

SIMULACIÓN DE ÍNDICES DE TENDENCIAS DE INCRUSTACIÓN Y CORROSIÓN POR AGUA EN PLANTA DE POTABILIZACIÓN

SIMULATION OF SCALING AND CORROSION INDICES BY WATER IN POTABILIZATION PLANTS

VÍCTOR MORA¹; JORGE CEDEÑO²

¹ Universidad de Oriente, Núcleo de Bolívar, Escuela de Ciencias de la Salud, Sección Bioquímica
² Egresado Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Escuela Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Departamento Ingeniería Civil
victormoraudo9@yahoo.com / corrosiviti@yahoo.com

RESUMEN

La corrosión por agua es una de las principales causas de deterioro de las instalaciones hidráulicas. El presente trabajo, tuvo como finalidad aplicar el programa de computación Corrosivity and Deposition Indexes (CORSCNEF) para la simulación de los índices de tendencias de incrustación y corrosión por agua en la planta de potabilización "Angostura" ubicada en Ciudad Bolívar, estado Bolívar. Se tomaron muestras de aguas (cruda, sedimentada y filtrada), las cuales se caracterizaron por standard methods for examination of water and wastewater. Los resultados experimentales y teóricos obtenidos según la norma de calidad de agua potable, Gaceta Oficial Nº 36.395 (1998), de los parámetros fisicoquímicos fueron usados para determinar los índices de tendencias de incrustación y corrosión: Langelier, Ryznar, Agresividad, Snoeyink, Fuerza Divisora, Exceso Momentáneo, Capacidad Buffer, Singley, Potencial de Precipitación del Carbonato de Calcio, Larson; además se consideró: Acidez, CO₂ disuelto total, bicarbonato, carbonato e hidróxido en la estimación de las tendencias corrosivas e incrustantes de las aguas. Se concluye que el programa CORSCNEF es útil para entender el comportamiento corrosivo de las aguas hacia los especímenes rígidos (concreto armado) y metálicos (válvulas, bombas y tuberías) en planta de potabilización.

PALABRAS CLAVE: Simulación, índice de tendencias, incrustación, corrosión, potabilización.

ABSTRACT

Corrosion by water is one of the main causes of deterioration in hydraulic installations. This study purported to apply the computer program Corrosion and Deposition Indices (CORSCNEF) to simulate trend indices of pitting and corrosion by water in the Angostura potabilization plant located in Ciudad Bolívar, Bolívar state. Untreated, deposited, and filtered water samples were collected and characterized by means of standard methods for examining fresh and wastewater (Clesceri *et al.*, 1995). The experimental and theoretical results obtained according to potable water quality guidelines (Gaceta Oficial 36.395, 1998) were used to determine water tendencies to corrode systems: Langelier, Ryznar, and Snoeyink saturation indices, water aggressiveness and transient excess effects, water's buffer capacity and splitting strength, Larson calcium carbonate precipitation potential, Singley corrosion ratio. Acidity, total dissolved CO₂, bicarbonate, carbonate, and hydroxide values were also considered. The study concluded that the CORSCNEF program is useful to understand the corrosive effects of water on both rigid (reinforced concrete) and metallic (valves, pumps, and pipes) materials of a water treatment plant.

KEY WORDS: Simulation, tendency indices, pitting, corrosion, potabilization.

INTRODUCCIÓN

El análisis de la calidad del agua proporciona una base para la detección y modificación de las concentraciones de iones, cationes y las tendencias corrosivas. Los componentes del agua que inciden en la corrosión de los metales en los sistemas de distribución son: calcio, magnesio, sodio, cloruros, sulfatos, oxígeno

disuelto, alcalinidad, pH, intensidad de amortiguación (estabilizadora del pH), cloro libre, cloramina, sólidos disueltos y conductividad. (Mason, 1991; Chapman, 1992).

Los productos de la corrosión conocidos en estructuras metálicas son: el óxido de hierro café (Fe₂O₃, Hematita), el óxido de hierro negro (Fe₃O₄, magnetita), en la corrosión

del acero y los óxidos de cobre azules o azul – verdes a negro en la corrosión de metales que contengan cobre.

