	B	C(2)	D	E	F
pH	U	5.5-9.0	NP	5.5-9.0	5.0-10.0	5.5-9.0	5.0-10.0
Temperatura (1)	°C	40	NP	40	40	40	40
Aceites y grasas	mg/l	15	NP	15-50	50	30	50
Hidrocarburos Totales	mg/l	5	NP	5-10	20	10	20
Materia Flotante		Ausente	NP	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables	ml/l	5	NP	5-15	15	10	15
Sólidos Suspendidos	mg/l	30	NP	30-150	150	75	150
DBO ₅	mg/l	30	NP	30-150	150	75	150
DQO	mg/l	75	NP	75-300	300	190	300
Coniformes fecales(4)	NMP/100 ml	200	NP	200-400	1000	1000	SR
Fósforo Total	mg/l	5	NP	7	10	5	10

Nota

(1) En cualquier caso no podrá incrementar el tenor natural del cuerpo receptor marino.

(2) Cuando se dan dos valores, el primero se corresponde con las zonas de pesca críticas para la reproducción, cría y la alimentación. El segundo valor se corresponde para otras zonas de pesca.

NP: No se permite vertimiento.

SR: Sin restricción

Tabla 3—Límites Máximos Permisibles para las Descargas de Aguas Residuales la Zona Costera y a los Cuerpos Receptores Marinos (Otros Parámetros)(Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, 2012c).

Parámetro	UM	Límite Máximo Permisible Categoría A y C	Límite Máximo Permisible. Categoría D, E y F
Aluminio	mg/l	1,000	5,000
Arsénico	mg/l	0,200	0,300
Cadmio	mg/l	0,050	0,200
Cianuro Total	mg/l	0,500	1,000
Cobre	mg/l	1,000	2,000
Compuestos Fenólicos	mg/l	0,500	0,500
Cromo Total	mg/l	2,500	5000
Cromo Hexavalente	mg/l	0,100	0,200
Hierro Total	mg/l	5,000	10,000
Mercurio	mg/l	0,005	0,010
Níquel	mg/l	2,000	4,000
Organoclorados	mg/l	1,500	1,500
Plomo	mg/l	0,100	0,200
Tolueno	mg/l	0,700	0,700
Tricloroetano	mg/l	0,040	0,040
Triclorometano	mg/l	0,020	0,020
Zinc	mg/l	4,000	10,000

En la NC 1048, la calidad del agua está en dependencia del suelo a aplicar y su manejo es diferenciado para poder ser utilizada, no es una clasificación unitaria contemplativa de las características del agua y del sistema que la aplica, porque pretende que su utilización minimice el impacto y la degradación sobre el recurso natural (Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, 2014). A los efectos de esta norma las aguas consideradas aptas para su empleo con destino a la alimentación debe cumplir los requisitos microbiológicos que se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4— Concentraciones de Escherichia coli o Coliformes termo tolerantes y concentración de huevos de Helmintos.

Indicador	Concentración
Escherichia coli o Coliformes termo tolerantes	< 200 NMP o UFC .(100 mL)-1
No. de huevos de Helmintos	< 1. (1000 mL)-1

Concentraciones máximas permisibles de nitratos (NO₃-), nitritos (NO₂-) en mg. L-1, pH, límite máximo de turbiedad en NTU y concentración mínima permisible de Oxígeno disuelto en mg. L

Nitritos (NO ₂ -)	pH	Turbiedad	Oxígeno disuelto
≤ 5,00	4,5 a 8,3	5.00	4.00

1.1.2 El agua potable y sus requisitos sanitarios

El acceso al agua potable es una cuestión importante en materia de salud y desarrollo en los ámbitos nacional, regional y local. En algunas regiones, se ha comprobado que las inversiones en sistemas de abastecimiento de agua y de saneamiento pueden ser rentables desde un punto de vista económico, ya que la disminución de los efectos adversos para la salud y la consiguiente reducción de los costos de asistencia sanitaria es superior al costo de las intervenciones. Dicha afirmación es válida para diversos tipos de inversiones, desde las grandes infraestructuras de abastecimiento de agua al tratamiento del agua en los hogares. La experiencia ha demostrado así mismo que las medidas destinadas a mejorar el acceso al agua potable favorecen en particular a los pobres, tanto de zonas

rurales como urbanas, y pueden ser un componente eficaz de las estrategias de mitigación de la pobreza.

La calidad, la disponibilidad y el acceso al agua potable constituyen un derecho humano y un componente básico en la política nacional. Cada día es de mayor importancia la obtención de agua segura para garantizar la prevención de enfermedades asociadas al consumo de agua con una calidad sanitaria inadecuada.

De esta forma, es preciso establecer límites máximos permisibles para los parámetros físicos y organolépticos, químicos, biológicos y radiactivos que aseguren una adecuada calidad sanitaria del agua, los que permitan servir de referencia para la vigilancia de la calidad del agua que consume la población.

Los requisitos sanitarios para el agua potable establecidos por la Norma Cubana 827 se presentan a continuación (Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, 2012b):

Los valores de límites máximos admisibles (LMA) para las características físicas y los componentes químicos que pueden afectar la calidad organoléptica del agua potable se establecen en la Tabla 5.

Tabla 5. Características físicas y componentes químicos que pueden afectar la calidad organoléptica del agua potable(Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, 2012a).

Tipo	Característica	LMA
Físicas	Olor y sabor	Inodora y sabor agradable
	Turbiedad	5 UNT
	Color real	15 UC
Químicas	pH	6,5 – 8,5
	Sólidos totales disueltos	1 000 mg/L
	Dureza total (como carbonato de calcio)	400 mg/L
	Cloruros	250 mg/L
	Sustancias activas al azul de metileno	0,5 mg/L
	Compuestos fenólicos (referidos al fenol)	0,002 mg/L
	Aluminio	0,2 mg/L
	Cobre	2,0 mg/L
	Hierro	0,3 mg/L
	Sodio	200 mg/L
	Sulfatos	400 mg/L
	Zinc	5 mg/L

Los valores de LMA para los componentes inorgánicos prioritarios que influyen sobre la salud se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Componentes inorgánicos que influyen sobre la salud (Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, 2012a)

Componentes	LMA (mg/L)
Amoniaco	No presencia
Arsénico	0,05
Cadmio	0,005
Calcio	200
Cianuro	0,07
Cloro libre	2,0
Cromo total	0,05
Fluoruro	1,5
Magnesio	150
Manganeso	0,1
Mercurio total	0,001
Níquel	0,02

Los valores de LMA para los componentes orgánicos prioritarios que influyen sobre la salud se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Componentes orgánicos que influyen sobre la salud (Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, 2012a)

Contaminante	LMA ((mg/L))
Alaclor	20
Aldrin y dieldrín (suma de ambos)	0,03
Atrazina	2
Benceno	10
Benzo (a) pireno	0,7
Bromodiclorometano	60
Bromoformo	100
Dibromoclorometano	100
Cloroformo	200
Clorpirifos	30
2,4 - D	30
DDT y sus metabolitos (suma)	1
Dimetoato	6
Endrin	0,6
Lindano	2
Tetracloruro de carbono	4

En el agua de consumo humano no deben existir microorganismos patógenos tales como bacterias, virus y parásitos. Como indicadores de la calidad bacteriológica del agua se utilizarán los criterios que se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Requisitos microbiológicos de la calidad sanitaria del agua potable de acuerdo con las técnicas empleadas para su determinación (Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, 2012a)

Parámetro	Técnica		
	Tubos múltiples de fermentación	Filtración por membrana	Ausencia/ Presencia
Escherichia coli	< 2 NMP / 100 mL	0 UFC / 100 mL	Ausencia / 100 mL
Coliformes termotolerantes	< 2 NMP / 100 mL	0 UFC / 100 mL	Ausencia / 100 mL

1.2 Deterioro del agua debido a su estancamiento

Si bien no es perjudicial en sí, el agua estancada crea un ambiente propicio para el crecimiento de bacterias y hongos peligrosos. El agua estancada proporciona un caldo de cultivo para las bacterias dañinas como *Escherichia coli* y el tétanos, así como los mosquitos y otros insectos portadores de enfermedades. Dependiendo de la cantidad y la ubicación, esta agua también puede aumentar el riesgo de lesiones a los niños y los animales domésticos y puede causar una descarga de productos químicos peligrosos almacenados, como a veces ocurre con las inundaciones.

El agua estancada para consumo debe tener requisitos de impermeabilización del tanque, donde estos no establezcan una relación con el ambiente ya que el agua almacenada para consumo es proclive a la creación de moho y líquenes siendo los mohos los que ayudan al deterioro rápido de esta agua.

Tipos de moho

El moho es capaz de crecer en cualquier lugar en presencia de humedad. Si bien hay más de 100.000 tipos de moho, menos de 500 se sabe que causan enfermedad grave en los seres humanos. El moho viene en una variedad de colores, desde tonos comunes de blanco, negro y verde a tonos más extraños

como el rosa, azul y naranja fluorescente. Aunque a menudo se utiliza para describir el moho, el color no es un indicador preciso del nivel de toxicidad de una cepa particular. Esto es porque todos los mohos de distintos colores son capaces de producir subproductos patógenos en las condiciones adecuadas (Traxco, 2015).

La mayoría de los problemas de salud causados por la exposición al moho son causados por reacciones alérgicas. Los síntomas de la sensibilidad al moho incluyen estornudos, dolor de cabeza, congestión, goteo nasal y salpullido. En las personas con asma, la exposición al moho prolongada puede desencadenar ataques de asma, lo que lleva a un empeoramiento global de la enfermedad. Aunque la mayoría de los mohos son relativamente inofensivos para los humanos, algunos tipos producen subproductos tóxicos denominados micotoxinas, que pueden causar enfermedades graves (Traxco, 2015).

Uno de los aspectos estudiados del agua estancada es la Eutroficación

En los cuerpos de aguas sanos es común encontrar una población microbiana balanceada. Entre los distintos grupos que componen esta población existe un equilibrio, el cual puede romperse ante determinadas condiciones (contaminación), variando la distribución de especies. En los casos menos críticos es posible llegar a una nueva distribución(Traxco, 2015).

Una de las relaciones más interesantes que se establecen en la naturaleza es la simbiosis entre organismos heterotróficos aerobios y organismos fotosintéticos, y en especial entre bacterias heterotróficas aerobias y algas eucariótidas unicelulares. Esta relación ayuda en gran medida a la autodependencia de lagos, estanques y represas(Traxco, 2015).

Por una parte las algas, con ayuda de la energía solar, CO_2 y una fuente de nitrógeno y fósforo inorgánico, son capaces de formar cantidades apreciables de O_2 el cual se disuelve en el cuerpo de agua. Simultáneamente, también se reproducen las algas, y de esta manera se garantiza una producción de algas estable (Traxco, 2015).

Por otra parte las bacterias heterotróficas aerobias consumen la materia orgánica presente y, simultáneamente a esto, el O_2 disuelto del medio para la oxidación de esta materia; lo cual ocasiona una producción de CO_2 será utilizado por las algas (Traxco, 2015).

1.2.1 Deterioro del agua potable en depósitos

El deterioro del agua potable en depósitos se puede originar por los siguientes factores: calidad del agua almacenada, material del depósito en cuestión, la adición de sustancias desinfectantes (cloro), la temperatura, el medio ambiente circundante, etc.

Se conoce que uno de los mejores materiales para la construcción de depósito de agua es el Policloruro de vinilo (PVC) pues reacciona muy poco con el agua y controla en alguna medida los aspectos antes mencionados pero son muy difíciles de fabricar depósitos de este tipo para grandes volúmenes de agua (1508, 2010).

En los depósitos de hormigón el deterioro del agua ocurre más rápidamente y se ha comprobado que ya a los tres días parámetros como el pH, la dureza, la conductividad, la alcalinidad, la DBO_5 y la DQO comienzan a incrementarse peligrosamente (1508, 2010).

1.3 Tipos de depósitos de almacenamiento de agua potable.

Los tanques o reservorios de almacenamiento de agua pueden ser elevados, apoyados o enterrados. Los reservorios elevados regularmente toman formas esféricas, cilíndricas o de paralelepípedo y son colocados sobre torres, columnas o pilotes. Los reservorios apoyados se construyen directamente sobre la superficie del suelo y los enterrados son construidos bajo la superficie del suelo denominado también cisternas. Tanto los reservorios apoyados como los enterrados se construyen con base rectangular o con base circular paralelepípedos o cilindros) (Agüero, 2004)

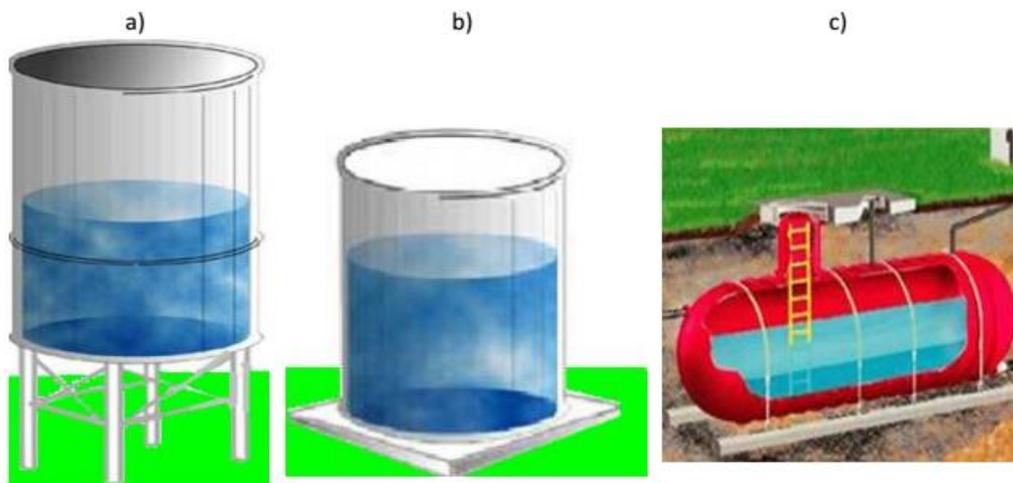


Figura 1.1: Tipos de tanques: a) elevados, b) apoyados, c) enterrado o cisterna. Fuente: Junta de Andalucía(Agüero, 2004) En estudios realizados se puede identificar diferentes tipos de depósitos para almacenamiento de agua de acuerdo al material de construcción: de ladrillo, de mampostería, hormigón armado, de polietileno, de fibra de vidrio y metálicos. La altura del tanque en función del material es de: 2 m para ladrillo, 1.5 m para mampostería, 3 m para hormigón armado, polietileno de 1 m a 3 m con diferentes capacidades hasta 25,000 l, fibra de vidrio hasta de 2500 l, metálicos con una altura hasta de 4.2 m y hasta 4 millones de litros (Oña, 2010)

- **Tipos de depósitos de hormigón en una red de abastecimiento de agua potable**

Los depósitos se pueden clasificar desde diferentes puntos de vista. La siguiente clasificación es la que comúnmente se usa en Cuba y muchos otros países.

Teniendo en cuenta su función en el sistema de abastecimiento (Autores, 1996):

- Depósitos intermedios o de regularización
- De distribución
- De deposición final

Los primeros se usan intercalados en el sistema de aducción con el propósito de romper las presiones o para hacer más estable el funcionamiento de las estaciones de bombeo como se muestra en la figura (1.2) estos generalmente se encuentran al final del proceso de tratamiento de las aguas potable y si es

necesario en otros lugares de la red lo define la topografía del terreno (Autores, 1996).

