



*Tendencias en el tratamiento  
Integral de Aguas Residuales*

# Congreso Internacional Ambiental Manizales

## “Tendencias en el tratamiento integral de aguas residuales”

**Manizales, septiembre 18 - 21 de 2017**



Centro para la  
Formación Cafetera  
SENA Regional Caldas



Instituto de Estudios Ambientales IDEA  
Sede Manizales



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE COLOMBIA



Universidad<sup>®</sup>  
Católica  
de Manizales



# **Diseño y evaluación de un sistema de tratamiento piloto para las aguas residuales provenientes de la construcción del sector inmobiliario privado en la ciudad de Manizales**

**Claudia Patricia Cruz Henao**

**Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

**Director (a): Nelson Rodríguez Valencia  
Ingeniero Químico. Dr. en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente**

**Línea de Investigación  
Biosistemas integrados**

**2015**



**UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES**

**40 años**  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# Problema de Investigación

La presente tesis busca cuantificar y caracterizar las aguas residuales provenientes de la construcción en el sector inmobiliario privado y comparar los contenidos de contaminantes con los valores máximos permisibles es a resolución 631 del 2015 y de no cumplir con estos valores diseñar y evaluar un sistema de tratamiento que permita cumplir con la norma. Las aguas residuales provenientes del sector en mención van normalmente a los alcantarillados, mezclándose con las aguas residuales domésticas y del sector industrial; por tal motivo no hay datos de caracterización de estas aguas particulares.



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40  
años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

En el caso de Manizales al igual que muchas ciudades en Colombia no se cuenta con una planta de tratamiento de las aguas residuales. Por lo anterior se considera el presente trabajo oportuno e innovador ya que contribuye con la caracterización de los vertimientos provenientes del sector de la construcción. En aquellas ciudades donde hay plantas de tratamiento se utilizan métodos biológicos sin conocer si estos son los apropiados para el tratamiento de las aguas del sector de la construcción.

De acuerdo con esta problemática, de déficit en el número de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales, es necesario realizar investigaciones tendientes a caracterizar los vertimientos generados por los diferentes sectores productivos y diseñar sistemas de tratamiento que permitan cumplir con los estándares normativos.



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40  
años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# Objetivos

## Objetivo General

- Diseñar y evaluar a escala piloto un sistema para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la construcción - sector inmobiliario privado en la ciudad de Manizales.



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES



# Objetivos Específicos

- Cuantificar la cantidad de agua residual generada que se utiliza por  $m^3$  de Concreto.
- Caracterizar físico-químicamente y microbiológicamente las aguas residuales provenientes de la construcción sector inmobiliario privado en la ciudad de Manizales.
- Determinar los componentes de un sistema de tratamiento para las aguas residuales provenientes de la construcción - sector inmobiliario privado en la ciudad de Manizales.
- Evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento propuesto en la remoción de parámetros de interés (SST, DQO, etc.) provenientes de la construcción sector inmobiliario privado en la ciudad de Manizales.



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40  
años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# Hipótesis de Trabajo

1. Los procesos que se utilizan en el tratamiento de las aguas residuales domésticas no se pueden utilizar para las aguas residuales provenientes de la construcción del sector inmobiliario.
2. Un sistema de tratamiento para las aguas residuales provenientes de la construcción del sector inmobiliario basado en operaciones fisicoquímicas permite alcanzar los estándares de calidad exigidos por la normativa ambiental



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40  
años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# Pregunta de Investigación

Después de conocer la composición de las aguas residuales provenientes del sector inmobiliario privado de la ciudad de Manizales mediante su caracterización, ¿cuál es el sistema de tratamiento apropiado para la depuración de estas aguas Residuales?



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40  
años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# Metodología



Así empezó esta historia, ver imágenes (nivel de contaminación y la cantidad de agua usada) Fuente: archivo personal



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES



# Metodología



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40  
años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# TOMA DE MUESTRAS

- En la obra objeto de estudio se fabricaron concretos de 3000psi con cemento Argos y material de cantera, se usó como desmoldante ACPM y Aceite quemado, de allí se generaron las aguas residuales para caracterización.
- Se recolectaron dichas aguas en recipientes plásticos previamente desinfectados y el mismo día se llevaban a Cenicafé para ser caracterizadas.
- Los métodos usados en el laboratorio fueron las condensadas en el Standard Métodos. (APHA, AWWA, WPCF, 1992).