Según Lane (1995), el cálculo y uso de índices de tendencias del agua como: Langelier, Snoeyink, Ryznar, agresividad, potencial de precipitación del CaCO_3 (CCPP), exceso momentáneo, capacidad buffer, fuerza divisora, tasa de corrosión Singley, Larson, e índice Puckorius proporcionan información sobre las tendencias incrustantes y corrosivas del agua.

Existen modelos matemáticos que amplían e incorporan la química de reacción y los aspectos de ecosistemas acuáticos. Al respecto, Casamitjana y Schladow (1993), han estudiado el análisis de movimiento de partículas con modelos hidroquímicos para lagos. Lane (1995), presenta los programas de Corrosivity and Deposition Indexes (CORSCNEF), para obtener los índices de tendencias (incrustación y corrosión) del agua y el de Water Treatment Chemical (WTRCHEM), para determinar la cantidad y tipo de producto químico requerido para el cálculo de índice de tendencia específico, basado en el contenido analítico del suministro del agua.

En Venezuela, posiblemente se aplican programas similares para modelación en las plantas de potabilización de agua de las diferentes Hidroven (Capital, Lara, Occidente, CVG - GOSH y otras), pero en la literatura consultada no se encontraron referencias que confirmaran tal evaluación. Es por ello que, en el presente estudio se aplicó el programa CORSCNEF para realizar un estudio sobre simulación de los índices de tendencias de incrustación y corrosión por agua en la planta de potabilización “Angostura” ubicada en Ciudad Bolívar, estado Bolívar, la cual forma parte del complejo hidráulico y tiene como finalidad tratar el agua cruda proveniente del río Orinoco mediante un sistema de captación balsa

toma superficial, y transportarla por sistemas de aducción a planta para el proceso de tratamiento internacional estándar de agua clase C para ríos en cuencas bajas y embalses Kiely, (1999), dando cobertura a un 20% de la población de Ciudad Bolívar, que según proyecciones de la Oficina Central de Estadística e Informática (2000), para el 2005 es de aproximadamente 325.000 habitantes

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección área de estudio. La investigación planteada, se realizó en la planta de potabilización “Angostura” de Ciudad Bolívar, ubicada en el sector Perro Seco entre las coordenadas U.T.M.: Norte 900.000 Este: 438.750 Esc. 1:25.000 MINFRA, (2000), en el lapso Enero – Febrero 2004. El desarrollo del trabajo siguió las etapas que se describen a continuación.

Sitios de muestreo. Se ubicaron entre estación de bombeo balsa toma y mezcla rápida y en el punto de filtración, los cuales corresponden a la entrada de agua cruda a la planta de potabilización “Angostura” y a la salida de los filtros (desinfección) agua tratada

Recolección y transporte de las muestras de aguas. Se captaron 18 muestras de agua cruda del río Orinoco, 18 muestras de agua en salida del sedimentador en planta “Angostura” y 18 muestras de agua filtrada en punto de bombeo a la red de distribución de Ciudad Bolívar, las cuales se llevaron al laboratorio del Centro de Geociencias de la Escuela de Ciencias de la Tierra. Núcleo Bolívar. UDO para su caracterización fisicoquímica.

Caracterización fisicoquímica. Las muestras de aguas captadas fueron analizadas de acuerdo al standard methods for examination of water and wastewater (Clesteri *et al*, 1995), (Tabla 1).

Tabla 1. Método estándar de análisis fisicoquímicos para muestras de aguas.