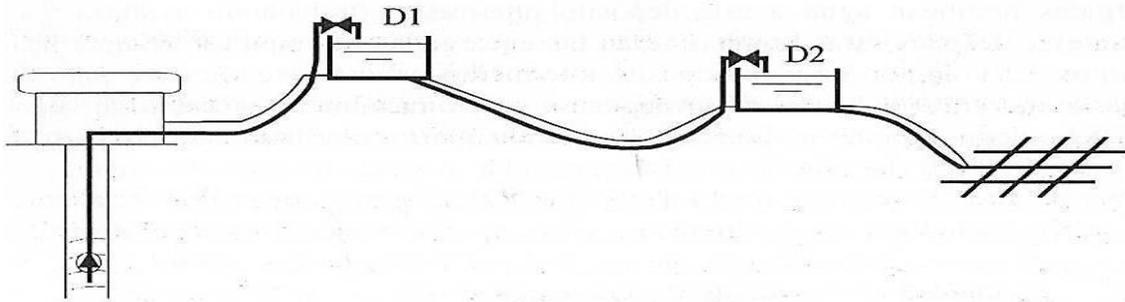


Figura 1.2: Ejemplo de depósito intermedio (Autores, 1996)

Los depósitos de distribución alimentan directamente a las redes de abastecimiento. Dentro de éstos se pueden encontrar:

- Tanques de cabecera: Se sitúan aguas arriba de la red que alimentan. Toda el agua que se distribuye en la red tiene necesariamente que pasar por el tanque de cabecera. (figura 1.3) (Autores, 1996)
- Tanques de cola: Como su nombre lo dice, se sitúan en el extremo opuesto de la red, en relación al punto en que la línea de aducción llega a la red. No toda el agua distribuida por la red pasa por el tanque de cola. (figura 1.4) (Autores, 1996).

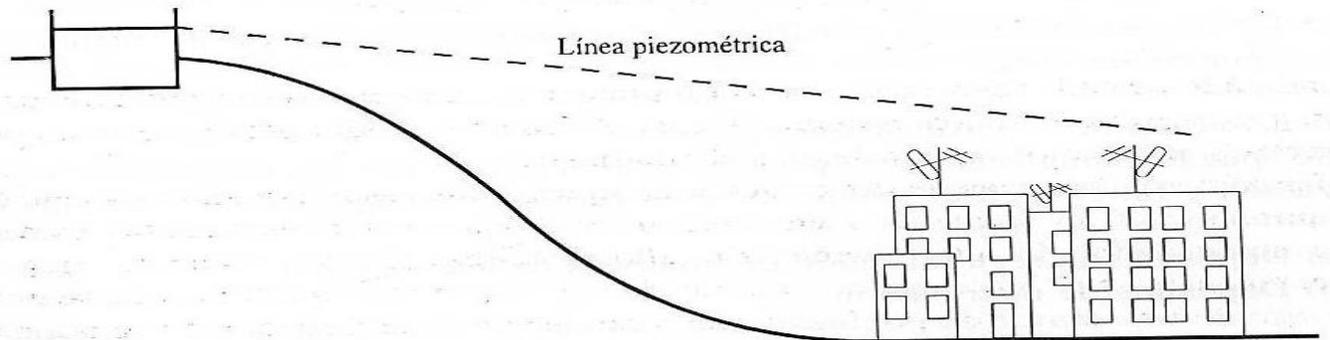


Figura 1.3: Depósito de distribución en cabecera

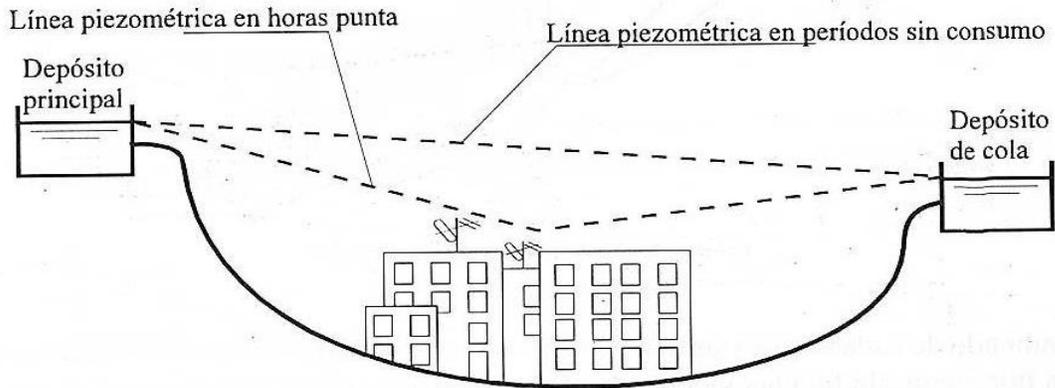


Figura 1.4: Depósito de distribución en cola (Autores, 1996)

Cuando las condiciones topográficas no hacen posible el funcionamiento de la red de distribución a partir de un depósito colocado sobre el terreno, se utiliza un tanque elevado o torre de distribución (figura 1.5) o una estación sobrepresora o calderín (figura 1.6).

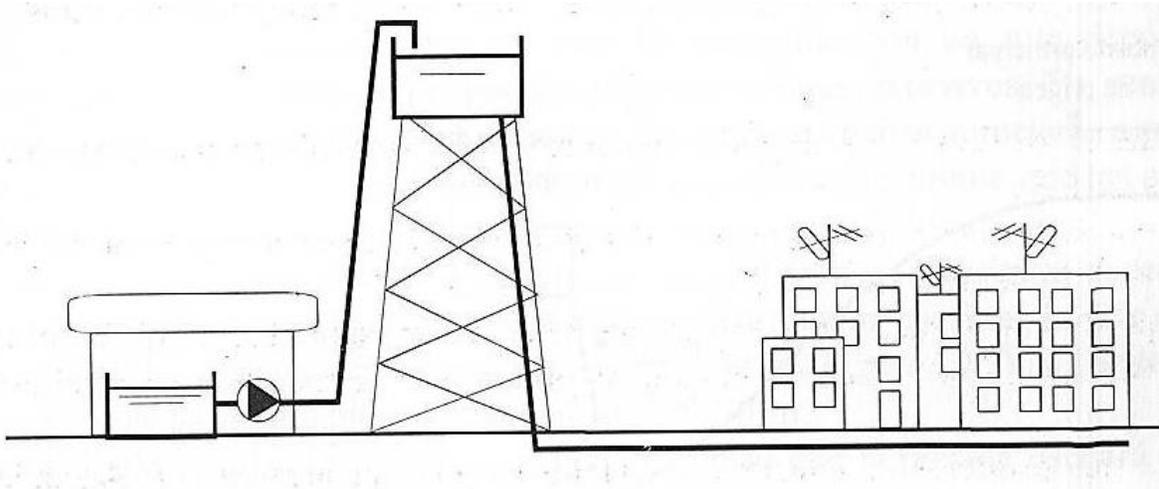


Figura 1.5: Torre de distribución (Autores, 1996)

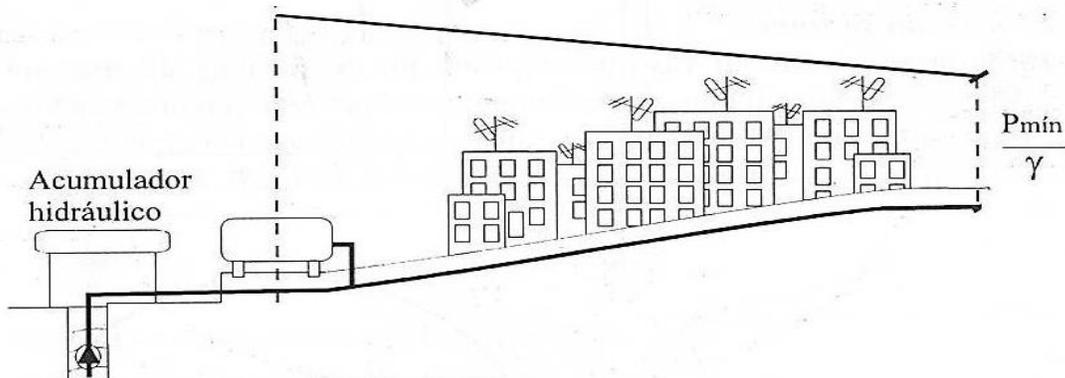


Figura 1.6: Instalación de un acumulador hidráulico (calderín) (Autores, 1996)

Los depósitos de deposición final pueden o no presentarse en una red de distribución, ya que estos son los que se encuentran en las viviendas. Su uso es mayormente visto en zonas edificadas (Autores, 1996).

1.3.1 Capacidad del tanque de almacenamiento.

La capacidad del almacenamiento de un tanque en el área rural es función principalmente, del volumen de regulación para atender las variaciones del consumo de la población (Agüero, 2004).

Determinación del volumen de regulación

Los tanques deben permitir que las demandas máximas que se producen en el consumo sean satisfechas cabalmente, al igual que cualquier variación en los consumos registrados en las 24 horas del día, proveyendo presiones adecuadas en la red de distribución (Agüero, 2004).

Los tanques tienen la función de almacenar el agua sobrante cuando el caudal de consumo sea menor que el de abastecimiento y aportar la diferencia entre ambos cuando sea mayor el de consumo. La capacidad así requerida se denominará de regulación o de capacidad mínima. Para determinar el volumen de regulación de los tanques podrían emplearse los métodos siguientes:

- a) Método basado en la curva de consumo (Agüero, 2004).

Para determinar la capacidad mínima de un tanque elevado mediante este método, se precisa disponer de datos suficientes sobre las variaciones de consumo horarias y diarias de la población del proyecto o de una comunidad que presente características semejantes en términos de desenvolvimiento socio-económico, hábitos de población, clima y aspectos técnicos del sistema.

Asimismo debe conocerse o fijarse el régimen de alimentación del tanque: continuo o discontinuo, número de horas de bombeo, caudal de bombeo, etc. El método consiste en graficar las curvas del caudal horario de consumo y del caudal de abastecimiento para el día más desfavorable o de mayor consumo.

Determinar en este gráfico las diferencias en cada intervalo entre los volúmenes aportados y consumidos.

La máxima diferencia será la capacidad teórica del tanque. Esta capacidad puede ser determinada también con la ayuda del diagrama de masas o curva de consumos acumulados construida sobre la base de la curva de caudales horarios de consumo. En este diagrama, la capacidad del tanque se determina mediante la suma de los segmentos verticales C1 y C2 ver figura 1.7 (Agüero, 2004).

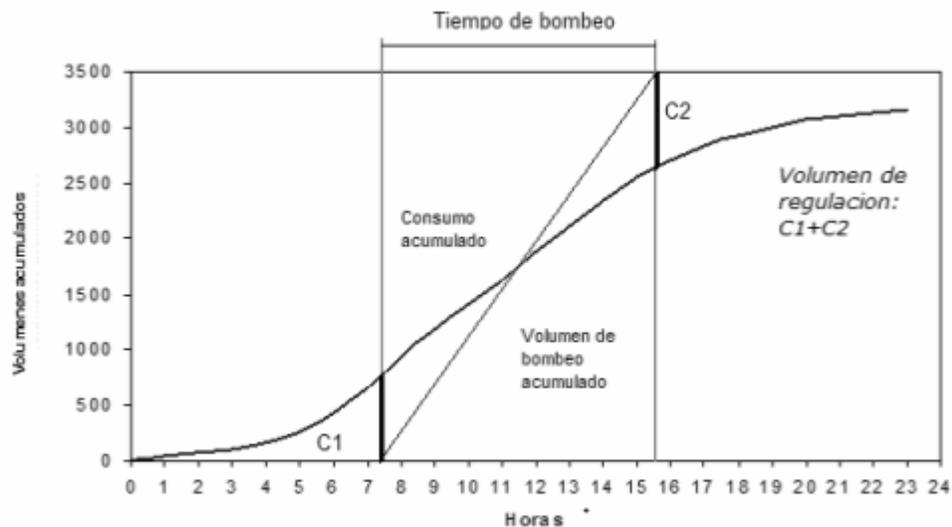


Figura 1.7: Determinación del volumen de regulación de un tanque elevado mediante el diagrama de masa (Agüero, 2004).

Debe considerarse que la capacidad del tanque estará determinada por el tiempo de bombeo y por el período de bombeo.

A mayor tiempo de bombeo menor capacidad del tanque y viceversa; sin embargo, al aumentar el período de bombeo aumenta también los costos de operación y mantenimiento, de modo que la solución más conveniente estará definida por razones económicas y de servicio.

En el volumen del tanque debe preverse también una altura libre sobre el nivel máximo del nivel de aguas, a fin de contar con un espacio de aire ventilado; es recomendable que esta altura sea mayor o igual a 0.20 m (Agüero, 2004).

Para un mismo tiempo de bombeo existirán diferencias en función a los horarios o periodos que se seleccionan para el bombeo. La selección en los turnos de

bombeo debe ser hecha tomando en cuenta los horarios que menos desajustes provoquen a los horarios normales de trabajo o al menos aquellos que no signifiquen excesivos costos de operación ver figura 1.8

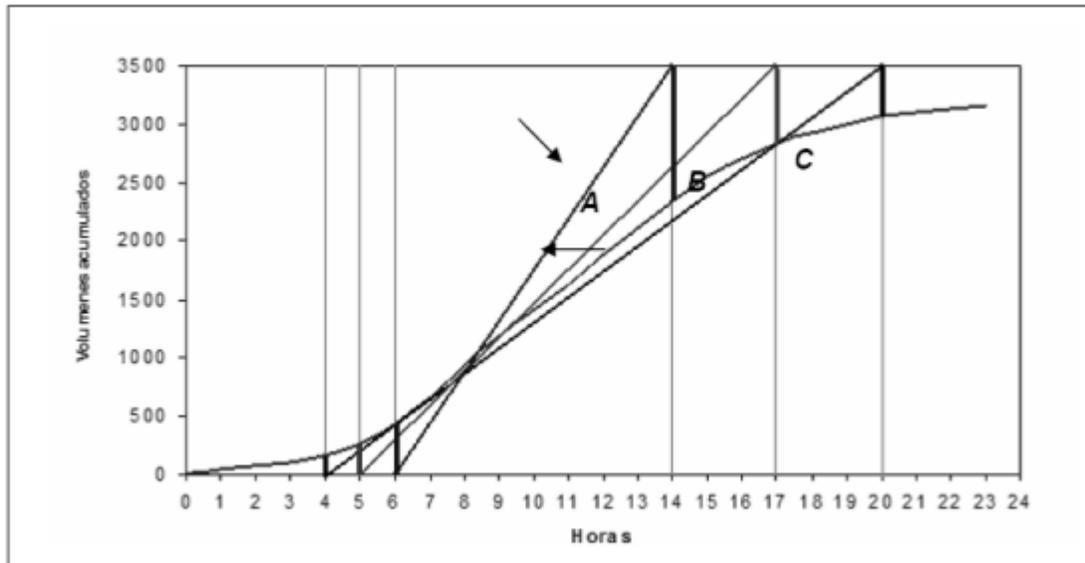


Figura 1.8: Curva de consumos acumulados y tasas de bombeo A, B, C, determinantes de las diferentes capacidades del tanque al variar el tiempo de bombeo

b) Método empírico

Para sistemas por bombeo el volumen de regulación deberá estar entre el 20 a 25% del caudal promedio diario, dependiendo del número y duración de las horas de bombeo, así como de los horarios en los que se realicen dichos bombeos.

El volumen se determina utilizando la siguiente expresión:

La demanda de agua para una vivienda se obtiene según NC-973:2013,

$$Q_{maxh} = \dot{d} \cdot \text{pob.} \cdot K1 \cdot K2 \quad \text{Ec. 1.1}$$

Donde:

Q_{maxh} ,= caudal máximo horario m^3/s

\dot{d} =dotación

pob. =población

K1 y K2= coeficientes de irregularidad

El caudal de salida del tanque elevado para una vivienda se determina según NC-176:2002, mediante el método de la Fórmula Francesa,

$$Q_m = K \times \Sigma Q + Q_p \quad \text{Ec. 1.2}$$

Para esto se emplean los términos de demanda máxima probable (Q_m), coeficiente de simultaneidad (K), caudal mínimo del mueble sanitario (Q), caudal puntual (Q_p).

El volumen del tanque de agua elevado se obtiene según NC-176:2002,

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 \text{ m}^3 \quad \text{Ec. 1.3}$$

La parte del volumen del tanque destinado al consumo de la población (V_2, V_3) se emplea para el cálculo del caudal de bombeo (Q_B) de abasto de agua.

$$Q_B = \frac{V_2 + V_3}{2} \quad \text{Ec. 1.4}$$

Se considera que el volumen de consumo, debe ser restituido en un tiempo menor o igual a 2 horas, por lo que el caudal de bombeo varía en función de este tiempo.

El resto del volumen es destinado a la reserva contra incendio, (V_1), que se obtiene mediante NC-212:2002.