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40  
años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# Metodología



La recolección inicial de las aguas se hizo directamente en la obra objeto de estudio. [archivo personal](#)



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40 años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# Metodología



La recolección inicial de las aguas se hizo directamente en la obra objeto de estudio. archivo personal



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40 años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# Metodología

- Para la experimentación definitiva se construyó un piloto de muro con tableros de formaleta metálica de 1,2m de alto 0,6m de ancho, por 0,1m de espesor ( $V= 0,072 \text{ m}^3$ ).
- Una vez determinadas las características fisicoquímicas y microbiológicas de las muestras de agua residual provenientes de la construcción, se realizó un micropiloto de muro con tableros de formaleta de madera de 0,3 m de alto 0,15m de ancho, por 0,05 m de espesor ( $V=0,0022\text{m}^3$ ), con el fin de obtener suficiente agua residual para las pruebas de tratabilidad y para el piloto de planta de tratamiento.



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40  
años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# TOMA DE MUESTRAS



Con el mismo tipo de formaleta usada en realidad en la obra se hizo un piloto para la recolección del agua residual. archivo personal



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES



# TOMA DE MUESTRAS



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40  
años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# TOMA DE MUESTRAS



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40 años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# Diseño del Sistema de tratamiento



- Pruebas de tratabilidad para eliminación de dureza, pH y la turbiedad



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40 años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# Diseño del Sistema de tratamiento



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40 años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# Diseño del Sistema de tratamiento



- **Tratamiento Primario:** El agua residual generada se sometió a dos procesos físicos (sedimentación y desnatado)



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40 años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# Diseño del Sistema de tratamiento



- **Tratamiento Secundario:** se realizaron dos tratamientos químicos (Precipitación y Acidificación).



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40 años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# Diseño del Sistema de tratamiento



- **Tratamiento terciario:** Finalmente el agua ablandada y acidificada se pasó por un sistema de filtración que contenía grava, arena y carbón activado

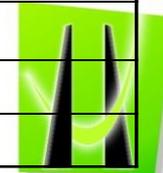


UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40 años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# Resultados y Discusión

Porcentaje de agua residual generada en el vaciado de muros a partir de 150 Litros/m <sup>3</sup> de muro			
Evaluaciones	Agua utilizada	Agua Residual obtenida	Agua residual generada (%)
1	11	8,36	76
2		7,04	64
3		8,03	73
4		7,48	68
5		7,59	69
6		7,15	65
7		8,14	74
8		7,37	67
9		7,92	72
10		8,14	74
Promedio		7,72	71
CV (%)		5,92	5,94



# Resultados y Discusión

Valores promedio de los diez muestreos realizados en la caracterización de las aguas residuales provenientes del sector de la construcción.

	Unidades de pH	Temperatura (°C)	Conductividad Eléctrica (mS/cm)	DQO (ppm)	Turbidez (FTU)	Unidades Pt- Color	Dureza (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Alcalinidad (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Sólidos Totales (ppm)	Sólidos Suspendedos (ppm)	Sólidos Sedimentables (m/L)	Coliformes Totales (UFC/100ml)	Coliformes Fecales (UFC/100ml)
Valor del parámetro	12,35	20,8	7,98	216	45	151	4716	3298	5430	344	332	2200	6
Desviación Estándar	0,11	0,74	0,91	20,67	10,3	32,4	362	308	514	24,71	47,3	537	3,63
Coefficiente de Variación (%)	0,91	3,55	11,4	9,57	23,1	21,5	7,67	9,34	9,46	7,19	14,3	24,3	64,8
valores resolución 631 de 2015 (vertim. Cuerpos de agua)	6 a 9	40		150						50	1		
valores resolución 631 de 2015 (vertim. A alcantarillado)	5 a 9	40		225						75	1,5		
Decreto 1594 de 1984 (Suelos)	5 a 9	40		remosion > al 80%						remosion > al 80%			
valores resolución 2115 de 2007 (agua para abastecimiento)	6,5 a 9				2	15	300	200			1		

