



# **INFORME DE RESULTADOS ESTUDIO DE TRATABILIDAD PARA EL SISTEMA DE AGUA DE LAS VEGAS, SANTA BÁRBARA.**

**Elaborado por: Ing. Lizeira Polanco**

**Septiembre -2007**

## **INFORME DE RESULTADOS SOBRE ESTUDIO DE TRATABILIDAD PARA EL SISTEMA DE AGUA DE LAS VEGAS, SANTA BÁRBARA.**

### **I. ANTECEDENTES**

La Gerencia General del SANAA recibió la solicitud de la Alcaldía de Las Vegas Santa Bárbara para evaluar la necesidad de contar con una planta potabilizadora que redujera la cantidad de incrustaciones presentes en la tubería de la red de distribución de dicho sistema de agua potable.

### **II. DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS**

Por lo anterior se realizaron varias visitas con el objetivo de hacer un reconocimiento de las fuentes, y para recolectar muestras para análisis fisicoquímico y bacteriológico en diferentes meses. En el cuadro a continuación se describen globalmente los resultados:

<b>No.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Fuente</b>	<b>Resultado</b>
1	9 Mayo 2006	Piedras Amarillas Montevideo Nuevo Lempira	Los parámetros tales como Turbiedad, Color, pH, Conductividad, Calcio, Magnesio, Dureza, Sulfatos se encuentran dentro de los valores permitidos en las 3 fuentes. Piedras Amarillas y Montevideo presentan contaminación por Coliformes Totales y Nuevo Lempira por Coliformes Fecales.
4	20 de Septiembre 2006	Piedras Amarillas Montevideo Nuevo Lempira	En el orden Fisicoquímico se mantuvieron las mismas condiciones en los parámetros analizados. Todas Presentan Coliformes Totales, y Piedras Amarillas y Montevideo Coliformes Fecales.
	24 Mayo 2007	Piedras Amarillas Montevideo Nuevo Lempira	Se realizaron análisis especializados para determinación de metales pesados encontrándose fuera de Norma los parámetros tales como Arsénico, Cadmio, Plomo y Selenio en Piedras Amarillas. Montevideo no presenta Arsénico pero si Níquel y los anteriormente mencionados, y Nuevo Lempira presenta Aluminio. Se volvieron a encontrar Coliformes totales están fuera de Norma en todas las fuentes
	16 Agosto 2007	Piedras Amarillas Montevideo Nuevo Lempira	Se repitieron los análisis especializados para determinación de metales pesados encontrándose solamente presencia de Aluminio en las 3 Fuentes. Los parámetros tales como Turbiedad, Color, pH, conductividad, Calcio, Magnesio, Dureza, Sulfatos se encuentran dentro de los valores permitidos en las 3 fuentes.

También se realizaron pruebas para determinar si el agua tiene carácter incrustante esto en vista del aspecto de la Tubería presentada. Se determinó el Índice de Langelier (IL)

en la Fuente de Piedras Amarillas que según informaciones de los Operadores del Sistema (Alcalde y Jefe del Acueducto) es la que produce la incrustación. El Índice de Langelier se establece para una temperatura determinada y mide el estado de equilibrio del agua en relación con su carácter incrustante o corrosivo. Debido a ello, cuando el Índice tenga un valor negativo se tratará de un agua con tendencia corrosiva. En cambio, para valores del Índice de Langelier positivos el agua tendrá una tendencia incrustante provocando la deposición de carbonato cálcico. **Si el Índice de Langelier (IL) es positivo, el carbonato de calcio puede precipitar y formar escamas ó “sarro” en el recipiente o tubería de agua.**

Los resultados obtenidos para la Fuente de Piedras realizado en el muestreo del mes de agosto de 2007 indican lo siguiente:

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
pH		8.18
C.E	μS/cm	280
TDS	mg/L	179
Ca <sup>+2</sup>	mg/L	52.2
Ca <sup>+2</sup>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	130.50
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	169.63
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	0
*Alcalinidad	mg/L CaCO <sub>3</sub>	139.0
A		0.13
B		2.01
C		1.72
D		2.14
phsaturación		7.57
pHeq		7.81
T <sup>a</sup>	° C	19
<b>Langelier (LSI)</b>		<b>0.6</b>

La interpretación de los resultados se realizó de acuerdo a la caracterización siguiente:

- Si IL = 0, agua en equilibrio químico,
- Si IL < 0, agua con tendencia a ser corrosiva,
- Si IL > 0, agua con tendencia incrustante;

Por lo tanto se puede asumir que el agua de Piedras Amarillas es de tendencia INCRUSTANTE.