Reserva para emergencias por incendios

Para poblaciones menores a 10,000 habitantes no son necesarios y resulta antieconómico el proyectar demanda contra incendios: sin embargo, el diseñador podrá considerar este aspecto cuando sea justificado técnicamente. No obstante se calcula este valor para conocer el volumen necesario de agua en el tanque

1.4 Uso de la zeolita

Las zeolitas son aluminosilicatos hidratados cristalinos en forma de estructuras atómicas tridimensionales, caracterizadas por la habilidad de retener y liberar agua e intercambiar ciertos átomos constituyentes, sin cambiar su estructura atómica.

Posee estructura tetraédrica de sílice (SiO_4) en la cual los oxígenos de cada tetraedro se comparten con los tetraedros adyacentes.

Si cada tetraedro de la estructura contiene sílice como átomo central, la estructura general es eléctricamente neutra. Alguna sílice tetravalente es reemplazada por aluminio trivalente, dando lugar a deficiencia de carga positiva. La carga es

balanceada con átomos monovalentes y bivalentes, tales como sodio (Na^+), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) en cualquier lugar de la estructura (Itida, 2009).

Las zeolitas naturales son un medio filtrante nuevo y muy bueno disponible para la filtración del agua. Ofrece un funcionamiento superior a los filtros de arena y carbón, con una calidad más pura y mayores tasas de rendimiento sin necesidad de altos requisitos de mantenimiento. Tiene muchas ventajas sobre la arena y puede ser directamente reemplazado por la arena en un filtro normal de arena (Lentech, 2010).

Existen tres usos de zeolitas en industria: catálisis, separación de gas e intercambiador de iones.

Catálisis: Zeolitas son extremadamente útiles como catalizadores para muchas reacciones importantes con moléculas orgánicas. Las más importantes son craqueo, isomerización y síntesis de hidrocarburos. Las zeolitas pueden promover una serie de reacciones catalíticas incluyendo ácido-base y reacciones de metal inducido. Las zeolitas también pueden ser catalizadores de ácidos y pueden usarse como soporte para metales activos o reactivos (Lentech, 2010).

Las zeolitas pueden ser catalizadores selectivos en cuanto a la forma, tanto por la selectividad del estado de transición o por exclusión de reactivos competidores en base al diámetro de la molécula. También se han utilizado como catalizadores de oxidación. Las reacciones tienen lugar dentro de los poros de la zeolita, que permite un mayor grado de control del producto (Lentech, 2010).

Absorción: Las zeolitas se usan para la absorción de una gran variedad de materiales. Esto incluye aplicaciones en secado, purificación y separación. Pueden remover agua a presiones parciales muy bajas y son unos desinfectantes muy efectivos, con capacidad de más de un 25% en peso con agua (Lentech, 2010).

Intercambio de iones: Cationes hidratados dentro de los poros de la zeolita están unidos débilmente y preparados para intercambiarse con otros cationes cuando se encuentran en un medio acuoso. Esta propiedad permite su aplicación como ablandadores de agua, y el uso de zeolitas en detergentes y jabones (Adilson Curi 2012).

- **Uso de la zeolita en el tratamiento del agua**

Anteriormente se hizo referencia al uso de la zeolita de forma general, a continuación se aborda su uso en los tratamientos de agua.

El mayor uso de la zeolita en el tratamiento de aguas es como material filtrante

Desempeño de filtrado (Martha Velázquez Garrido, 2011):

- La zeolita tiene una tasa nominal de filtrado menor a 5 micras.
- Neutraliza significativamente el PH del agua.
- El espacio permeable de los poros (a través de los cuales se transmite el agua) de los granos o fragmentos es 100%.
- Reducción de turbidez mayor a la del cuarzo.
- Reduce la acidez del agua.
- Se requiere una menor cantidad de producto respecto a la arena de cuarzo y el carbón ya que posee una mayor superficie y porosidad.
- Produce una mayor claridad en el agua filtrada.
- Es el medio filtrante más durable (más de 5 años).
- Solo requiere de un simple retro-lavado periódico para mantener su eficiencia y su desempeño.
- Tiene una capacidad de flujo 4 veces superior a la de los medios filtrantes convencionales.
- Incrementa la tasa de flujo en equipos con multimedia y sistemas de gravedad y presión comparado con los sistemas de filtrado de arena.
- La capacidad de una planta de filtrado puede ser doblada sin incrementar los costos de capital.
- Se requieren muy pocos ciclos de turbulencia en los sistemas que poseen zeolita, logrando un importante ahorro en energía.
- Tiene una mayor capacidad de retención debido a que posee una mayor área de superficie

1.5 La zeolita modificada con zinc en Cuba.

Como ya se ha visto las zeolitas naturales son muy eficaces en el tratamiento de las aguas y tienen una gran facilidad para intercambiar iones por lo que no es descabellado investigar su comportamiento si esta es activada con otros materiales como el hierro y el zinc. Nuestro país patentó un producto denominado ZZ que no es más que zeolita del tipo clinoptilolita activada con Zinc. Los estudios realizados con este material muestran su gran capacidad biocida y flexibilidad en su uso ya sea médico o en el tratamiento de las aguas (Rodríguez-Fuentes, 2004a).

El material zeolítico denominado ZZ, se ha desarrollado a través de la reacción de intercambio iónico hidrotérmico, donde se le adiciona a la zeolita natural del tipo clinoptilolita el Zn^{2+} , este se suma a su estructura siendo intercambiado por cationes propios de este tipo de zeolita como el Ca^{2+} para activarla, esto ocurre sin modificación de la célula unitaria de la zeolita. La ZZ trabaja como un controlador de la liberación de Zinc funcionando como bactericida y también destruyendo la levadura y los protozoos (Rodríguez-Fuentes, 2004a)

Desde que se patentó este producto en nuestro país, sus usos y aplicaciones han sido fundamentalmente en la medicina por sus propiedades biocidas en la tabla 9 se muestran estas aplicaciones (Rodríguez-Fuentes, 2004a).

Tabla 9 Productos elaborados con zeolita modificada con zinc (ZZ) (Rodríguez-Fuentes, 2004a).

No.	Productos ZZ	Descripción
1	Purificadores de agua para consumo humano	Sistema doméstico y colectivo para purificación de agua
2	Purificación de agua para consumo animal	Sistema industrial para purificar el agua destinada a animales de producción.
3	Tabletas vaginales	Tratamiento de las infecciones vaginales inespecíficas
4	Crema vaginal	Tratamiento vulvo-vaginitis. Tratamiento complementario parejas.
5	Bolo y suspensión vaginal	Tratamiento infecciones postparto en vacas y cerdas
6	Ungüento	Tratamiento úlceras de pié diabético neuropático
7	Crema dérmica	Tratamiento úlceras por presión (escaras) y quemaduras
8	Polvos dérmicos	Tratamiento úlceras por presión (escaras)
9	Polvos antimicóticos	Tratamiento pié de atleta
10	ZZ polvos	Medicamento para diabéticos –hipoglicemiante + suministrador Zn-
11	Aditivo para hormigones y morteros antibacterianos	Hormigones y morteros antibacterianos para construcciones hospitalarias, sanitarias y hoteleras.
12	ZZ polvos	Aditivo para mejorar la disponibilidad de amoníaco ruminal
13	ZZ polvos	Formulación de fertilizantes
14	Sulfato de Zn heptahidratado	Calidad farmacéutica. Se utiliza en la formulación de otros fármacos y de fertilizantes.

1.5.1 Propiedades de la zeolita modificada con zinc en contacto con el agua.

Las propiedades más reconocidas de la ZZ son su facilidad para el intercambio iónico y sus características biocidas. Se han realizado estudios que demuestran que la ZZ en contacto con el agua logra mantener estas propiedades (Rodríguez-Fuentes, 2004a).

- **Intercambio iónico (I.I) de la ZZ en el agua potable**

La zeolita modificada con zinc en contacto con el agua potable, produce un intercambio iónico de los cationes Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ presentes en el agua y el Zn^{2+} de su estructura (Gerardo Fuentes Rodríguez, 2014, Arbolaez, 2017).

Se produce un aumento de la alcalinidad de las aguas en contacto con ZZ, debido al proceso de intercambio iónico que se produce en ellas, mediante el cual ocurre un aumento de los cationes antes mencionados (Rodríguez-Fuentes, 2004a).

La liberación de Zn de la ZZ fue estudiada en dos sistemas diferentes (Rodríguez-Fuentes, 2004a):

- 1) En sistema de agua potable,
- 2) En una disolución de NaCl (0.9 %) (1.6 de pH) aproximándolo a una simple media biológica.

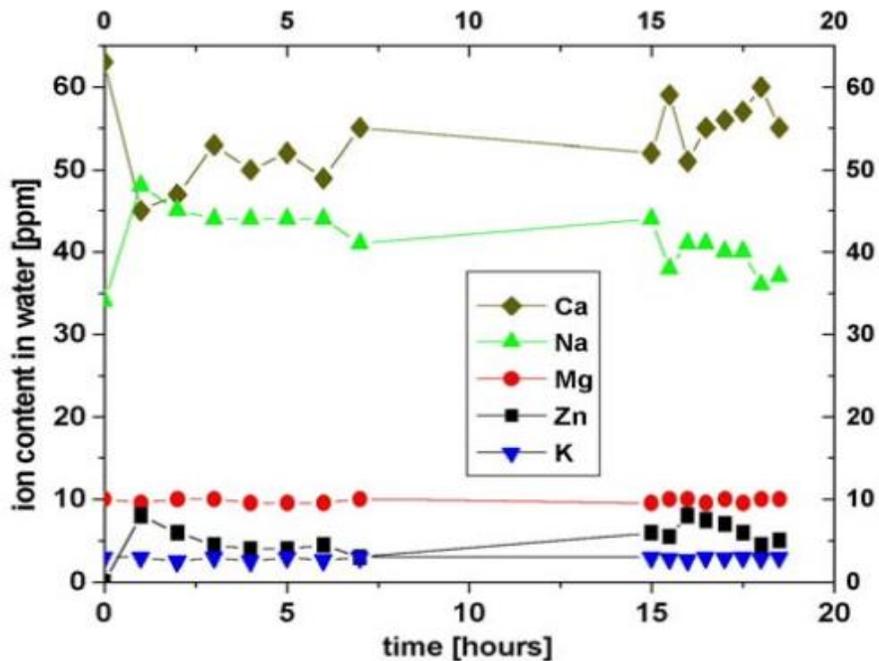


Figure 1.9 Representación de los diferentes cationes en el procesos de intercambio de ZZ en el agua potable (Rodríguez-Fuentes, 2004a).

La figura 1.9 representa el comportamiento de los diferentes cationes en el proceso de intercambio cuando ZZ fue colocada como material filtrante en una columna a 20 cm de longitud y a un diámetro de 2 cm, y el agua potable pasaba y filtraba a través de esta.

El intercambio iónico estudiado mostró que los iones de Zn^{2+} de la ZZ eran principalmente intercambiado por Ca^{2+} y en baja proporción por los iones Na^{+} presentes en el agua (Rodríguez-Fuentes, 2004a).

La cantidad de Zn liberada de la estructura en la clinoptilolita en el agua potable está por debajo de 10 ppm, lo que está permitido según los requerimientos, de los estándares americanos para las aguas potables.

El estudio en la disolución de NaCl demostró que la clinoptilolita controlaba la liberación de los iones Zn contenidos en la ZZ. La Figura 1.10 indica la curva planteada de iones zinc contenidos en la disolución de NaCl versus el tiempo de intercambio después del contacto entre ZZ con la disolución de NaCl (gráfica

azul). Mientras la ilustración de la gráfica roja representa la velocidad de la liberación de los iones de Zn cedidos por la ZZ en la disolución. El ploteo fue por modelo de Higuchi el cual confirma el control de la liberación de los iones Zn del material zeolítico (Rodríguez-Fuentes, 2004a).

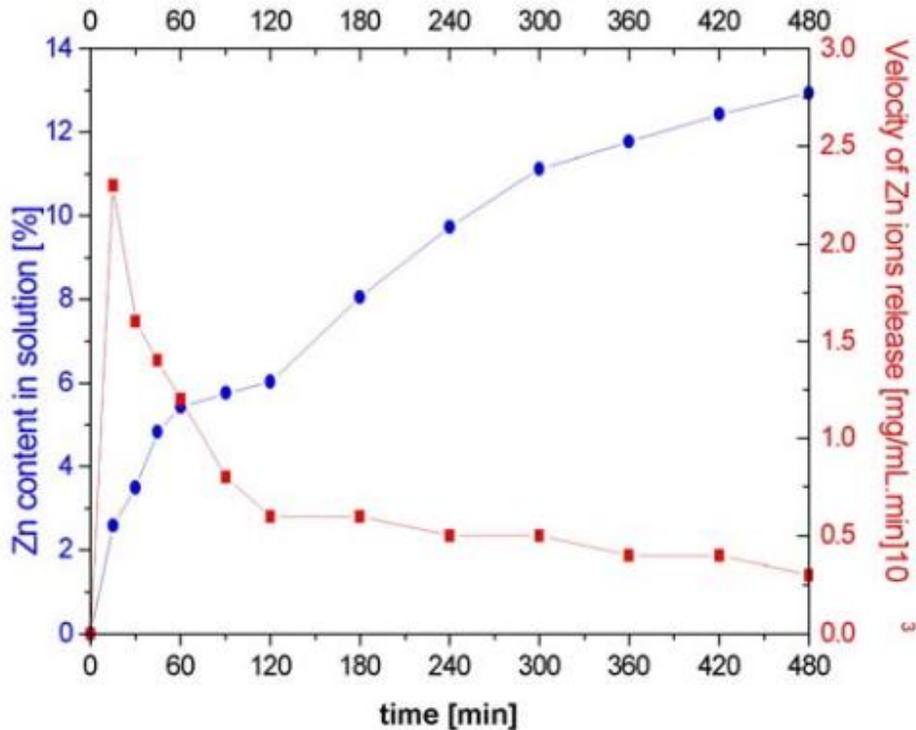


Figura 1.11 Iones de Zn liberados de la ZZ en el proceso de intercambio con la disolución de NaCl. Zn contenido en la solución después del intercambio (curva Azul) y la velocidad de Zn liberado de ZZ (curva roja) (Rodríguez-Fuentes, 2004a)

Esto muestra que aunque en los primeros minutos la velocidad de zinc cedido por la ZZ es acelerada el contenido de este no es suficiente para crear una acción biocida hasta que hayan transcurrido 30 minutos. También se puede observar como la velocidad del zinc comienza a disminuir regularmente después de las 2 horas proporcionando que no se superen los estándares de contenido de zinc en el agua (Rodríguez-Fuentes, 2004a).

- **Acción biocida de la zeolita modificada con zinc:**

La cantidad de Zn liberada de la estructura en la clinoptilolita en el agua potable está por debajo de 10 ppm, lo que está permitido según los requerimientos, de los estándares americanos para las aguas potables. Demostrando que este contenido de zinc es suficiente para lograr un efecto bactericida sobre el cúmulo de bacterias (Rodríguez-Fuentes, 2004a).

El zinc está involucrado en alrededor de 200 procesos bioquímicos en el cuerpo humano. El Zn es un elemento traza esencial para los seres humanos, con un papel importante en la reproducción, el crecimiento y el desarrollo, el metabolismo celular, la expresión génica, la respuesta inmune, y la función neurológica (Rodríguez-Fuentes, 2004a) .

El zinc reacciona a microorganismos patógenos mediante el cruce de las membranas de las bacterias y otros microorganismos, interactuando con los grupos funcionales de las enzimas. Los iones de zinc sustituyen a los metales que actúan como cofactores y modificar su desempeño prevenir el crecimiento de microorganismos y matarlos; éstos se conocen como efectos bacteriostáticos y bactericidas. Este efecto microbicida se ha confirmado en protozoos y sus quistes, así como en los hongos (Rodríguez-Fuentes, 2004a).

La ZZ funciona como un regulador de zinc en el agua. Los estudios realizados en el uso de la zeolita modificada con zinc, han demostrado su función biocida, ya que presenta un efecto bactericida frente a diferentes microorganismos presentes en el agua. En la tabla 10 se muestra las bacterias que pueden ser eliminadas por la ZZ con un tiempo mínimo de exposición de 30 minutos y una dosis mínima de un 10% (Rodríguez-Fuentes, 2004a).