Parámetros	Métodos
Temperatura (Grados Celsius)	Termómetro (en sitio)
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Gravimétrico
pH (unidades)	Electrométrico (en sitio)
Dióxido de carbono (mg/L)	Titulación
Alcalinidad (mg/L como CaCO_3)	Potenciómetro
Calcio (mg/L como CaCO_3)	EDTA (ácido etilendiamino tetraacético)
Magnesio (mg/L como CaCO_3)	Analítico complexométrico
Cloruro (mg/L)	Nitrato mercurico
Sulfato (mg/L)	Turbidimétrico
Nitrato (mg/L)	Electrodo de nitrato
Oxígeno disuelto (mg/L)	Winkler (en sitio)

Aplicación del programa CORSCNEF. Lane (1995). Se usó para la determinación de los índices de tendencias de incrustación y corrosión:

Índice de saturación Langelier (LSI) para carbonato de calcio. Es posible calcular el pH de saturación pH_s del agua mediante las ecuaciones:

$$pH_s = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad (1)$$

Donde:

$$A = 13,12 \times \log (\text{°C} + 273) + 34,55 \quad (2)$$

$$B = (\log [\text{sólidos disueltos (mg/L)}] - 1)/10 \quad (3)$$

$$C = \log [\text{Ca}^{2+} \text{ (mg/L como (CaCO}_3\text{))}] \quad (4)$$

$$D = \log [\text{alcalinidad total (mg/L como CaCO}_3\text{)}] \quad (5)$$

Los parámetros fisicoquímicos: Temperatura (°C), sólidos disueltos (mg/L), Ca^{2+} (mg/L como CaCO_3) y alcalinidad total (mg/L como CaCO_3), son obtenidos del análisis del agua en referencia. La diferencia entre el pH real del suministro del agua y el pH_s [pH del agua saturada con carbonato de calcio (CaCO_3)] es el índice de saturación. (Blake, 1980).

Índice Singley. Una ecuación que incluya cloruros, sulfatos, alcalinidad, oxígeno disuelto, capacidad de amortiguación, calcio, índice de saturación Langelier (LSI), representa un buen índice, para determinar las tendencias corrosivas, de acuerdo a las ecuaciones:

$$JS = (\text{Cl}^{0,509}) \times (\text{SO}^{0,0249}) \times (\text{TA}^{0,423}) \times (\text{O}_2^{0,78}) \quad (6)$$

$$\text{RP} = (((\text{CA}) \times 0,4)^{0,676}) \times (\text{BI}^{0,0304}) \times ((10 \text{ LSI})^{0,107}) \times 9,4675 \quad (7)$$

Donde: Cl = cloruros (mg/L); SO = sulfatos (mg/L); O_2 = oxígeno disuelto (mg/L); CA = calcio (mg/L como CaCO_3); BI = intensidad de amortiguación (adimensional); LSI = índice de saturación Langelier (adimensional); TA = alcalinidad total (mg/L como CaCO_3).

Así:

$$\text{SG} = \text{JS} / \text{RP} \quad (8)$$

Siendo SG la rapidez de corrosión Singley, mpa (milésima de pulgadas por año). (Lane, 1995).

Índice Ryznar. Se usa para estimar la formación de incrustación esperada, aun en presencia de inhibidores

como polifosfatos y acrilatos. (Holm y Shock, 1991). Se calcula como sigue:

$$\text{RI} = 2pH_s - \text{pH} \quad (9)$$

Donde: pH_s = pH del agua saturada con carbonato de calcio (CaCO_3), adimensional y pH = pH real del suministro del agua, adimensional.

Índice de fuerza impulsora (DFI), el cálculo de este índice es algo complejo y requiere del programa de computación Corrosivity and Deposition Indexes (CORSCNEF) y es el producto resultante de las actividades de calcio y del carbonato dividido entre la constante de equilibrio K_s para la solubilidad del carbonato de calcio (Rittman y McCarty, 2001).

Agresividad, potencial de precipitación del carbonato de calcio (CCPP) e intensidad de amortiguación, son índices con cálculos complejos que requieren del programa CORSCNEF. El índice Larson. Se calcula como:

$$\text{IL} = (\text{Mequiv/L Cl}^{-1} + \text{Mequiv/L SO}_4^{2-}) / \text{Mequiv/L Alcalinidad M} \quad (10)$$

Donde: Mequiv/L son miliequivalentes por millón. (Larson y Skold, 1958).

De igual manera, el programa CORSCNEF, dispone de las subrutinas para calcular los valores de: Acidez total, CO_2 disuelto total, bicarbonato, carbonato e hidróxido.