### **III. RESULTADOS OBTENIDOS**

Una iniciada la caracterización de las Fuentes de acuerdo a los resultados preliminares y habiendo determinado la tendencia incrustante del agua de Piedras Amarillas, se trasladó equipo de laboratorio para realizar en el sitio diversas pruebas y con el objetivo de determinar parámetros óptimos de coagulación, floculación y Dosis Optima de coagulantes y floculantes y así determinar si el agua sigue manteniendo su naturaleza incrustante después de haber sido sometida a un proceso de potabilización convencional.

Una planta potabilizadora con tratamiento convencional debe ser diseñada acorde a la calidad del agua y a condiciones propias del sistema y consta de los siguientes procesos de **Coagulación, Floculación, Decantación, Filtración y Desinfección.**

#### **SELECCIÓN DE PARAMETROS OPTIMOS DE LOS PROCESOS**

**La determinación de los parámetros de los procesos mediante simulación en el laboratorio es necesaria para determinar las dimensiones de las unidades de la planta, se ha demostrado que para cada tipo de agua existen parámetros de diseño específicos que optimizan los procesos y producen la máxima eficiencia remocional;** en el proceso de **coagulación** la dosis optima varia en función del pH y de la concentración de coloides presentes en el agua cruda; en la **floculación** existe un tiempo de retención mínimo, que corresponde a un determinado valor de gradiente de velocidad .

#### **COAGULACION**

La coagulación se lleva a cabo generalmente con la adición de sales de aluminio y consiste en la remoción de impurezas. Este proceso es resultado de dos fenómenos:

- El primero, esencialmente químico, consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva. Este proceso depende de la concentración del coagulante y el pH final de la mezcla.
- El segundo, fundamentalmente físico, consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua.

#### **FLOCULACION**

El objetivo principal de la floculación es reunir las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimenten con mayor eficiencia. Al dispersarse el coagulante en la masa de agua y desestabilizarse las partículas se necesitará una agitación relativamente lenta para que las partículas choquen entre sí, se aglomeren y formen otras de mayor tamaño denominadas flóculos; ya que estas pueden ser removidas con mayor eficiencia por los procesos de sedimentación y filtración.

## **SEDIMENTACION**

Se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. La remoción de partículas en suspensión puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios.

La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido resuspendidas y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior.

## **EQUIPO UTILIZADO**

### **Equipo de Prueba de Jarras**

Con la prueba de jarras se **trata de reproducir las condiciones en las cuales se desarrollan los procesos de floculación y sedimentación en la planta potabilizadora.**

Este equipo consta de los siguientes elementos:

- Un agitador mecánico provisto con tres a seis paletas, capaz de operar a velocidades variables (de 0 a 300 revoluciones por minuto).
- Un iluminador de flóculos localizado en base del agitador del equipo.
- Vasos de precipitado de 2 litros de capacidad, de cristal refractario.

La variable que más importancia tiene en la prueba de jarras es la intensidad de agitación expresada como gradiente de movimiento del agua. Se utilizan paletas accionados en forma mecánica.

### **Turbidímetro**

La medición de la turbiedad del agua se considera como el parámetro más importante para caracterizar los procesos. La medición de la turbiedad se logra mediante el uso de un Turbidímetro convencional que mide la intensidad de la luz que pasa a través de una muestra de agua o la intensidad de la luz que es dispersada por las partículas en suspensión que están presentes en la muestra, generalmente desde una dirección situada a 90° de la dirección original del haz de luz.

### **Medidor de pH**

La efectividad de la coagulación depende directamente del pH. Debido a ello, la medición de este parámetro antes y después de la floculación tiene importancia básica, por lo cual debe disponerse de un medidor de pH.