Tabla 10. Efecto bactericida positivo de ZZ sobre la cepa y levadura de bacterias (Rodríguez-Fuentes, 2004a).

STRAIN BACTERIA AND YEAST		
<i>B. Subtilis</i> ATCC 6633	<i>E. Cloacae</i> ATCC 23355	<i>S. Fecalis</i>
<i>V. Parahemoliticus</i> ATCC 22221	<i>S. Tiphimurium</i> ATCC 24028	<i>A. Calcoacetius</i> ATCC 19606
<i>P. Aeruginosa</i> ML 2327	<i>E. Coli</i> I.F.A.L. 032	<i>S. Orizoniac</i> ATCC 67341
<i>E. Aerogenes</i> ATCC 13048	<i>S. Flexneri</i>	<i>E. Freundii</i>
<i>K. Pneumoniae</i> 1	<i>P. Rettger</i>	<i>Aeromora</i>
<i>V. Cholerae</i> No 01	<i>P. Aeruginosa</i> ATCC 27853	<i>B. Cereus</i> I.F.A.L.
<i>S. Aureus</i> ATCC 25923	<i>S. Tiphimurium</i> ATCC 14028	<i>P. Shigeloides</i>
<i>S. Sonnei</i> ATCC 25931	<i>S. Flesneri</i> ATCC 12022	<i>E. Freundi</i> ATCC 8090
<i>P. Mirabalis</i>	<i>V. Metchaicoul</i> ATCC 28104	<i>P. vulgaris</i> ATCC 13315
<i>E. Coli</i> ATCC 25932	<i>Providencia</i> I.H. 012	<i>Y. Enterocolitica</i>
<i>E. Aerogenes</i>	<i>S. Anatum</i>	<i>K. Pneumoniae</i> 3
<i>Arizona</i> ATCC 67344	<i>K. Pneumoniae</i> 2	<i>C. Albicans</i>
<i>S. Marcences</i> ATCC 8100	<i>S. Aureus</i> (fago)	

1.5.2 La zeolita modificada con zinc como purificador de agua.

En los años 1990 por indicaciones del Comandante. Pedro Miret se creó una comisión nacional para desarrollar alternativas a hervir el agua durante los duros años del Período Especial. En 1993 el IMRE propuso el desarrollo de “filtros” basados en el microbicida ZZ. Los filtros empleaban elementos de asbesto cemento de producción nacional. Durante 3 años se ensayaron estos sistemas en los túneles para la protección de la población en caso de ataque aéreo, específicamente en la comunidad aledaña a la Base Naval de Cabañas, Pinar del Río. Los sistemas fueron evaluados por el MINFAR y el MINSAP. Los resultados permitieron en 1999 que ZZ recibiera el registro sanitario como purificador de agua.

Por indicaciones del Registro Sanitario se han realizado nuevas validaciones de los estudios y efectividad de los purificadores ZZ de agua para consumo humano, considerando nuevos diseño del sistema (Rodríguez-Fuentes, 2004b).

Los nuevos estudios evaluaron la variación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua tratada con ZZ en una jarra purificadora casera. Los estudios físico-químicos se concentraron en la turbidez, dureza y presencia de metales pesados tóxicos.

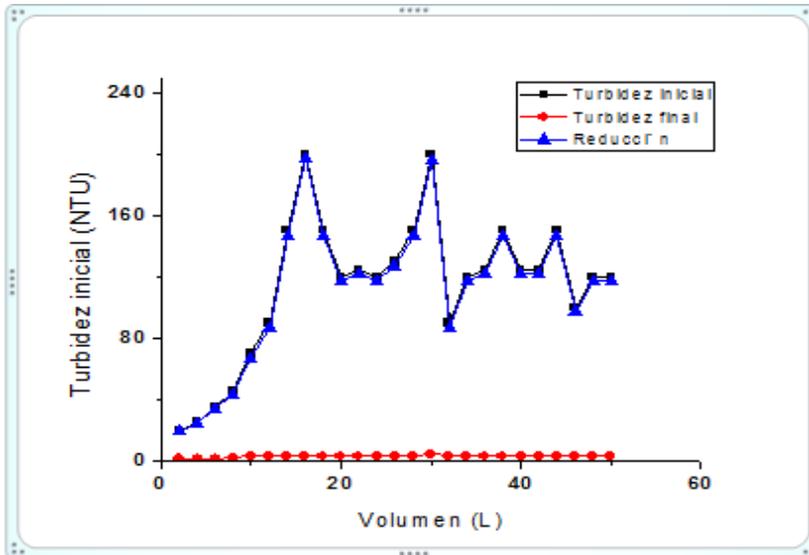


Figura 1.12 Turbidez del agua en la jarra purificadora.

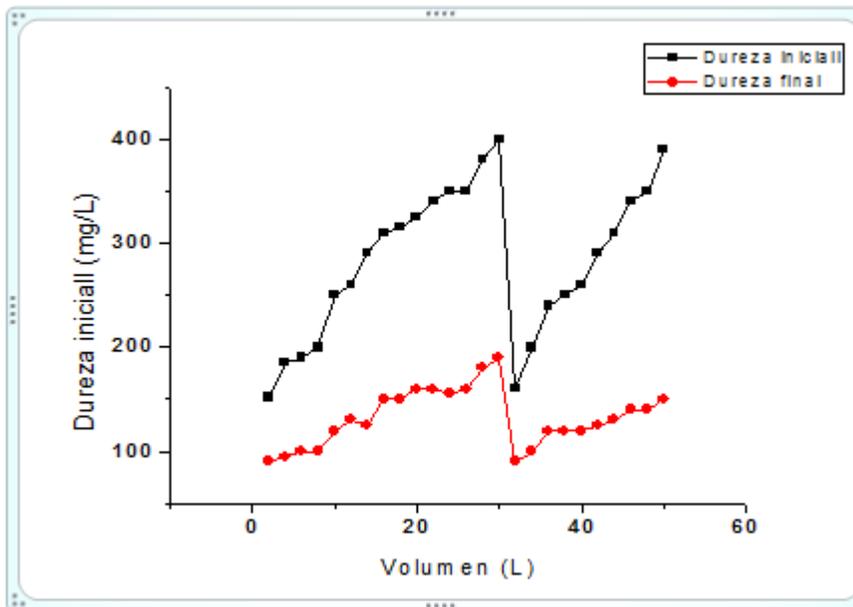


Figura 1.13 Dureza del agua en la jarra purificadora.

Los microbiológicos se realizaron frente a los microorganismos patógenos de transmisión hídrica que actualmente están o pueden aparecer en las aguas cubanas: *Vibrio cholerae*, *Shigella sonnei*, *Salmonella typhi*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Leptospira interrogans*, *Aeromonas hydrophila*, *Plesiomonas shigelloides*, *Escherichia coli*, *Corynebacterium diphtheriae* y quistes de *Giardia lamblia* (Rodríguez-Fuentes, 2004b).

Todos los resultados fueron evaluados de satisfactorios: ZZ además de ser un microbicida de espectro amplio, proporciona un agua con la calidad establecida por la norma cubana.

Capítulo 2. Comportamiento de la calidad del agua en su reacción con el mortero de zeolita modificada con zinc.

En nuestro país el material más usado para la fabricación de depósitos de agua es el hormigón, por lo que se ha analizado el uso de la zeolita modificada con zinc como un nuevo material en la dosificación del mortero de recubrimiento interno para mantener los parámetros de la calidad del agua almacenada.

2.1 Mortero de zeolita modificada con zinc.

Para esta investigación se emplean prismas diseñados por Micaela Braun en el trabajo "Impacto de la zeolita modificada con zinc en la calidad del agua almacenada en depósitos de hormigón, estos fueron creados según las normas cubanas, la composición de estos prismas se muestra en la figura 2.3.(Braun, 2016).

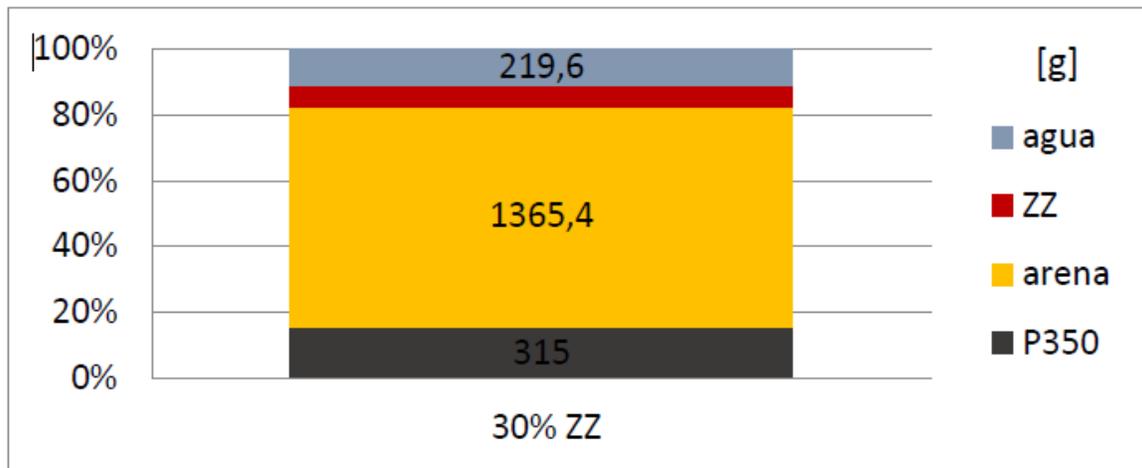


Figura 2.1 Composición del mortero(Arbolaez, 2017).

Los prismas del mortero se elaboraron siguiendo las Normas Cubanas correspondientes a la elaboración de morteros y probetas para ensayos como son:
NC-175 MORTEROS DE ALBAÑILERIA. ESPECIFICACIONES
NC-173 MORTERO ENDURECIDO. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A FLEXION Y COMPRESION
NC-506 COMPOSICION DE MORTEROS. ESPECIFICACIONES

Tabla 2.1: Materiales empleados para la fabricación de los prismas de mortero de ZZ (Braun, 2016).

Materiales	Procedencia
cemento	PP-350 ECOT
ZZ	IRME. (Dr. Cs Gerardo Rodríguez)
árido	Trinidad

Teniendo en cuenta que el mortero presentaría ZZ a un 30% y PP- 350 a un 70% Se determinó la cantidad de cada uno de los materiales a utilizar.

Tabla 2.2: Materiales utilizados(Braun, 2016)

Muestra con CPO70%- ZZ30%	
Cemento P-350(g)	315
ZZ(g)	135
Árido(g)	1350+humedad(6.8%)=1365.4
Agua(g)	219.6

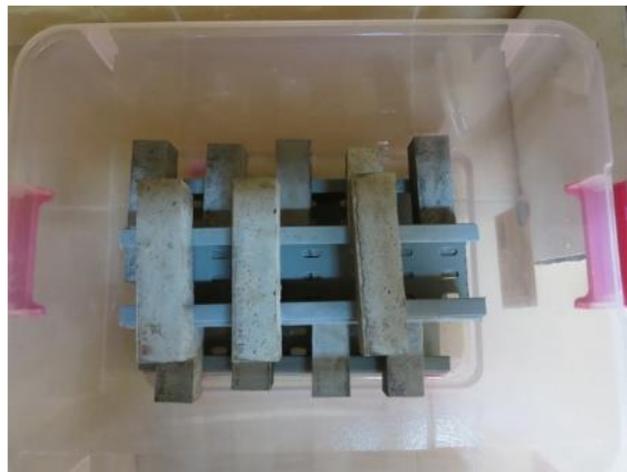


Figura 2.2 Prismas del mortero de ZZ(Braun, 2016)

En el trabajo "Impacto de la zeolita modificada con zinc en la calidad del agua almacenada en depósitos de hormigón muestra que estos prismas de ZZ cumplen con los requisitos normativos de resistencia. Los resultados de los ensayos realizados de flexión y compresión a los 7 días y a los 28 se muestran en las tablas: 2.3 ,2.4, 2.5 y 2.6 (Braun, 2016)



Figura 2.3 Máquina de ensayo flexión(Braun, 2016) .

Tabla 2.3: Resultado del ensayo a flexión a los 7 días (Braun, 2016).

Muestra 30%ZZ-70%CPO		KN	KN/cm ²	MPa
Resistencia flexión	1	1	23.44	2.34
	2	1	23.44	2.34
	3	0.8	18.75	1.88
		0.93	21.88	2.19

Tabla 2.4: Resultado del ensayo de resistencia a compresión a los 7 días(Braun, 2016) .

Muestra 30%ZZ-70%CPO			KN	KN/cm ²	MPa
Resistencia compresión	1	1.1	6.8	42.5	4.25
		1.2	10.8	67.5	6.75
	2	2.1	10.2	63.0	6.38
		2.2	10.4	65.0	6.50
	3	3.1	9.8	61.3	6.13
		3.2	9.4	58.8	5.88
			9.57	59.79	5.98

Tabla2.5: Resultado del ensayo de resistencia a flexión a los 28 días (Braun, 2016).

Muestra30%ZZ-70%CPO		KN	KN/cm ²	MPa
Resistencia flexión	1	1.2	28.13	2.81
	2	1.3	30.44	3.05
	3	1.4	32.81	3.28
		1.3	30.47	3.05

Tabla 2.6: Resultado del ensayo de resistencia a compresión a los 28 días (Braun, 2016).

Muestra 30%ZZ-70%CPO			KN	KN/cm ²	MPa
Resistencia compresión	1	1.1	17.0	106.3	10.63
		1.2	15.4	96.3	9.63
	2	2.1	15.0	93.8	9.38
		2.2	13.4	83.8	8.38
	3	3.1	19.4	121.3	12.13
		3.2	18.2	113.8	11.38
			16.40	102.50	10.25

Los resultados de los ensayos fueron favorables pues los prismas cumplen con la resistencia necesaria para un mortero de recubrimiento interno planteados por la NC-54 207:89.

Estos resultados muestran que con el uso de ZZ en la dosificación del mortero no se producirán riesgos constructivos ya que este cumple con los parámetros de resistencia normados.

2.2 Trabajo con modelo a escala.

Una de las formas de poder evaluar el comportamiento del mortero de zeolita de una forma real es mediante el uso de los modelos a escala

El área de contacto con el agua del mortero de ZZ, se determina empleando el método de la ley de semejanza.

Para el estudio se emplea un recipiente que permite definir el área de contacto con la superficie del mortero de ZZ, para esto se realiza análisis a escala empleando el volumen que ocupa el mortero dentro del recipiente, según Principio de Arquímedes. El recipiente empleado se muestra en la figura 2.4 (Arbolaez, 2017, Braun, 2016).



Figura 2.4: Prismas colocados en agua(Braun, 2016).

Para que se cumpla la relación modelo real y escala se emplea la ecuación siguiente:

$$\frac{V_t}{A_t} = \frac{V_r}{A_r} \quad \text{Ec.2.1}$$

Donde:

V_t - es el volumen total

A_t - es el Área total

A_r - es el Área relativa

V_r - es el volumen relativo

Lo que indica que se debe cumplir la relación volumen de agua almacenado con el área de contacto entre el tanque y el recipiente respectivamente.

Esta relación se determinó entre el recipiente que se utilizó para la realización del experimento y un depósito real, garantizando de esta forma que el recipiente usado era representativo. Para garantizar que se obtuvieran buenos resultados

se determina también la relación entre recipiente y una jarra purificadora de agua de ZZ. El cálculo de esta relación queda reflejado en la tabla 2.7(Braun, 2016).

Tabla 2.7 Relación de semejanza de los depósitos(Braun, 2016, Arbolaez, 2017)

Relación de semejanza	Fórmula	Resultados
Relación de semejanza tanque	V_t/A_t	0,205
Relación de semejanza recipiente con 1 prisma	V_{ar}/A_p	0,260
Relación de semejanza jarra purificadora	V_{aj}/A_b	0,102
Relación de semejanza recipiente con 3 prismas	V_{ar}/A_p	0,081

Mediante los resultados de la tabla (2.7) se observa que la relación de semejanza que existe entre el tanque y el recipiente es aproximada, lo cual indica que el área de contacto del mortero de ZZ con el agua es similar. La relación de semejanza entre la jarra y el recipiente con 3 prismas también se hace aproximada, lo que hace que las áreas de contacto en ambos depósitos sean similares(Arbolaez, 2017, Braun, 2016).