La secuencia metodológica de cálculo del programa CORSCNEF se describe a continuación:

1. Entrada de datos de los diferentes parámetros fisicoquímicos obtenidos para las muestras de aguas analizadas, (Tabla 1). O los valores teóricos en referencia para los parámetros fisicoquímicos según las normas de calidad de agua potable Gaceta Oficial N°36.395. (1998).
2. Cálculo de las constantes de equilibrio a temperatura ambiente.
3. Cálculo del contenido de carbón inorgánico total y su comparación con los niveles de alcalinidad en la verificación de posible valor irreal por error en entrada de dato de pH y/o exceso de alcalinidad total.
4. Verificación de posible valor irreal del índice de Langelier.

5. Mediante subrutinas del programa CORSCNEF, calcula los índices: Langelier, Ryznar, Agresividad, Snoeyink, fuerza divisora, exceso momentáneo, capacidad Buffer, Singley, potencial de precipitación del carbonato de calcio y Larson.

6. Salida de datos. Los resultados correspondientes a los diferentes índices, fueron comparados con valores similares obtenidos por el Centro Canario del Agua (2004).

Análisis e interpretación de la información. La información obtenida fue tabulada y analizada mediante aplicación de programas de Microsoft Office incluyendo la obtención de fotografía mediante cámara digital.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros fisicoquímicos experimentales de muestras de aguas crudas, sedimentadas y filtradas provenientes de planta “Angostura” y valores según Gaceta Oficial teóricos usados para determinar los índices de tendencias de incrustación y corrosión.

En la Tabla 2 se presentan los resultados de los parámetros fisicoquímicos para muestras de aguas captadas

en la condición cruda, sedimentada y filtrada de la planta de tratamiento “Angostura”. De igual manera, se señalan los valores teóricos de algunos parámetros fisicoquímicos deseables menores y máximos aceptables según la norma sanitaria de calidad del agua potable Gaceta Oficial N° 36.395 (1998). Los valores 26,80°C correspondientes a temperatura para las diferentes muestras de agua de planta “Angostura”, se encuentran ligeramente por encima del valor deseable 25°C, según las normas (Gaceta Oficial N° 36.395, 1998), diferencias significativas en grados de temperatura provocan alteraciones en la demanda de oxígeno (Kiely, 1999). Los sólidos disueltos 352,33; 42,50 y 19,00 mg/L para muestras de agua cruda, sedimentada y filtrada respectivamente, cambian durante el proceso de potabilización. No obstante, estos valores reportados en la Tabla 2, se encuentran por debajo de 600 mg/L de sólidos disueltos deseables aceptados por las normas sanitarias calidad del agua potable.

Los valores de pH 6,53; 4,79 y 4,88 registrados para las diferentes muestras de aguas estudiadas, están fuera de lo establecido por la norma vigente, situación asociada al tratamiento, por lo que a nivel de sistema de distribución el pH influye en la corrosión de los materiales metálicos y no metálicos de la planta de potabilización “Angostura”.

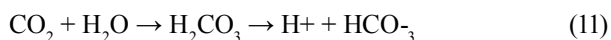
Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos experimentales y teóricos usados para determinar los índices de tendencias.

Parámetros fisicoquímicos	Agua de Planta Angostura			Gaceta Oficial N° 36.395 (1998)	
	Cruda	Sedimentada	Filtrada	Deseable menor a	Máximo aceptable
Temperatura (°C)	26,80	26,83	26,83	25	-
Sólidos disueltos (mg/L)	352,33	42,50	19,00	600	1000
pH (unidades)	6,53	4,79	4,88	6,5 – 8,5	9
CO ₂ (mg/L)	4,00	13,33	12,33	-	-
Alcalinidad*	8,00	4,66	4,33	20	-
Dureza*	10,00	10,33	10,00	5	-
Calcio (mg/L)	25,40	54,50	59,00	75	-
Magnesio (mg/L)	0,78	0,69	0,71	30	-
Cloruros (mg/L)	12,30	19,00	19,00	250	300
Sulfatos (mg/L)	55,16	36,16	19,83	250	500
Nitrato (mg/L)	0,24	0,03	0,00	-	-
Aluminio (mg/L)	0,003	0,678	0,253	0,2	0,2
Oxígeno disuelto (mg/L)	4,78	5,47	5,07	5	-