## QUIMICOS UTILIZADOS

- 1.- Solución de sulfato de Aluminio al 10%
- 2.- Solución de sulfato de Aluminio al 5%
- 3.- Solución de sulfato de Aluminio al 2%
- 4.- Solución de sulfato de Aluminio al 1%
- 5.- Solución de sulfato de Aluminio al 0.10%
- 6.- Solución de Polímero no iónico 0.1%
- 7.- Solución de Ácido sulfúrico 1N

## PRUEBAS DE TRATABILIDAD REALIZADAS

### Condiciones Iniciales del Agua Cruda: FUENTE: PIEDRAS AMARILLAS

- Turbiedad: 10.00 NTU
- Color: 5.00 UC
- pH: 8.1

### 1. Determinación de dosis optima

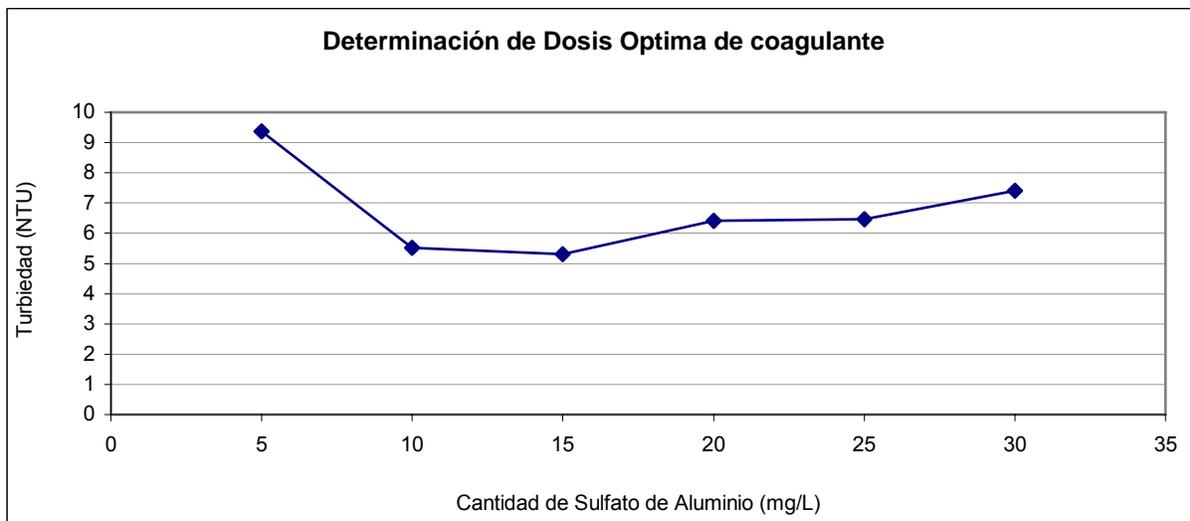
El objetivo de este ensayo es determinar la dosis de coagulante que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales, que permita la formación de un flóculo grande, compacto y pesado, que pueda ser fácilmente retenido en los decantadores y que no se rompa y traspase el filtro. Debe observarse que no necesariamente el flóculo que sedimenta con rapidez es el que queda retenido en el filtro. El flóculo que se busca es el que dé el mayor rendimiento, con todo el conjunto de procesos.

#### Parámetros de Prueba de Jarras

Solución de Sulfato de Aluminio: 10g/L  
Tiempo de Floculación: 20 minutos  
Gradiente de Velocidad:  $48 \text{ s}^{-1} = 50\text{rpm}$   
Tiempo de Decantación: 10 minutos

# Jarra	Sulfato de Aluminio		Turbiedad NTU	pH	Color UC
	ppm	mL			
1	5	1	9.37	8.1	5
2	10	2	5.52	7.9	2.5
3	15	3	5.3	7.6	2.5
4	20	4	6.41	7.6	5
5	25	5	6.46	7.4	5
6	30	6	7.4	7.3	5