Con la relación de semejanza empleada, se observa que el recipiente presenta modelo adecuado para conocer las características del agua que pueden ser almacenadas en el tanque de hormigón, también se aprecia que con el empleo de tres prismas de mortero de ZZ en el recipiente, se logran condiciones similares en el área de contacto con respecto a las características de la jarra purificadora de agua, lo cual permite conocer las características del agua en depósito de hormigón en condiciones parecidas al comportamiento en la jarra purificadora(Braun, 2016, Arbolaez, 2017).

Mediante el uso del recipiente para el estudio, se permite evaluar el comportamiento de la calidad del agua, esta debe cumplir parámetros establecidos según la Organización Mundial de Salud para la Calidad del Agua Potable, 2003, NC-827:201. Dentro de los parámetros requeridos se encuentran las características bacteriológicas del agua, que son la causa fundamental de propagación de enfermedades en el ser humano y uno de los mayores problemas de contaminación de las aguas potables en la red de distribución (Arbolaez, 2017).

Las muestras de agua potable para la realización del experimento fueron tomadas en la planta potabilizadora Tanque Viejo autopista y las de agua residual en la planta de tratamientos del cayo Santa María del municipio de Caibarién al Norte de la ciudad de Villa Clara(Braun, 2016).

2.3 Características del agua potable en su reacción con morteros de zeolita modificada con zinc.

El pH es una medida de acidez de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio $[H_3O^+]$ presentes en determinadas sustancias.

Los resultados de pH en la muestras han sido superiores a 8.5, por lo tanto, más altos que los permitidos por el estándares. Diferentes estudios anteriores, que trabajan con zeolita modificada con astillas en mortero, han demostrado resultados similares.

Esto se puede explicar por la influencia del mortero en el agua. Normalmente, el concreto ya tiene un pH en el rango de 11-13.

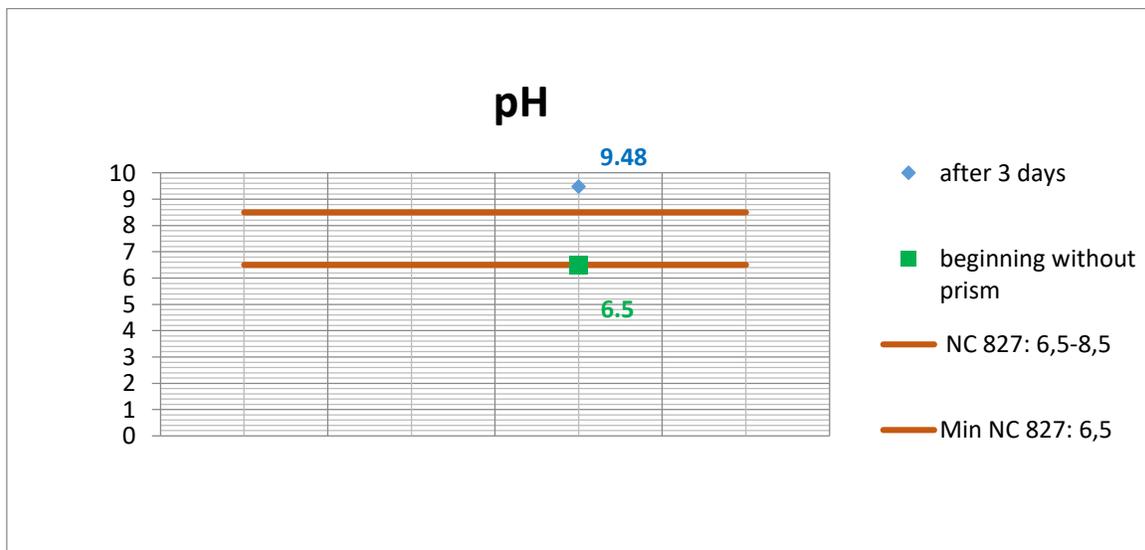


Figura 2.5 Comportamiento del pH (Braun, 2016)

- Conductividad

La conductividad da una medida de la presencia de metales, sales y otras sustancias químicas presentes en el agua. Este parámetro se comportó de manera favorable ya que no sobrepasó los niveles establecidos por las NC.

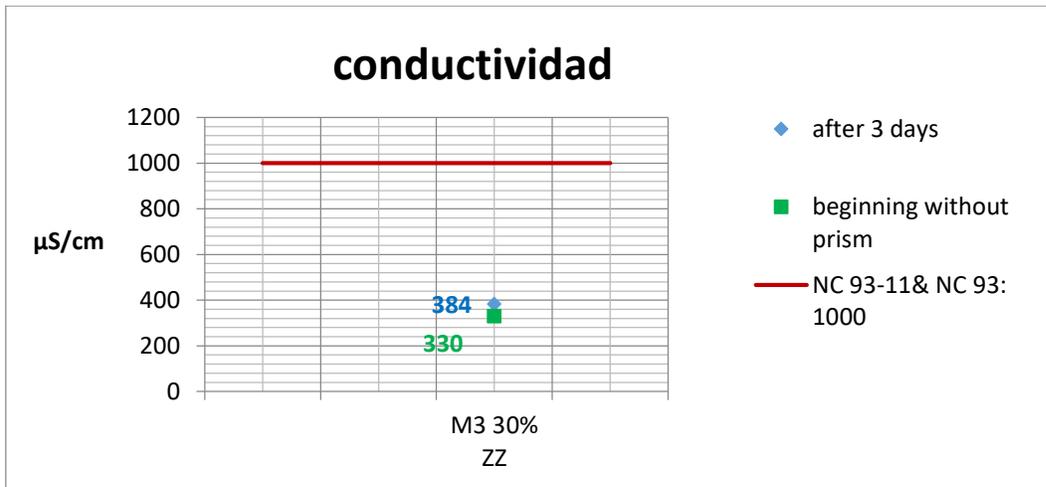


Figura 2.6 Comportamiento de la conductividad (Braun, 2016)

- Cl

Como se expresa en la figura el Cl se mantuvo muy por debajo de lo establecido en las NC mostrando un menor valor que el inicial.

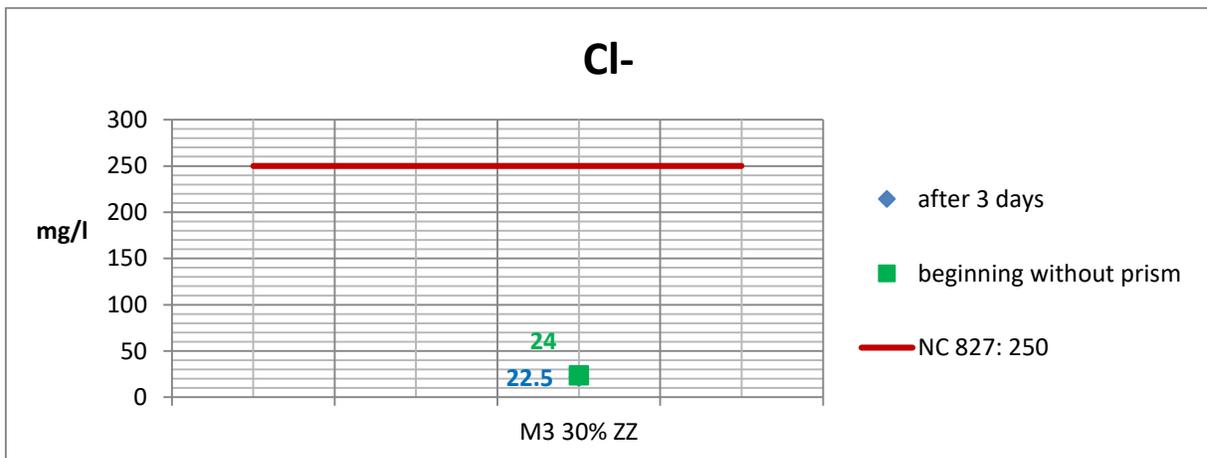


Figura 2.7 Comportamiento del Cl (Braun, 2016)

- Dureza total

La dureza total depende de los niveles de minerales, en particular sales de magnesio sodio, potasio y calcio contenidos en las muestras, este parámetro se comportó de manera favorable al verse no solo por debajo de la norma sino que se redujo al transcurrir los tres días.

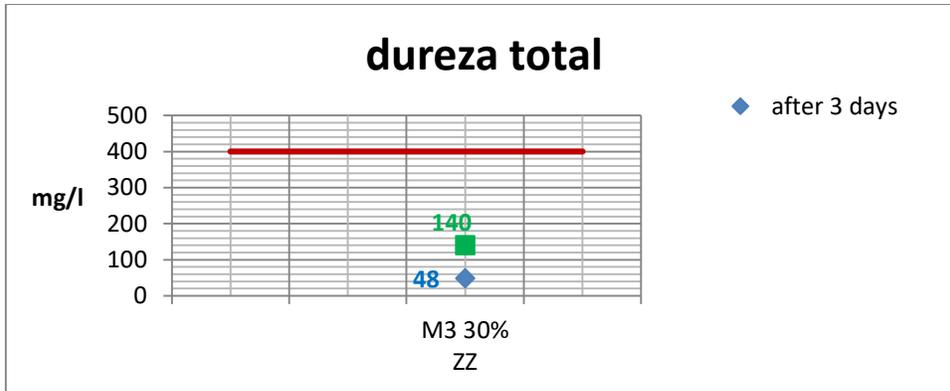


Figura 2.8 Comportamiento de la dureza total (Braun, 2016)

- Alcalinidad

La alcalinidad del agua se puede definir como una medida de su capacidad para neutralizar ácidos. Después de tres días, la alcalinidad se incrementó con respecto al inicial pero esta se encuentra en un rango admisible.



Figura 2.9: Comportamiento de la alcalinidad(Braun, 2016)

La alcalinidad si se especula se puede decir que está en estrecha relación con el pH contenido en el agua y que el mortero con ZZ se queda por debajo del mortero OPC.

- Ca²⁺

Hay que señalar que se libera una gran cantidad de Ca²⁺ de la cantidad de este ion contenida en el mortero. Esta característica se toma como positiva pues se mantiene un valor inferior al normado.

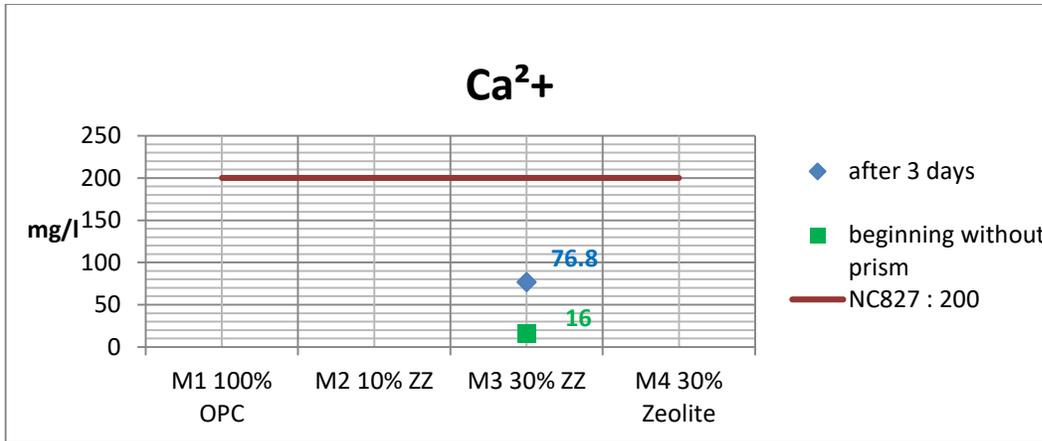


Figura 2.10: Contenido de Ca(Braun, 2016)

- Mg²⁻

El Mg se queda muy por debajo de los niveles establecidos por la NC.

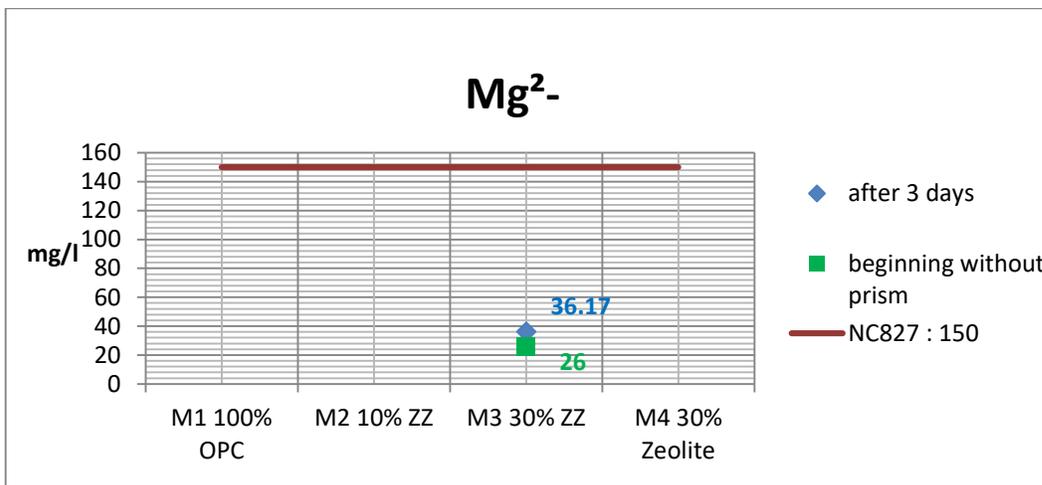


Figura 2.11: Contenido de Mg(Braun, 2016)

- DQO y DBO₅

La demanda bioquímica de oxígeno siempre está por debajo de la demanda química de oxígeno. Esto puede ser visto a los valores de agua sin contacto de prismas. La DBO₅ asciende a 3,5 mg / l y es menor que la DQO de 5,8 mg / l.

Después de 3 días, la DQO y la DBO₅ se han reducido en el agua potable.

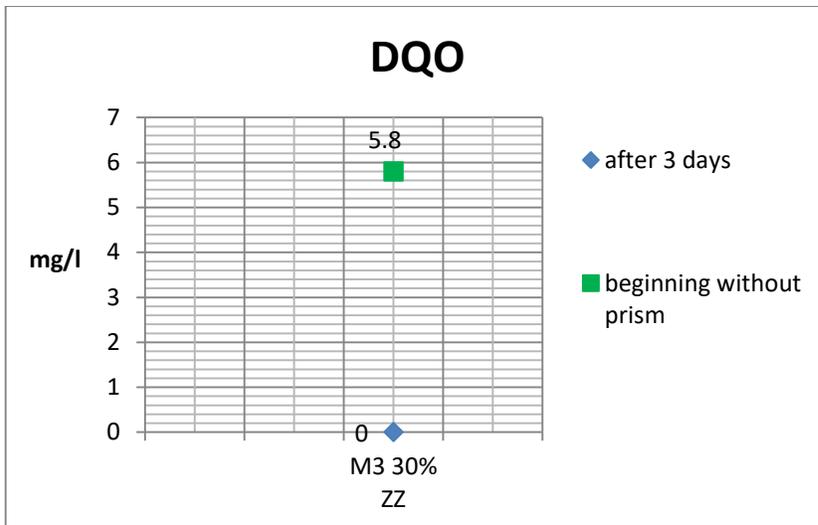


Figura 2.12: Comportamiento de la DQO(Braun, 2016)

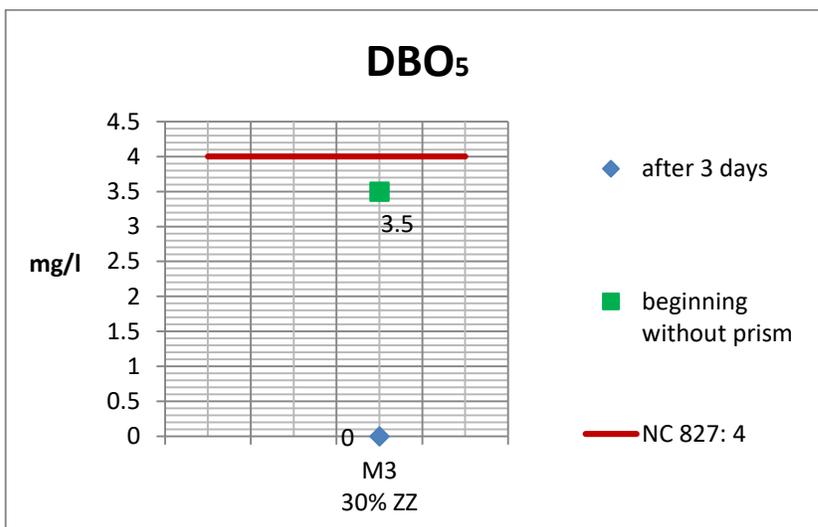


Figura 2.13: Comportamiento de la DBO₅(Braun, 2016)

- Coliformes totales

Después de 3 días, el total de Coliformes se redujo aunque quedó algo por encima de la NC.