* (mg/L como CaCO₃)

Los valores 4,00; 13,33 y 12,33 mg/L para el CO₂ disuelto total obtenidos experimentalmente para las diferentes muestras de agua, son un componente normal de las mismas y se debe a: Absorción desde el aire, fenómenos biológicos oxidantes o insuficiencia

de carbonatos para neutralizarlos. El CO₂ reacciona con agua de acuerdo a la ecuación (11), en el rango de pH entre 4,4 a 8,2 para formar ácido carbónico, y se disocia en iones hidrógeno y bicarbonato. (Kemmer y McCallion, 1998).



Con respecto a alcalinidad las muestras de agua captadas de planta “Angostura”, presentan valores de 8,00; 4,66 y 4,33 mg/L como CaCO_3 , los cuales se encuentran por debajo de los valores mínimos deseables de 20 mg/L como CaCO_3 por la norma vigente. En relación a la dureza total las muestras de aguas estudiadas presentan valores de 10,00 mg/L como CaCO_3 , los cuales son ligeramente superiores a los resultados de dureza total reportados por Mora *et al.* (2005) para muestras de agua analizadas en la red de distribución para diferentes sectores de Ciudad Bolívar. No obstante, los valores experimentales referidos en la tabla 2, duplican el valor mínimo deseable de 5 mg/L como CaCO_3 (Gaceta Oficial N° 36.395, 1998).

Para calcio 25,40; 54,50 y 59,00 mg/L y magnesio 0,78; 0,69 y 0,71 mg/L reportados en la Tabla 2, para las muestras de aguas captadas en planta “Angostura”, se encuentran por debajo de los valores deseables menores a 75 y 30 mg/L, respectivamente de la Gaceta Oficial Vigente. Igual consideración puede hacerse para los valores reportados en tabla 2, para los iones cloruros 12,30; 19,00 y 19,00 mg/L y sulfatos 55,16; 36,16 y 19,83 mg/L para las muestras de aguas crudas, sedimentadas y filtradas provenientes de planta “Angostura”, también los valores referidos para cloruros y sulfatos son aceptables por encontrarse muy por debajo del valor referencial mínimo deseable de 250 mg/L (Gaceta Oficial N° 36.395, 1998). Las muestras de aguas crudas y sedimentadas presentan valores 0,24; 0,03 mg/L de nitrato, son valores mínimos y el valor 0,00 mg/L de nitrato en agua filtrada no representa problema a la salud. El aluminio 0,678 y 0,253 mg/L reportados en muestras de aguas sedimentadas y filtradas se encuentran por encima del valor máximo 0,2 mg/L referido en la

norma. Con respecto a los valores 4,78; 5,47 y 5,07 mg/L de oxígeno disuelto en las muestras de aguas estudiadas, se puede observar que los mismos se encuentran en el límite y ligeramente elevados al valor de referencia 5mg/L de la norma vigente. Valores que pueden atribuirse a: Incrementos de temperaturas, presión atmosférica, velocidad de oxidación biológica y baja solubilidad del oxígeno en los cuerpos de aguas. (Kiely, 1999).

Índices de tendencias experimentales para muestras de aguas crudas, sedimentadas y filtradas provenientes de planta “Angostura” y valores teóricos de incrustación y corrosión obtenidos por programa CORSCNEF.

En la Tabla 3, se reportan los valores -3,07; -4,64 y -4,58 para el índice de Langelier en las muestras de agua captadas crudas, sedimentadas y filtradas, presentan tendencia a disolver CaCO_3 y comparados con los valores -0,62 y +1,87 de la Gaceta Oficial, las muestras de aguas analizadas presentan tendencia corrosiva. Los valores +12,70; +14,10 y +14,00 del índice de Ryznar para las muestras de aguas analizadas referidas, son mayores al valor +6 para el índice de Ryznar reportado por Lane (1995), quien expresa que los mismos son corrosivos.