La dosis óptima seleccionada es 15 ppm



## 2. Determinación de la concentración óptima

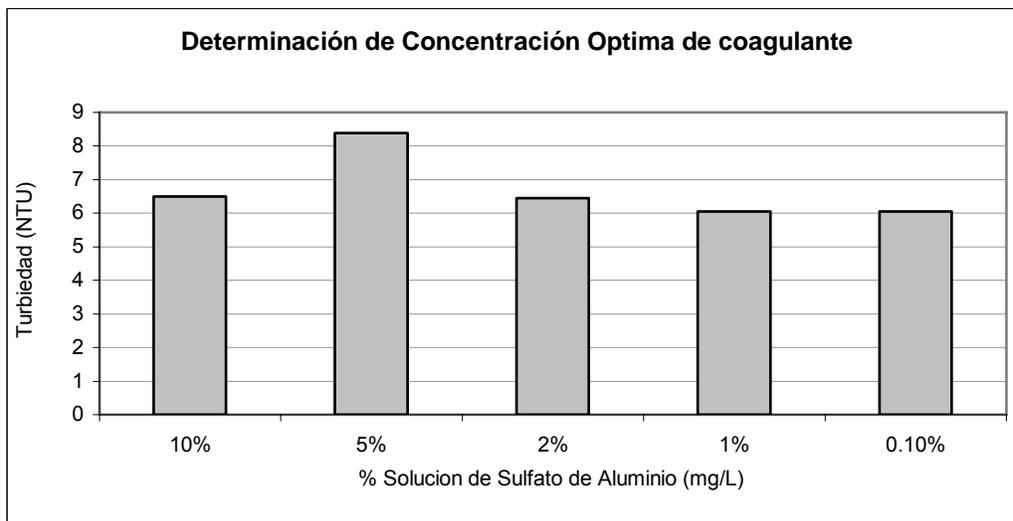
Diversos estudios han demostrado que la concentración del coagulante influye en la eficiencia de la mezcla rápida, lo que modifica los resultados del proceso de coagulación. Es necesario trasladar esta experiencia a las plantas potabilizadoras, previa selección del valor óptimo a nivel de laboratorio.

Parámetros de Prueba de Jarras

Tiempo de Flocculación: 20 minutos  
 Gradiente de Velocidad:  $48 \text{ s}^{-1} = 50 \text{ rpm}$   
 Tiempo de Decantación: 10 minutos

# Jarra	Sulfato de Aluminio			Turbiedad	pH	Color
	ppm	Concentracion	mL	NTU		UC
1	15	10%	0.3	6.5	7.6	7.5
2	15	5%	0.6	8.38	7.6	5
3	15	2%	1.5	6.45	7.6	2.5
4	15	1%	3	6.06	7.6	5
5	15	0.10%	30	6.06	7.5	5

**La Concentración s óptima seleccionada es 1%**



### 3. Determinación del pH óptimo de coagulación

Determinar el rango de pH óptimo de la muestra estudiada, en relación con el coagulante o ayudante de coagulación utilizado.

Parámetros de Prueba de Jarras

Solución de Sulfato de Aluminio: 10g/L

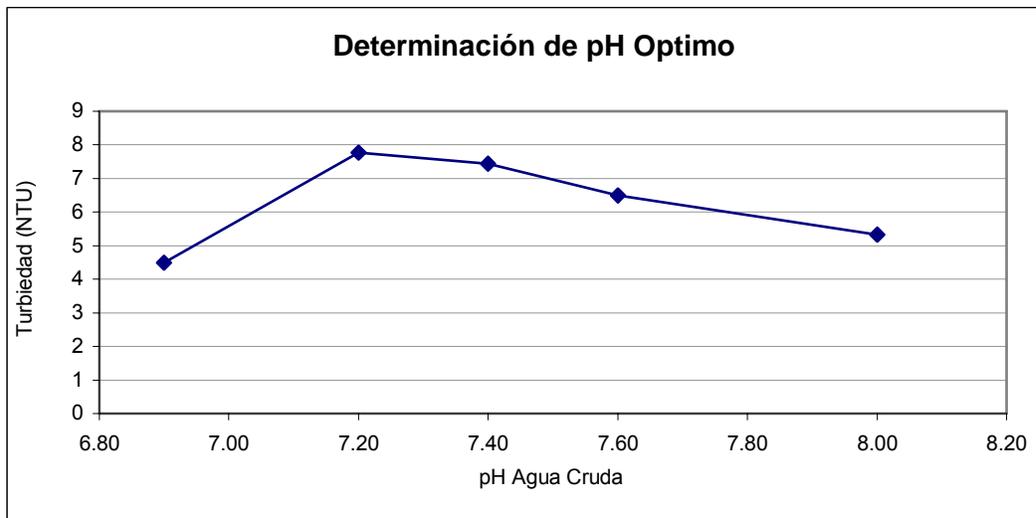
Tiempo de Flocculación: 20 minutos

Gradiente de Velocidad:  $48 \text{ s}^{-1} = 50\text{rpm}$

Tiempo de Decantación: 10 minutos

# Jarra	Sulfato de Aluminio	Acido sulfurico 1N	pH	Turbiedad	pH	Color
	ppm	mL		NTU		UC
1	15	0.00	8.00	5.33	7.6	2.5
2	15	0.20	7.60	6.5	7.4	5
3	15	0.40	7.40	7.44	7.3	5
4	15	0.60	7.20	7.77	7.1	5
5	15	0.80	6.90	4.5	7	2.5