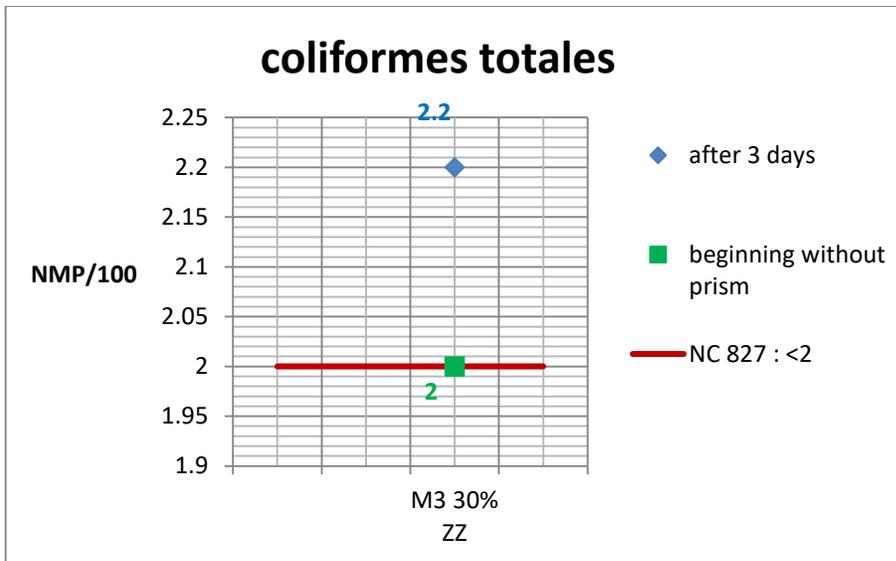


Figura 2.14 Coliformes Totales(Braun, 2016)

- Coliformes fecales

Al principio, la materia fecal coliforme midió 2.0 NMP en 100 ml y después de 3 días fueron totalmente reducido en todas las muestras. Actualmente no es posible predecir si las bacterias fueron reducidas por las propiedades del material modificado porque no había diferencia entre analizar el agua con y sin zeolita modificada.

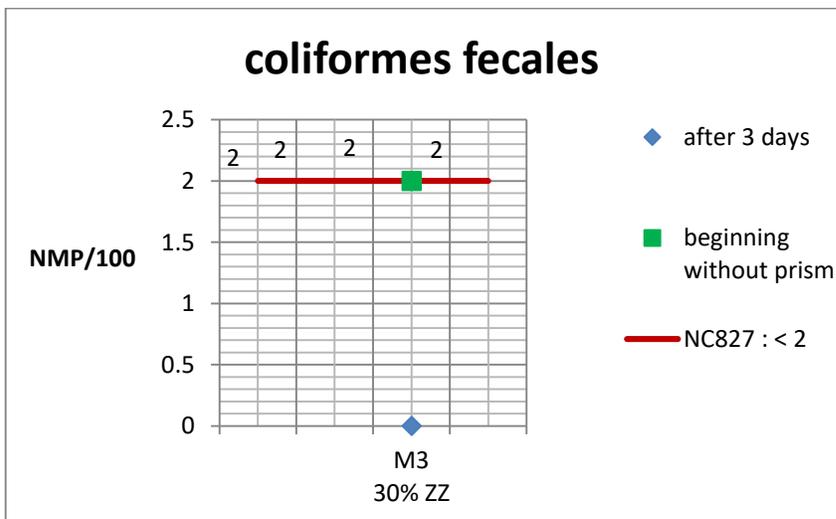


Figura 2.15 Coliformes fecales(Braun, 2016)

- E. coli

De acuerdo con la prueba fecal coliforme, no hubo muestras de bacterias fecales. Es decir, si no hay coliformes fecales en el agua, no habrá E. coli en el agua.

2.4 Características del agua residual en su reacción con morteros de zeolita modificada con zinc.

- pH

En aguas residuales, los valores de pH excedieron los estándares cubanos (> 9.0). En comparación a los resultados del pH del agua potable, las aguas residuales lograron resultados más bajos (aguas residuales pH 9.45-9.83, agua potable pH 9.48-10.36) después de 3 días.

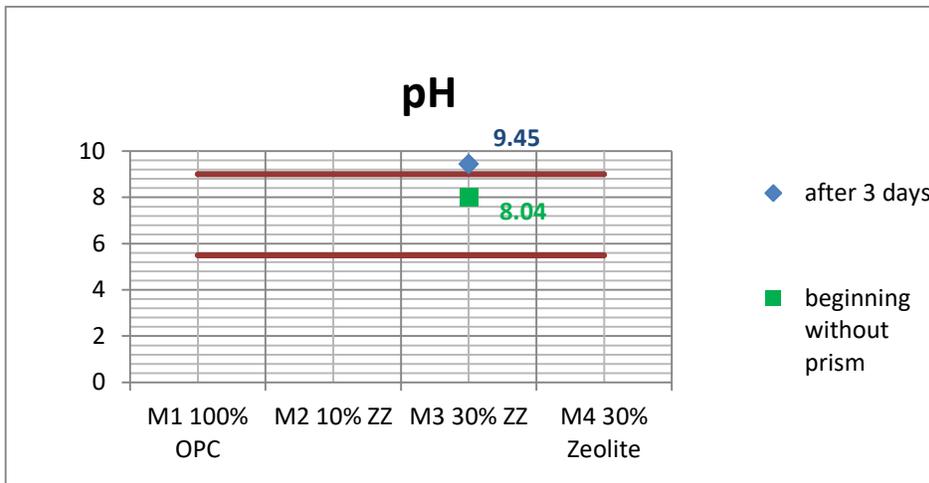


Figura 2.16 Comportamiento del pH del agua residual (Braun, 2016)

Como se indicó anteriormente, los valores altos de pH se pueden explicar por la contaminación con mortero.

El pH del agua residual debe encontrarse entre los rangos de 5.5 -9.0 en conformidad con la norma cubana. El resultado de la muestra se encontró fuera de la norma después de 3 días, la muestra modificada alcanzó 9.45

- Conductividad eléctrica

. Este parámetro se comportó de manera favorable al verse no solo por debajo de la norma sino que se redujo al transcurrir los tres días.

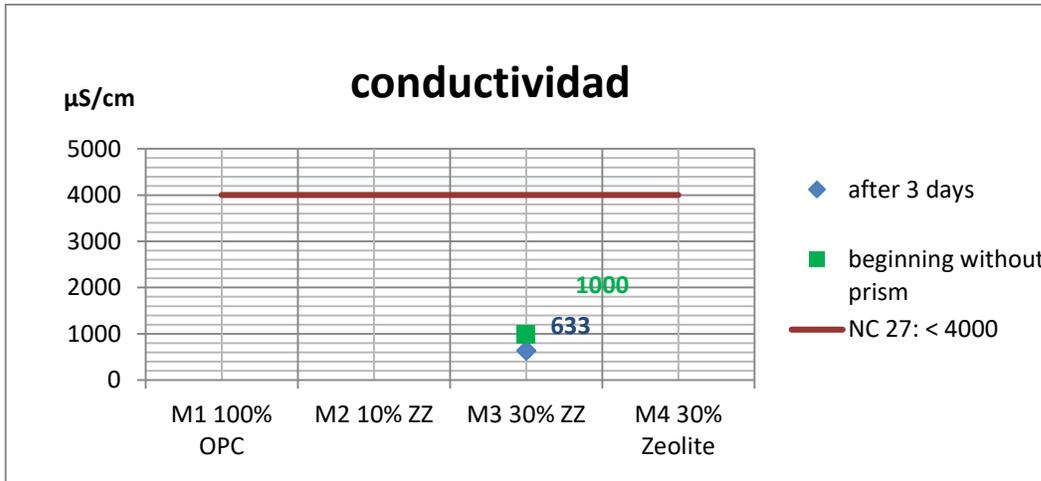


Figura 2.17 Comportamiento de la conductividad en el agua residual(Braun, 2016)

- DQO y BOD₅

Inicialmente, DOB₅ con 4.5 mg / l fue menor que la DQO con 7.1 mg / l en aguas residuales. Después de tres días DQO y DBO₅ se redujeron completamente.

Es difícil imaginar que la DQO y la DBO₅ se eliminaran por completo después de tres días.

Los exámenes de coliformes totales y fecales muestran claramente que hubo numerosos coliformes en el agua. Como ya se ha descrito, las pruebas DQO y BOD₅ dependen de los contaminantes presentes en el agua.

Por lo tanto, la DQO y la DBO₅ no se pudieron reducir completamente, porque había una gran cantidad de bacterias en el agua. Además, las pruebas de coliformes totales y fecales también se basan en la producción de CO₂ de microorganismos. Si los coliformes están presentes en el agua y producen CO₂ en estas pruebas. Esto prueba que el consumo de oxígeno funciona.

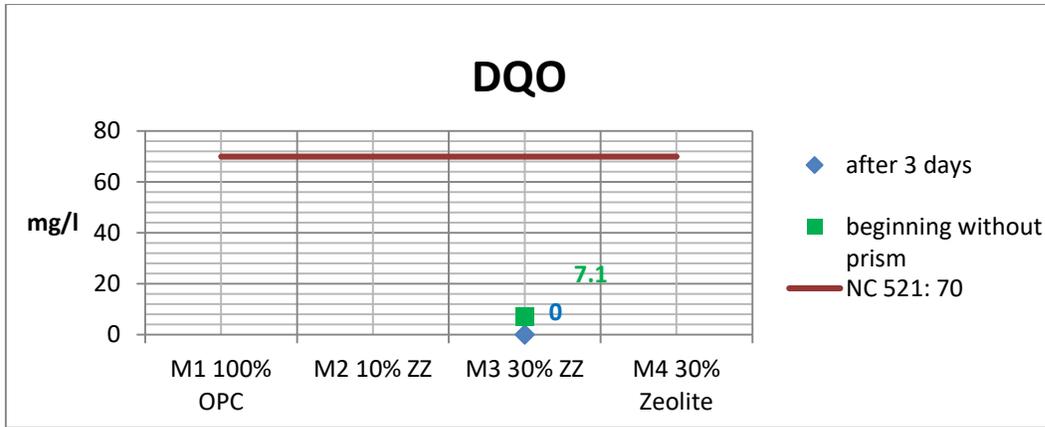


Figura 2.18 DQO del agua residual(Braun, 2016)

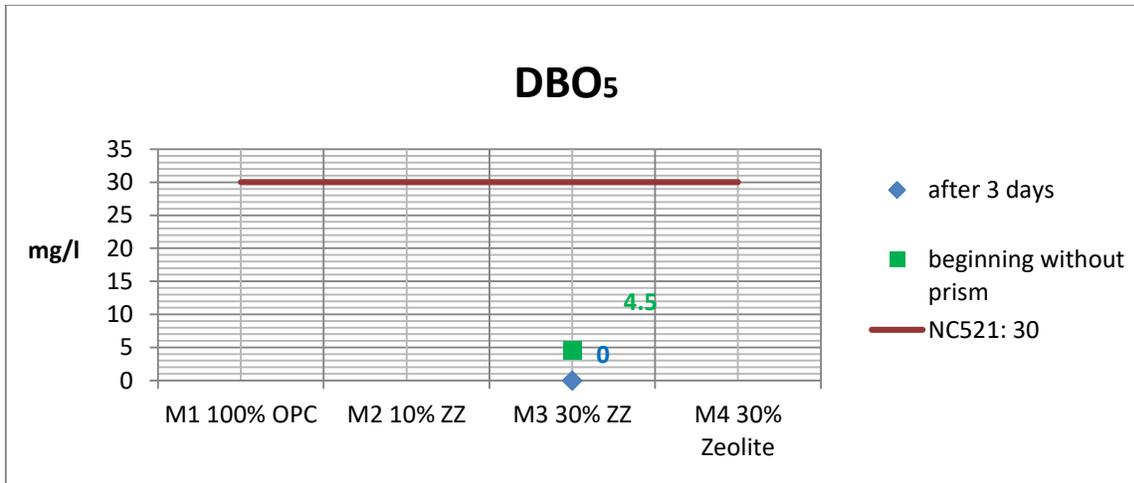


Figura 2.19 DBO₅ del agua residual(Braun, 2016)

- Coliformes totales y coliformes fecales

Los coliformes totales y coliformes fecales no solo se mantuvieron inferior a lo normado, también se puede apreciar que disminuyen con el tiempo ya que a los tres días se obtuvieron menores valores que los iniciales.

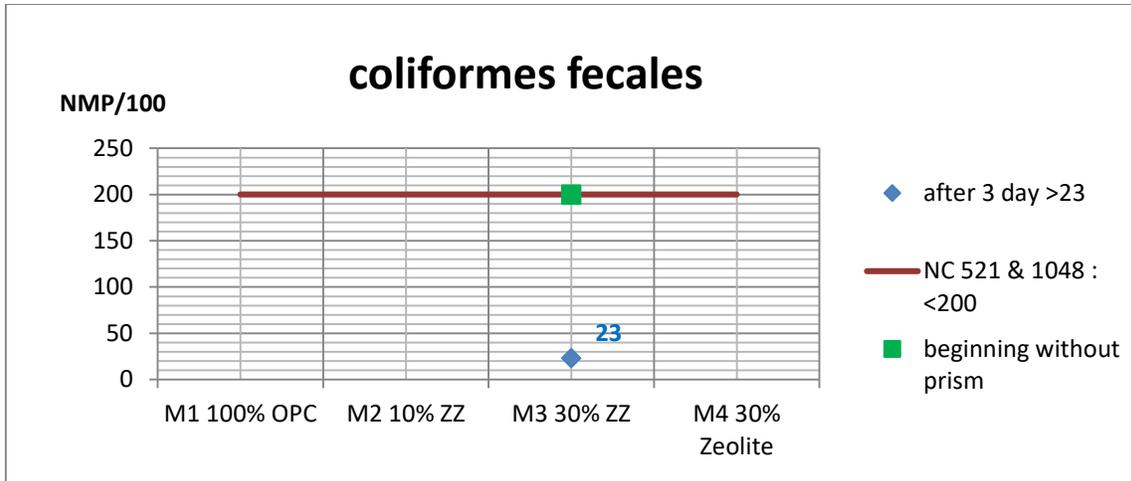


Figura 2.20 Coliformes fecales(Braun, 2016)

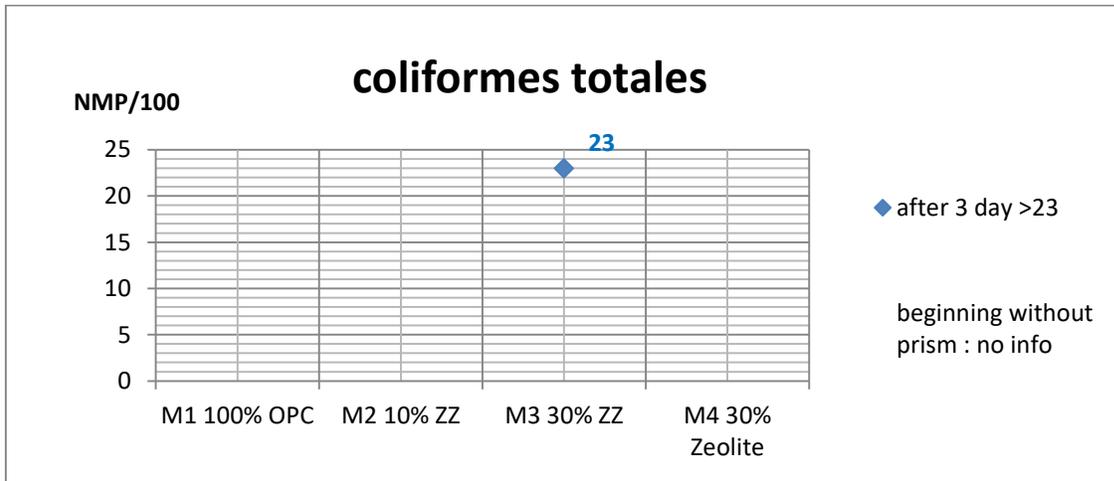


Figura 2.21 Coliformes totales(Braun, 2016)

Inicialmente, la cantidad de coliformes fecales fue de 200 NMP / 100 ml. Después de 3 días el equipo de la prueba muestra un resultado de > 23, lo que significa que no se puede indicar la cantidad exacta de coliformes fecal en agua. En consecuencia, no es posible indicar el tiempo en que se excede el límite de número de Coliformes contenidos

- E. coli

El estudio de E. coli se ha relacionado, que no había presencia de E. coli en la muestra de agua.