# Resultados y Discusión

**Resultados prueba de tratabilidad para eliminación de dureza a partir de una muestra con una dureza de 4220 mgCaCO<sub>3</sub>/L (valor experimental obtenido de la realización del micropiloto)**

Gramos de NaCO <sub>3</sub> / 100 ml de muestra	Dureza(mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Promedio	Desviación	CV (%)
0,05 g	1318	1324	18	1
	1309			
	1344			
0,10 g	769	780	13	2
	777			
	794			
0,15 g	308	274	30	11
	250			
	263			
0,20 g	34	34	1	2
	35			
	34			
0,25 g	22	19	2	12
	18			
	18			

El valor recomendado es de 1,5 gramos de carbonato de sodio por litro de agua residual, se logra bajar la dureza a menos de 300 mgCaCO<sub>3</sub>/L, valor referido que debe tener el agua para abastecimiento.



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40 años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# Resultados y Discusión

**Resultados Prueba de tratabilidad para eliminación de alcalinidad a partir de una muestra con una alcalinidad de 3389 mgCaCO<sub>3</sub>/L y un pH de 12,45 (valores experimentales obtenidos de la realización del micropiloto).**

pH Final	Ácido sulfúrico 0,5 N agregado (ml/100 ml)	Promedio ácido agregado	Alcalinidad mgCaCO <sub>3</sub> /L	Promedio alcalinidad mgCaCO <sub>3</sub> /L
9	2,12	2,11	914	924
	2,10		919	
	2,10		938	
7,5	2,18	2,21	499	499
	2,20		498	
	2,24		501	
7	2,45	2,37	408	412
	2,35		427	
	2,30		400	
6,5	3,10	3,10	236	237
	3,11		228	
	3,10		247	
6	3,14	3,15	181	180
	3,15		198	
	3,17		162	
5,5	3,36	3,37	85	86
	3,40		93	
	3,34		81	

El valor recomendado es de 31,5 ml de ácido sulfúrico por litro de agua residual se logra bajar la alcalinidad por debajo de 200 mgCaCO<sub>3</sub>/L, valor referido que debe tener el agua para abastecimiento.



# Resultados y Discusión

**Evaluación del tiempo de retención en el tratamiento de ablandamiento, a partir de una muestra con una turbiedad de 50 FTU (valor experimental obtenido de la realización del micropiloto)**

Ensayo	Tiempos de retención			
	3 horas	6 horas	24 horas	30 horas
1	10	7	5	5
2	26	14	8	8
3	40	22	10	10
<b>Promedio</b>	25	14	8	8

después de 24 horas de retenida la muestra de agua residual tratada el valor de la turbiedad permanece constante significado que no hay más sedimentación del material generado.



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40 años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# Resultados y Discusión

**Tiempos máximos de retención de los sólidos sedimentables.**

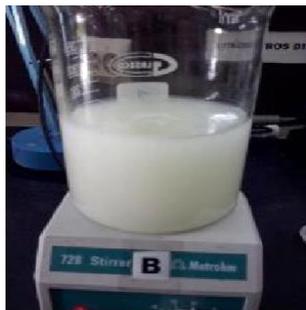
Evaluaciones	Tiempo en el cual se presentaba el endurecimiento (min)
1	14
2	15
3	16
4	16
5	14
6	15
7	16
8	16
9	15
10	17
Promedio	15,4
CV (%)	6,27

Concluyó que los sólidos sedimentables deben ser retirados de la unidad de sedimentación antes de que transcurran los primeros 15 minutos con el fin de que la mezcla pueda fluir y ser retirada de la unidad de sedimentación a través del dispositivo de descarga.