**El pH óptimo seleccionado es el pH natural del agua**

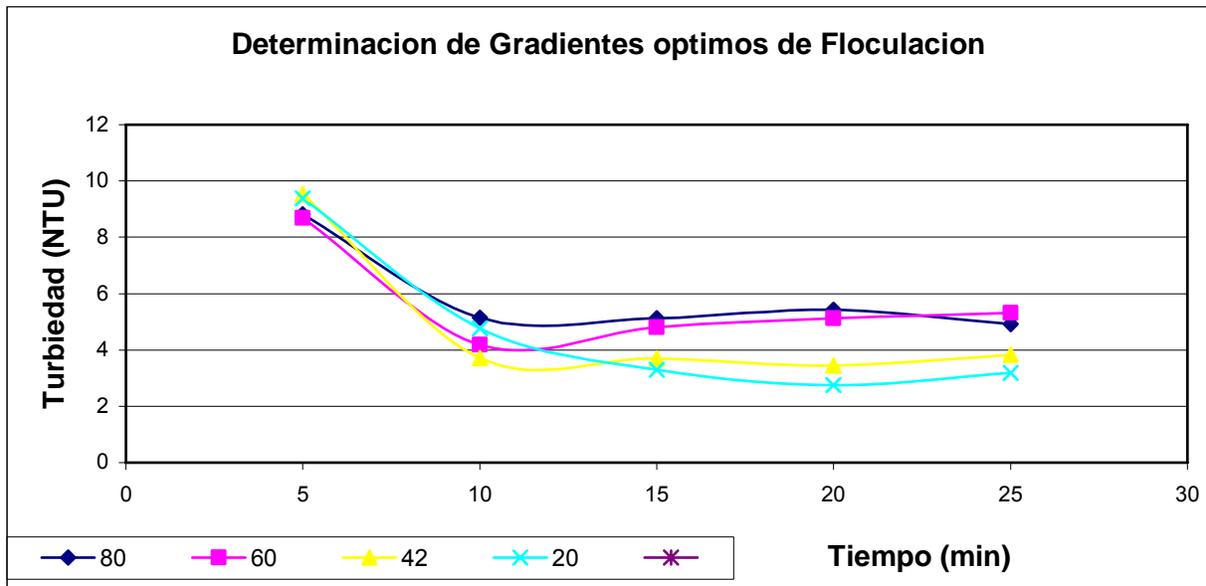


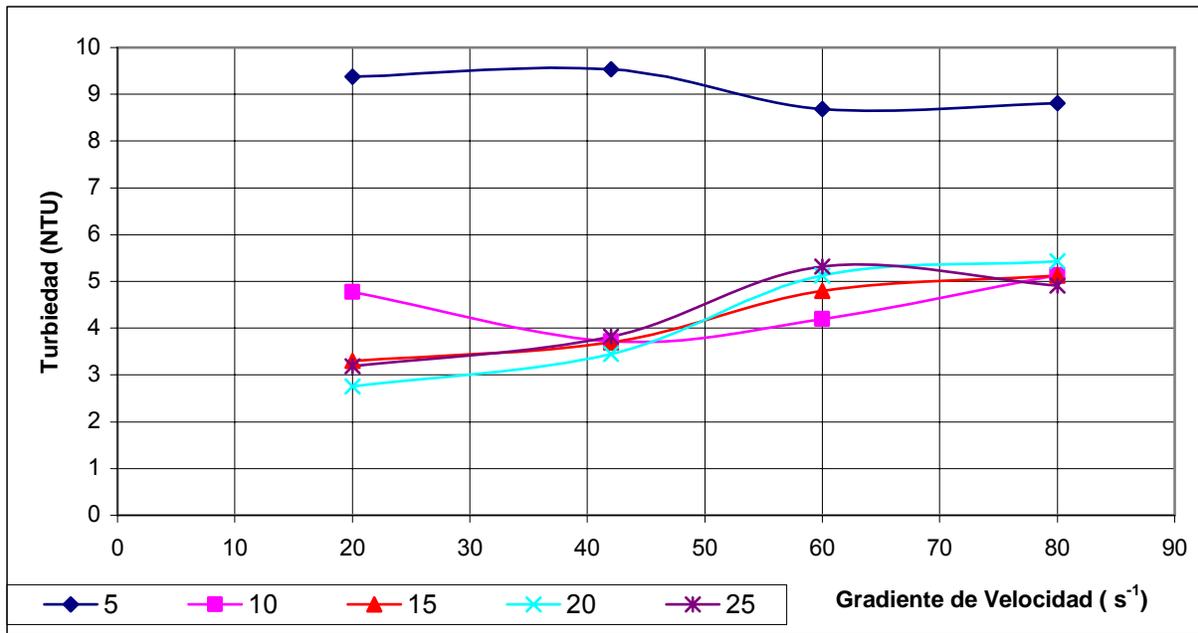
#### 4. Determinación de los parámetros de floculación