Capítulo 3 Comportamiento de mejora de la calidad de agua para consumo y aguas residuales con el empleo de morteros de zeolita modificada con zinc.

El principal factor de riesgo para numerosas intoxicaciones e infecciones es el intercambio fisiológico del agua, siempre que ésta se encuentre alterada, mediante contaminación, en sus parámetros físicos, químicos o biológicos. Dependiendo del uso que se vaya a hacer, es de máximo interés controlar analíticamente la calidad del agua.

Un correcto almacenaje de el agua puede reducir la degradación de la misma evitando lo más posible su corrosión y pérdidas de sus características físicas y químicas.

El uso de nuevos materiales que mejoren la calidad de agua en los morteros de recubrimiento interno en depósitos de hormigón sería un paso de avance en el almacenamiento de agua en nuestro país.

En este capítulo se analizarán los aspectos que se mejoran en el agua con el uso del mortero de ZZ y sus beneficios.

3.1 Intercambio iónico en morteros de zeolita modificada con zinc.

El producto zeolítico ZZ como ya se ha visto en esta investigación tiene gran facilidad para el intercambio iónico, esta propiedad ha quedado demostrada en muchas investigaciones anteriores.

En los experimentos realizados con el mortero de ZZ también se refleja esta propiedad.

- **Intercambio iónico del mortero de ZZ en el agua potable.**

Para el estudio de la calidad del agua se debe tener en cuenta las características que se pueden generar en ellas debido al intercambio iónico que se produce en la reacción del agua con el mortero de ZZ, esto se observa según estudio, y análisis de distintas características que reflejan la ocurrencia de la misma.

En esta investigación las características evaluadas que reflejan esta propiedad son la alcalinidad, la dureza total, los contenidos de Ca^{2+} y Mg^{2-} . En estos aspectos se observa el comportamiento favorable en las características del

agua potable frente al intercambio iónico, debido a que existe un aumento de la alcalinidad, la dureza total, así como del Ca^{2+} y Mg^{2-} , esto sucede sin sobrepasar los niveles admisibles para el agua potable, para tener un conocimiento más completo se debe realizar análisis de Zn, Na y K en el agua, pues son elementos que intercambian.

- **Intercambio iónico del mortero de ZZ en el agua residual**

En el análisis de agua residual, no se tienen en cuenta parámetros que influyen más sobre el intercambio iónico, ya que no son requeridos para el control de la calidad de estas aguas.

La única característica evaluada que muestra claramente la existencia del intercambio iónico es la conductividad, esta tiene un comportamiento positivo manteniéndose en el rango normado. Representado una influencia de intercambio iónico

3.2 Influencia biocida del mortero de zeolita modificada con zinc

La acción biocida del mortero de ZZ se refleja mediante los resultados bacteriológicos obtenidos en el agua potable y agua residual. Los parámetros bacteriológicos evaluados fueron DQO, DBO_5 , coliformes totales, coliformes fecales y la presencia de E. coli.

Los resultados obtenidos en estos aspectos fueron muy alentadores por la gran disminución de los mismos, ya sea en el agua potable como en la residual, también se logró la eliminación total de la E. coli.

Estos resultados confirman la acción biocida del mortero de ZZ y su propiedad de regular la liberación de zinc por lo que sería importante haber realizado el análisis de este en el agua para observar si este se mantiene en estándares admisibles.

3.3 Mejora en la calidad del agua con el uso de morteros de zeolita modificada con zinc

En las Normas Cubanas de vertimiento de residual y de abasto de agua se expresan los niveles máximos admitidos para estas.

El mortero de ZZ muestra mejorar características del agua con respecto a los resultados obtenidos en un mortero de uso habitual. A continuación se muestra una descripción de estas características.

- **Mejora en la calidad del agua almacenada para consumo con el uso de morteros de zeolita modificada con zinc.**

Existen características del agua potable que muestran mejoras mediante el uso del mortero de ZZ con respecto al mortero normalmente usado para el recubrimiento interno en los depósitos de hormigón en nuestro país:

- Conductividad

Este parámetro se comportó de manera favorable ya que no sobrepasó los niveles establecidos por las NC y se aprecia que el mortero de ZZ logró mantenerlo más bajo que el mortero de uso frecuente.

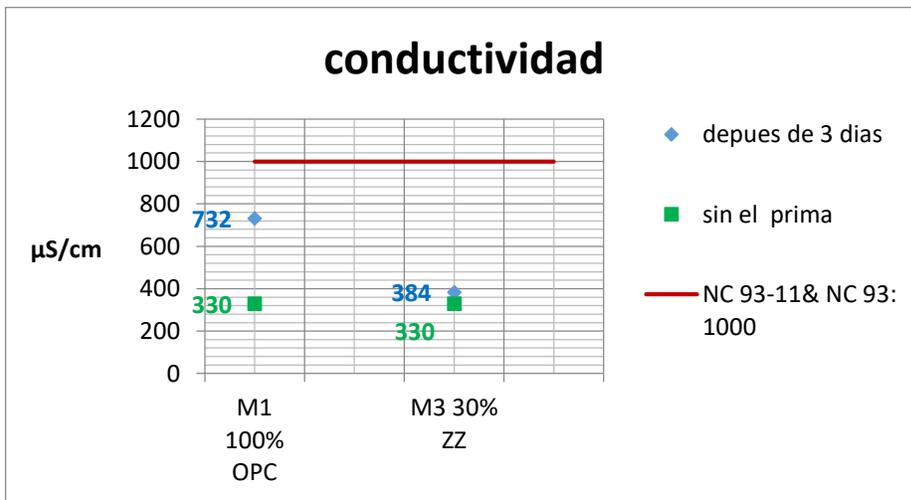


Figura 3.1 Conductividad(Braun, 2016)

Este resultado muestra la reducción de los metales y sales con respecto al mortero de uso frecuente.

- Cl

Como se expresa en la figura el Cl se logró retener por más tiempo en la muestra del mortero de ZZ que en el mortero de uso frecuente, esto es positivo teniendo

en cuenta las características biocidas de este, además los contenidos de Cl se mantuvieron muy por debajo de lo establecido en las NC.

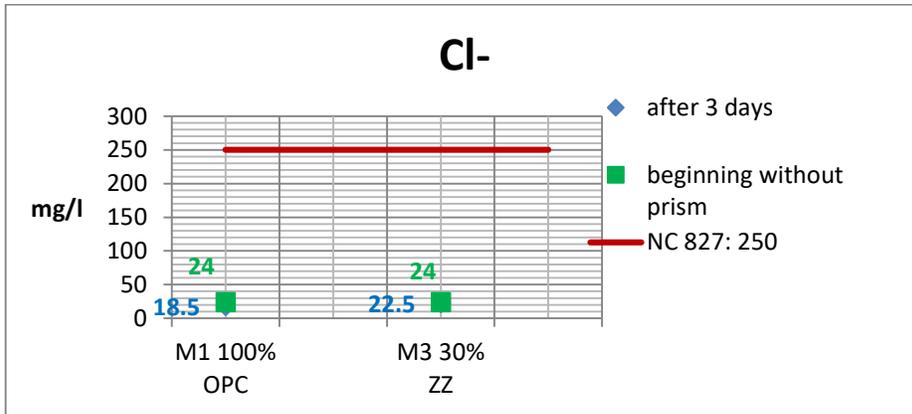


Figura 3.2 Contenido de Cl(Braun, 2016)

- Dureza total

Este parámetro se comportó de manera favorable al verse no solo por debajo de la norma sino que se redujo al transcurrir los tres días, también muestra un mejor comportamiento del mortero de ZZ con respecto al mortero de uso frecuente obteniéndose así un agua más blanda y más saludable.

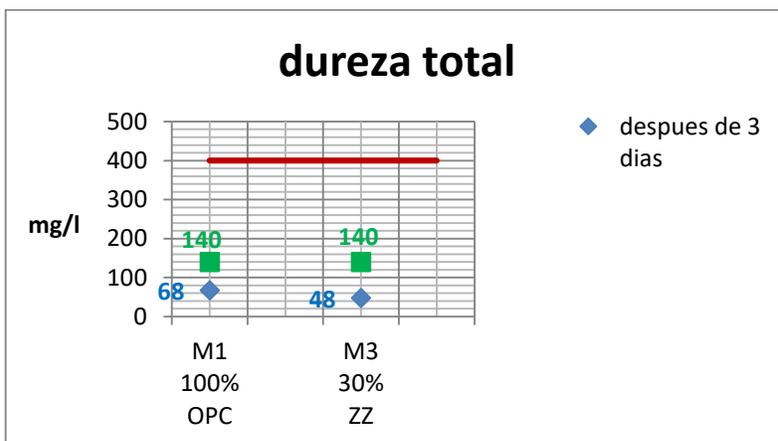


Figura 3.3 Dureza total (Braun, 2016)

- Alcalinidad

Después de tres días, la alcalinidad se incrementó con respecto al inicial pero no tanto como en el mortero de uso frecuente. Valor que se encuentra en un rango admisible. Este parámetro está estrechamente relacionado con el pH que como ya se había mencionado se incrementa tomando un valor mayor que el de la norma pero menor que el mortero de uso frecuente.

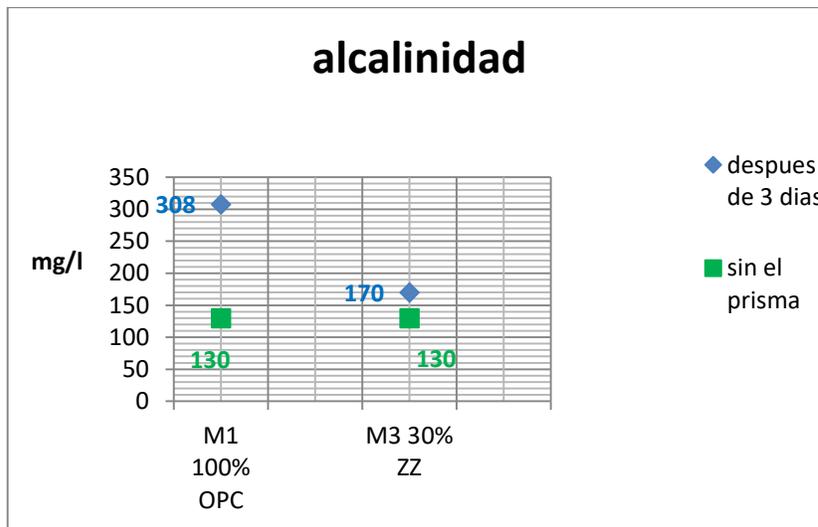


Figura 3.4: Alcalinidad(Braun, 2016)

Todos estos parámetros no solo se mantuvieron dentro de los rangos normados sino que muestran la mejoría del agua potable en contacto con el mortero de ZZ al verse que a los tres días los mismos mostraron menores valores que lo obtenidos para un mortero con 100% de PP-350.

El uso del mortero de ZZ en el revestimiento interior de depósitos de hormigón para el almacenamiento de agua potable traería como beneficio, el poder prolongar el tiempo del almacenamiento de agua en lugares con insuficiencias en el abasto, además nos permitiría consumir o utilizar en el hogar un agua de mejor calidad; previendo así el desmejoramiento de la salud humana y enfermedades de transmisión hídricas gracias a su acción biocida.

- **Mejora en la calidad del agua residual con el uso de morteros de zeolita modificada con zinc.**

Existen características del agua residual que muestran mejoras mediante el uso del mortero de ZZ con respecto al mortero normalmente usado para el recubrimiento interno en los depósitos de hormigón en nuestro país:

- Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica decreció en la muestra modificada después de tres días en comparación con el mortero de uso frecuente la de mayor resultado de 899 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en la modificada el más bajo de 683 $\mu\text{S}/\text{cm}$ según se muestra en la figura.

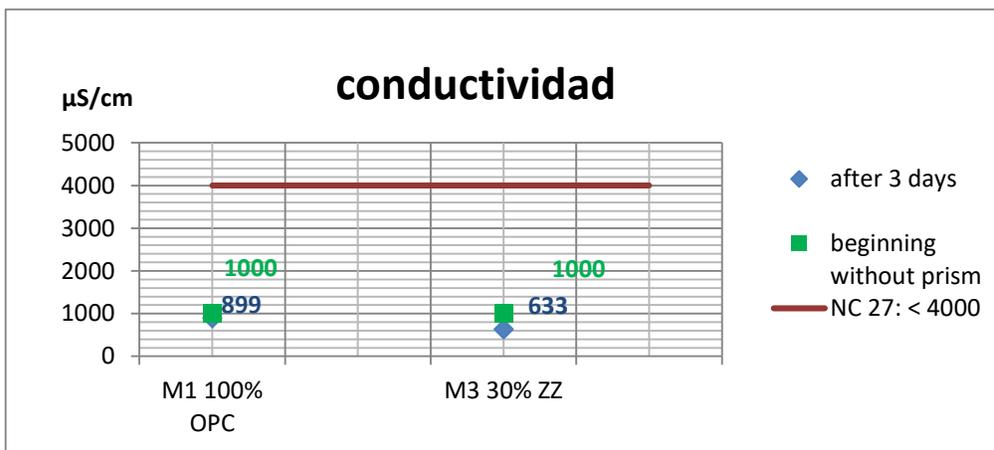


Figura 3.5 Conductividad en el agua residual(Braun, 2016)

- DQO y del DBO_5

Los valores de disminución del DQO y del DBO_5 son inferiores a los establecidos por la norma aunque no se aprecien diferencias notables entre el mortero de ZZ y el de uso habitual

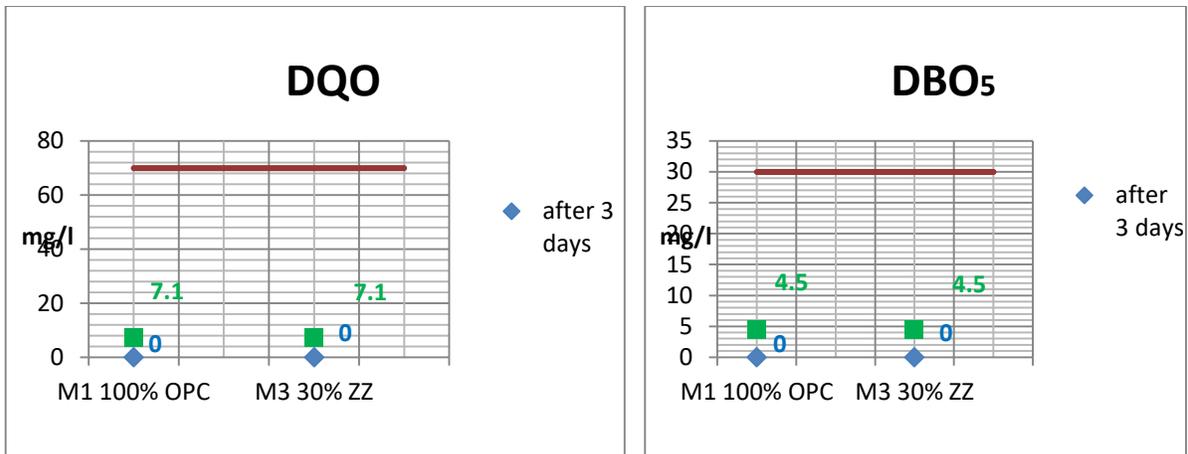


Figura 3.6 DQO y DBO₅ del agua residual(Braun, 2016)

- Coliformes totales y coliformes fecales

Los coliformes totales y coliformes fecales no solo se mantuvieron inferior a lo normado, también se puede apreciar que disminuyen con el tiempo ya que a los tres días se obtuvieron menores valores que los iniciales, pero no se nota una diferencia notable entre ambos morteros.