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40 años  
construyendo una  
sociedad  
razonable



# Resultados y Discusión



Características del agua residual sin tratar y tratada partir de una muestra obtenida de la realización del micropiloto.

	pH(Un-pH)	Temperatura (°C)	DQO(ppm)	Turbidez(FT U)	Color Real(Un-Pt-Co)	Dureza(mgCa CO3/L)	Alcalinidad(mgCaCO3/L)	Sólidos Totales(ppm)	Sólidos Suspendidos(ppm)
Agua sin tratar	12,45	22,5	260	50	155	4220	3389	4876	372
Agua Tratada (Promedio 3 ensayos)	7,7	22,4	49	3	5	20	397	88	23
Remocion (%)			85,15	94	96,77	99,53	88,29	98,2	93,82
valores resolucion 631 de 2015 (vertim. Cuerpos de agua)	6 a 9	40	150						50
valores resolucion 631 de 2015 (vertim. A alcantarillado)	5 a 9	40	225						75
Decreto 1595 de 1984 (Suelos)	5 a 9	40	remosion > al 80%						remosion > al 80%
valores resolucion 2115 de 2007 (agua para abastecimiento)	6,5 a 9			2	15	300	200		1

## Resultados y Discusión

- Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten aceptar la hipótesis número 1 —Los procesos que se utilizan en el tratamiento de las aguas residuales domésticas no se pueden utilizar para las aguas residuales provenientes de la construcción del sector inmobiliario dado que las características de las aguas residuales no permiten la utilización de tratamientos biológicos lo que sí sucede para el caso de las aguas residuales domésticas donde se utilizan tratamientos biológicos aeróbicos o anaeróbicos.



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES



# Resultados y Discusión

- Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten aceptar la hipótesis número 2 —Un sistema de tratamiento para las aguas residuales provenientes de la construcción del sector inmobiliario basado en operaciones fisicoquímicas permite alcanzar los estándares de calidad exigidos por la normativa ambiental dado que la utilización de sedimentadores, tanques de precipitación química, de neutralización y filtración permitieron remover los contaminantes evaluados a valores por debajo de los máximos permisibles exigidos por la normativa ambiental vigente; resolución 631 de 2015.



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40  
años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# Conclusiones y Recomendaciones

- La presente investigación permitió determinar que se utilizan aproximadamente  $150 \text{ L/ m}^3$  de muro vaciado de los cuales el 71% quedan en forma residual.
- Las caracterizaciones de las aguas residuales provenientes del vaciado de muros permitieron determinar, que estas presentan valores de pH, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos y DQO por encima de lo que establece la norma para vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales.
- Utilizando como referencia la norma de calidad de agua potable, las aguas residuales provenientes del vaciado de muros presentan valores altos de pH, conductividad eléctrica, turbiedad, color, dureza y alcalinidad.



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40  
años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# Conclusiones y Recomendaciones

- Con el fin de cumplir con la normativa ambiental vigente para vertimientos puntuales y favorecer el reúso de las aguas provenientes del sector inmobiliario es necesario realizar un tratamiento a las aguas residuales generadas en este sector.
- El tratamiento apropiado para las aguas residuales provenientes del sector inmobiliario involucra operaciones físicas y químicas y no biológicas, dada la alta presencia de carbonatos en las mismas.
- El tratamiento adecuado para las aguas residuales provenientes del sector inmobiliario involucra un tratamiento primario (sedimentador), un tratamiento secundario (ablandamiento), un tratamiento terciario (neutralización y filtración).



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40  
años  
construyendo una  
sociedad  
razonable

# Conclusiones y Recomendaciones

- La planta piloto de tratamiento evaluada permitió una remoción del 81,15% de la DQO, el 88,29% de la alcalinidad, el 93,82% de los sólidos suspendidos, 94,00% de la turbidez, 96,77% del color, 98,20% de los sólidos totales y 99,53% de la dureza, permitiendo cumplir con lo exigido por la normativa ambiental vigente y por la próxima a emitirse.
- Se recomiendan estudios posteriores encaminados a encontrar estrategias que permitan optimizar el consumo de agua en el sector inmobiliario .



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

40  
años  
construyendo una  
sociedad  
razonable