El propósito de este ensayo es la determinación de los parámetros de floculación: gradiente de velocidad (G) y tiempo de retención (T), en función de las dosis óptimas determinadas.

Parámetros de Prueba de Jarras  
Solución de Sulfato de Aluminio: 10g/L  
Tiempo de Decantación: 10 minutos

Gradiente s-1	TIEMPO (min)				
	5	10	15	20	25
80	8.81	5.14	5.12	5.43	4.91
60	8.68	4.19	4.8	5.13	5.32
42	9.53	3.72	3.7	3.45	3.82
20	9.38	4.77	3.3	2.75	3.19

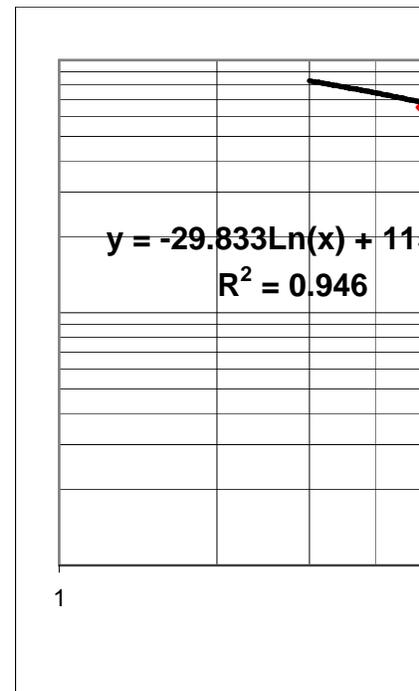




Gradiente de Velocidad Óptima de Flocculación

Tiempo (min)	5	10	15	20	25
Gradiente de Velocidad (s <sup>-1</sup> )	65	50	40	20	20

Tramo	Tiempo de retención (minutos)		Gradiente de Velocidad (s <sup>-1</sup> )
	Parcial	Total	
1	7	7	65
2	7	14	40
3	7	21	20

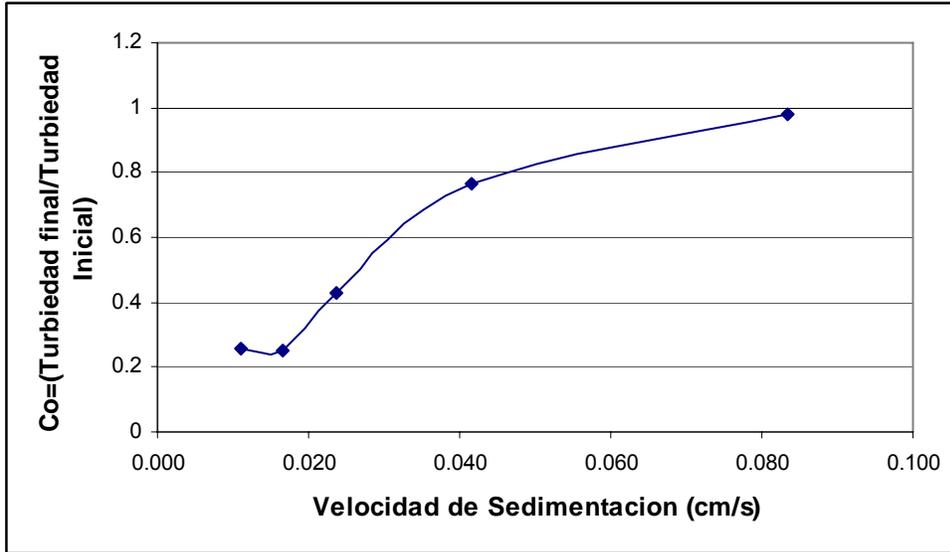


### 5. Determinación de los parámetros de decantación

Determinar la tasa de diseño y la eficiencia remocional de un decantador laminar de placas en condiciones ideales.