El tratamiento del agua residual expuesto al mortero modificado con zinc disminuye en alto grado los valores de los coliformes totales y fecales lo como se muestra en la figura(3.7).

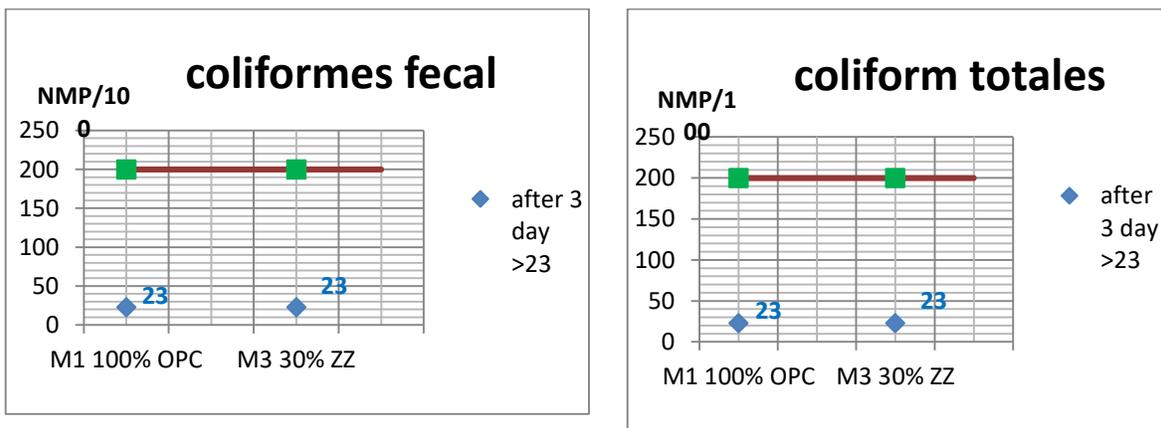


Figura 3.7 Coliformes fecales y totales del agua residual(Braun, 2016)

El uso del mortero de ZZ en depósitos de aguas residuales mejora las características físico químico de esta ya que disminuye, los coliformes fecales y los totales permitiendo que se puede reutilizar las aguas residuales con mejores características para el riego ya que estos valores son permisibles en las NC del agua para riego. La evacuación del agua residual en mejor calidad daña menos al medio ambiente, por otra parte estos niveles de contaminación no son logrados con los morteros tradicionales. Una mayor sanidad del agua residual trae consigo una mayor higiene y con el uso del mortero de ZZ se podrían disminuir las enfermedades de transmisión hídrica.

3.4 Área de mayor influencia del mortero de ZZ para un depósito real de agua potable.

Para calcular el área de mayor influencia del mortero de ZZ para un depósito de hormigón es necesario calcular los volúmenes de almacenamiento de este y a través del análisis del comportamiento de los mismos evaluar los volúmenes de agua que más tiempo se mantienen en el depósito.

El volumen de agua que se necesita para satisfacer el abasto a una vivienda compuesta por cinco personas, mediante el empleo de un tanque elevado siguiendo la norma cubana 53-91.1983 Norma de acueducto, se muestra a continuación.

Cálculo demanda de agua para una vivienda,

$$Q_{maxh} = \text{dot.} \times \text{pob.} \times K1 \times K2 = 130 \times 5 \times 1.65 \times 1.9$$

$$Q_{maxh} = 0,024 \text{ l/s}$$

Caudal de salida del tanque elevado para una vivienda,

$$Q_m = K \times \Sigma Q + Q_p = 0.447 \times 1.23 + 0$$

$$Q_m = 0,550 \text{ l/s}$$

Volumen de agua en el tanque elevado,

$$V_T = V1 + V2 + V3 = 180 + 400 + 320$$

$$V_T = 900 \text{ l}$$

$$V_T = 0.9 \text{ m}^3$$

Para el suministro de 900 l de agua al tanque se determina el caudal del bombeo, teniendo en cuenta de que existe consumo energético para mayores tiempos de bombeo, se considera el cálculo para 30 minutos de bombeo.

$$Q_B = (V_2 + V_3) / 30 \text{ min} = (400 + 320) \text{ l} / 1800 \text{ s}$$

$$Q_B = 0.400 \text{ l/s}$$

Reserva para emergencias por incendios

$$V_1 = 0.2 \times V_T = 0.2 \times 900 \text{ l}$$

$$V_1 = 180 \text{ l}$$

Tiempo de consumo,

$$T_c = (V_2 + V_3) / Q_{\text{maxd}} = (400 + 320) \text{ l} / 44,69 \text{ l/h}$$

$$T_c = 16,11 \text{ h}$$

El tiempo de consumo obtenido, está en estrecha relación con la cantidad de bombas a colocar y la frecuencia de las mismas, como es para una vivienda no es significativo poner más de una bomba ya que realizando el cálculo correcto de la selección de la bomba nos permite determinar que se debe colocar la bomba con una frecuencia aproximada de dos veces en el día.

Para lo anterior se recomienda utilizar bombas centrifugas de más de 3000 rpm, las que serían capaces de entregar un caudal pequeño con un menor consumo de energía y en un tiempo corto.

La idea del proyecto es usar el mortero de ZZ como un enlucido biocida para un depósito de agua. Por lo tanto para recibir una aproximación a las dimensiones reales, se realizó un cálculo para un depósito de agua real.

3.61 Cálculo del área de mayor influencia del mortero de ZZ para un depósito real de agua

Si tomamos en cuenta que vamos a dimensionar un depósito cilíndrico y tenemos como radio estándar de 0.5 a 1m y tomamos 0.5m y una altura de 1.15m se procede a determinar el volumen del mismo.

$$A = \pi d^2 / 4$$

$$V = A \times h$$

$$A = 3.14 \times 1^2 / 4$$

$$V = 0.785 \times 1.15$$

$$A = 0.785 \text{ m}^2$$

$$V = 0.90275 \text{ m}^3$$

Donde:

A - es el área de la base del cilindro

V - es el volumen del cilindro

El volumen real del depósito es de $V = 902.75\text{l}$

Si se parte de la idea que para que se produzca el intercambio iónico es necesario un tiempo mínimo de contacto, no sería necesario revestir todo el interior del depósito sería más económico determinar el área del depósito que se encuentre en contacto con el agua el mayor tiempo.

Los volúmenes V_2 , V_3 serán generalmente consumidos en un periodo de tiempo determinado por lo que se tomará V_1 , ya que la reserva contra incendios solo se usará en casos excepcionales.

$$V_1 = 0.18\text{m}^3$$

- Cálculo de la altura

$$V = A \times h$$

$$0.18 / 0.785 = h$$

$$h = 0.23\text{ m}$$

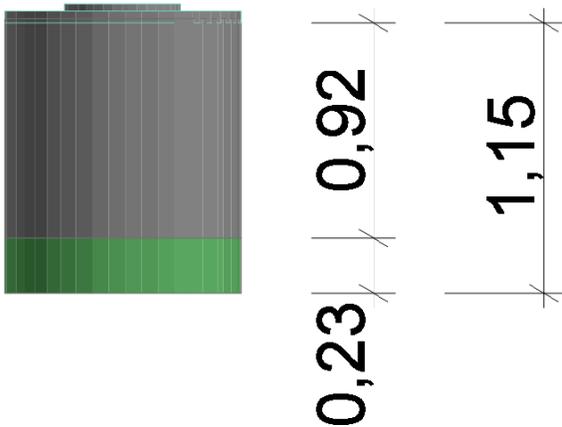


Figura 3.8 altura de el volumen de agua correspondiente al volumen contra incendios.

- Cálculo de el área lateral

$$Al = P \times h$$

$$P = \pi \times r$$

$$Al = 1.57 \times 0.23$$

$$P = \pi \times 0.5$$

$$Al = 0.361 \text{ m}^2$$

$$P = 1.57 \text{ m}$$

Donde:

Al - es el área lateral del cilindro

P - es el perímetro de la circunferencia

h - es la altura

r - radio

- Cálculo de el área del fondo

$$A = \pi d^2 / 4$$

$$A = 3.14 \times 1^2 / 4$$

$$A = 0.785 \text{ m}^2$$

- Cálculo del área de mayor influencia del mortero de ZZ

$$At = A + Al$$

$$At = 0.785 + 0.361$$

$$At = 1.15 \text{ m}^2$$

El área de mayor influencia del mortero de ZZ es de $A = 1.015 \text{ m}^2$

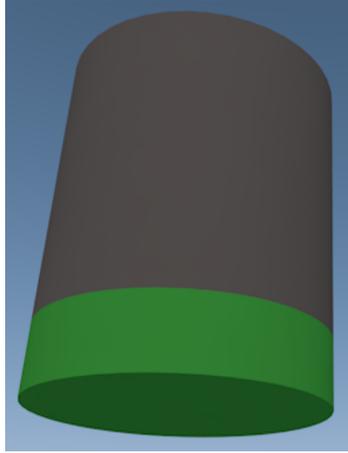


Figura 3.9 El área de mayor influencia de el mortero de ZZ

Conclusiones

Al evaluar los resultados del comportamiento de las características químicas y bacteriológicas del agua potable y el agua residual al entrar en contacto con el mortero de zeolita modificada con zinc se arriba a las siguientes conclusiones:

1. El mortero de ZZ muestra un buen resultado en la calidad del agua potable, lo cual permite varias aplicaciones para el consumo de esta.
2. Se muestra buen resultado en la calidad del agua residual con el uso del mortero de ZZ, lo cual permite un impacto menos agresivo en su vertimiento al medio ambiente.
3. La calidad del agua residual en contacto con morteros de ZZ, brinda un mejor reúso de estas aguas para el riego.
4. El mortero de ZZ muestra buenos resultados en la acción biocida frente al agua potable y residual, lo cual muestra una buena aplicación en aguas contaminadas.
5. Se muestra el área de contacto de mejor funcionamiento, para el beneficio de la calidad del agua potable, en el tanque de abasto para una vivienda.

Recomendaciones

1. Se recomienda que en trabajos posteriores se estudie la forma de disminuir los valores de PH, que se muestran con un ligero incremento con respecto a la norma de agua para consumo.
2. Se deben realizar estudios del comportamiento de la calidad del agua, en su reacción con morteros de ZZ, para diferentes tiempos, lo cual permitiría observar mejor la calidad del agua en diferentes usos.
3. Además, para hacer declaraciones definitivas cuando ocurre un intercambio iónico, es esencial para medir otros parámetros como el Zn, Na y K.

Bibliografía

1. 1508, N. U. 2010. Abastecimiento de agua. Requisitos para sistemas y componentes para el almacenamiento de agua. Comunidad Europea.
2. ADILSON CURI , J. V. G., M.LIMA HERNANI Y WILSON T. SOUSA 2012. Las Zeolitas y su Aplicación en la Descontaminación de Efluentes Mineros *Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas, .*
3. AGÜERO, R. 2004. GUÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE RESERVORIOS APOYADOS. Lima Perú: Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
4. ARBOLAEZ, D. M. 2017. La zeolita modificada con zinc en depósitos de hormigón, para controlar la calidad del agua. *Convención Científica Internacional 2017, CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS* Cuba: Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas
5. AUTORES, C. D. 1996. *Ingeniería Hidráulica*, España, Imprenta Sichert.
6. BRAUN, M. 2016. *Impact of modified Zeolite on the quality of water stored in concrete containers*. University of Applied Sciences.
7. GERARDOFUENTES RODRÍGUEZ, I. R. I., AURELIO BOZA, ANAISA PÉREZ, BÁRBARA CEDRÉ, LAURA BRAVO-FARIÑAS, ANIRAN RUIZ, ANABEL FERNÁNDEZ-ABREU, AND VÍCTOR SENDE ODOARDO. 2014. *Evaluation of a Zinc Clinoptilolite (ZZ®) for Drinking water Treatment*, USA CRC Press, Taylor & Francis Group.
8. LENTECH, P. E. 2010. Aplicaciones de las Zeolitas. *Lenntech*, 4.
9. LIANA PERDOMO LÓPEZ, Z. W. A., 2 DANIA MONTERO GARNACHE,3 ANTONIO IRAIZOZ COLARTE,4 GERARDO RODRÍGUEZ FUENTES 1999. EVALUACIÓN DE UNA ZEOLITA NATURAL MODIFICADA Y DECOLORADA COMO ANTIMICROBIANO. *Rev Cubana Farm* 1999, 33, 183.
10. LTDA, G. 2009. ZEOLITAS Alternativa de Eficiencia y Ecología. *Ecoterra inc*, resumido.
11. MARTHA VELÁZQUEZ GARRIDO, E. A. O., MOISÉS HUERTEMENDIA MARÍN, FÁTIMA BUGALLO DAVIS, JOSÉ A, ALONSO, MARITZA CORTES, BELKIS RODRÍGUEZ Y DAYANA PUENTE ARIAS 2011. PRODUCTOS PERSPECTIVOS DESARROLLADOS A PARTIR DE MATERIALES POROSOS NATURALES CUBANOS EN TRATAMIENTO DE AGUA Y AGUAS RESIDUALES. *IV CONGRESO CUBANO DE MINERIA (MINERIA 2011) V Taller de zeolitas naturales, usos y aplicaciones*.
12. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (NC) CALLE E NO. 261 VEDADO, C. D. L. H. 1999. VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A LAS AGUAS TERRESTRES Y AL ALCANTARILLADO. ESPECIFICACIONES. Cuba.
13. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (NC) CALLE E NO. 261 VEDADO, C. D. L. H. 2012a. Agua Potable-Requisitos Necesarios. Cuba.

14. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (NC) CALLE E NO. 261 VEDADO, C. D. L. H. 2012b. AGUA POTABLE — REQUISITOS SANITARIOS. Cuba: Oficina Nacional de Normalización (NC)
15. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (NC) CALLE E NO. 261 VEDADO, C. D. L. H. 2012c. VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A LA ZONA COSTERA Y AGUAS MARINAS — ESPECIFICACIONES. Cuba: Oficina Nacional de Normalización (NC)
16. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (NC) CALLE E NO. 261 VEDADO, C. D. L. H. 2014. CALIDAD DEL AGUA PARA PRESERVAR EL SUELO — ESPECIFICACIONES. Cuba: Oficina Nacional de Normalización (NC)
17. OLLERO, R. D. 2015. *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas para poblaciones entre 20 Y 25 mil habitantes*. Universidad Carlos III de Madrid.
18. OÑA, B. R. 2010. Depósitos para riego.
19. REINOSO, J. M. 2010. *ESTUDIO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE DEL CANTÓN GUALAQUIZA*. MAESTRIA EN GESTIÓN AMBIENTAL PARA INDUSTRIAS DE PRODUCCIÓN Y SERVICIOS, UNIVERSIDAD DE CUENCA.
20. RODRÍGUEZ-FUENTES, G. 2004a. CHARACTERIZATION OF ZZ A Zn²⁺ CLINOPTILOLITE *Studies in Surface Science and Catalysis* Volume 154 C.
21. RODRÍGUEZ-FUENTES, G. 2004b. SISTEMAS DE PURIFICACIÓN DE AGUA ZZ DE BAJO COSTO Y ALTA EFECTIVIDAD, BASADOS EN LA ZEOLITA NATURAL PURIFICADA Y MODIFICADA. *SISTEMAS DE PURIFICACIÓN DE AGUA ZZ DE BAJO COSTO Y ALTA EFECTIVIDAD, BASADOS EN LA ZEOLITA NATURAL PURIFICADA Y MODIFICADA*. Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE) Universidad de La Habana.
22. TRAXCO, S. A. 2015. Obstrucción del riego por algas *Tecnología de riego*.