Altura de Toma: 10cm.

Tiempo (s)	Velocidad de Sedimentación (cm/s)	Turbiedad final (NTU)	Co =Turbiedad Final/Turbiedad Inicial
120	0.083	9.78	0.978
240	0.042	7.64	0.764
420	0.024	4.29	0.429
600	0.017	2.52	0.252
900	0.011	2.56	0.256



Tasa de Decantación m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d	Velocidad de Sedimentación cm/s	Co	% Remoción de Turbiedad	Turbiedad removida NTU	Turbiedad Final NTU
20	0.023	0.4	85.0	8.501	1.499
30	0.035	0.7	55.0	5.504	4.496
40	0.046	0.8	45.1	4.508	5.492
50	0.058	0.9	35.1	3.514	6.486
60	0.069	0.97	28.2	2.821	7.179

#### IV CONCLUSIONES:

En las condiciones del agua cruda en la fecha en que se realizaron las pruebas de tratabilidad (11 Septiembre 07) se puede concluir que:

- La Dosis Optima de Coagulante es 15 ppm de Sulfato de Aluminio.
- La Concentración optima de Coagulante es 1%
- El pH óptimo de coagulación es el pH natural del agua cruda, se eligió ya que deja una turbiedad residual de 5.33 NTU y pH en el agua sedimentada de 7.6, así como porque ya en planta se facilitará la operación. Los resultados en cuanto a remoción de turbiedad no son significativos con pH acidificado a 6.90 la turbiedad bajo a 4.5 NTU, lo cual NO es significativo en comparación al pH natural y evitaría la complicación operativa de adicionar ácido para disminuir el pH
- En relación a los parámetros de floculación se evidenció lo que la literatura recomienda para climas tropicales como el de Las Vegas, y es que la planta potabilizadora debe tener como mínimo 3 cámaras de floculación, los tiempos óptimos parciales obtenidos son de 7 minutos para cada cámara para un total de 21 minutos; con 3 diferentes gradientes de velocidad en orden decreciente que son: 65, 40 y 20 s<sup>-1</sup>. Si se cumplen estas condiciones en cuanto a tiempo y gradientes decrecientes la remoción de turbiedad será exitosa como lo demuestran las pruebas realizadas.
- En el área de Decantación la meta de calidad propuesta para el efluente de esta unidad es de 2 NTU y se ha obtenido en las pruebas una Tasa de Decantación de 20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día, que permita alcanzar esa meta.

- Se logró llevar el agua con la adición de 15 ppm de Sulfato a un pH de 7.6 unidades obteniendo un Índice de Langelier de 0.0, lo que significa que el agua dejó su naturaleza incrustante y entró en equilibrio.

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
pH		7.6
C.E	μS/cm	260
TDS	mg/L	166
Ca <sup>+2</sup>	mg/L	53.28
Ca <sup>+2</sup>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	133.28
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	172.5
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	0
*Alcalinidad	mg/L CaCO <sub>3</sub>	141.4
A		0.12
B		2.01
C		1.72
D		2.15
phsaturación		7.55
pHeq		7.82
T <sup>a</sup>	° C	19
<b>Langelier (LSI)</b>		<b>0.0</b>

## V. RECOMENDACIONES:

- Es necesario hacer estudios del sedimento de las tuberías, ya que según análisis del agua de las fuentes el Calcio esta dentro de norma, por lo que no se puede aseverar que este tipo de incrustación sea de origen cálcico.
- En vista que los estudios fueron realizados en fechas cuando la turbiedad del agua cruda de las fuentes era menor a 10 NTU, es necesario repetir estos análisis cuando existan incrementos de turbiedad o de preferencia en los picos máximos.
- Se requiere hacer los estudios complementarios para obtener los parámetros óptimos de filtración por gravedad.



- Se recomienda a la Municipalidad de Las Vegas establecer un monitoreo permanente de la calidad de las fuentes en todo el año para poder evaluar los cambios en la misma.