Los valores +8,8; +7,2; y +7,3 del índice de agresividad para las muestras de aguas referidas en la tabla 3, señalan que son agresivas hacia los elementos estructurales válvulas, bombas y tuberías, valores que están por debajo del valor 10, referido por Lane (1995). Las muestras de aguas captadas presentan valores -25,21; -496,9 y -376,0 mg/L como CaCO_3 para el potencial de precipitación del CaCO_3 , (CCPP), resultados con tendencia corrosiva de las muestras de aguas analizadas.

Tabla 3. Índices de tendencias experimentales y teóricos de incrustación o corrosión para muestras de aguas.

Índice	Agua de Planta Angostura			Gaceta Oficial N° 36.395 (1998)	
	Cruda	Sedimentada	Filtrada	Deseable menor a	Máximo aceptable
Langelier	-3,07	-4,64	-4,58	-0,62	+1,87
Snoeyink	-2,72	-4,27	-4,18	-0,62	+1,81
Ryznar	+12,70	+14,10	+14,00	+7,70	+5,30
Agresividad	+8,80	+7,20	+7,30	+11,00	+13,50
CCPP (mg/L como CaCO_3)	-25,21	-496,90	-376,00	-299,40	+130,09
Exceso momentáneo	-2,17	-0,57	-0,52	-0,05	-5463,00
Capacidad buffer	+6,94	+14,25	+12,69	+360,68	+57,50
Fuerza impulsora	0,00	0,00	0,00	+0,24	+65,04
Singley (mpa)*	+1,43	+1,35	+1,13	+8,71	+5,56
Larson	+7,52	+8,61	+5,30	+7,70	+9,76

CCPP: Potencial de precipitación del carbonato de calcio; (mpa)*: Milésima de pulgadas por año.

Con respecto a los valores -2,17; -0,57; y -0,52 para exceso momentáneo en las muestras de aguas crudas, sedimentadas y filtradas, los mismos reflejan que las aguas analizadas están subsaturadas con respecto al CaCO_3 , en concordancia a lo reportado por (Ryznar 1994).

De acuerdo al valor deseable menor +360,68 y valor máximo aceptable + 57,50 de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998), los valores +6,94; +14,25 +12,69 de capacidad buffer para las muestras de aguas en la planta “Angostura” son bajos para contrarrestar la acción de aniones. Los resultados reportados de la fuerza impulsora valor 0,00 para las diferentes muestras de agua no señalan una mayor inestabilidad química del agua hacia una tendencia de corrosión.

Los valores +1,43; +1,35 y +1,13 mpa para las muestras de agua de planta “Angostura”, para el índice de Singley, presentan baja tasa de corrosión y los resultados se encuentran fuera de los valores mínimos deseables de +8,71 mpa y máximo aceptables de +5,56 mpa de la norma vigente. No obstante, los valores positivos elevados +7,52; +8,61 y +5,30 del índice Larson, de aguas estudiadas son corrosivas. Los resultados presentados en la Tabla 3,

están en concordancia con valores similares reportados por Mora *et al.* (2005), para aguas crudas y tratadas de planta “Angostura” y “Guri” y la red de distribución de agua de Ciudad Bolívar.

Resultados complementarios en la estimación de las tendencias corrosivas e incrustantes de las aguas crudas, sedimentadas y filtradas provenientes de planta “Angostura”.

En la Tabla 4, se presentan resultados complementarios obtenidos con la aplicación del programa CORSCNEF, tales como: Acidez total +17,60; +385,00 y +289,00 en mg/L como CaCO_3 . CO_2 disuelto total +9,6; +379; y +283 mg/L como CaCO_3 . Según Carrillo Trillos y Marciales (1998), los ácidos minerales u orgánicos y en ciertas circunstancias las sales de ácidos fuertes y bases débiles como los sulfatos de hierro y aluminio, contribuyen a la acidez. Alcalinidad 8; 4,66; y 4,33 mg/L como CaCO_3 para las muestras de aguas crudas, sedimentadas y filtradas, referidos en la tabla 2, pueden relacionarse con los valores teóricos +8,00; +5,50; y +5,00 mg/L como CaCO_3 para bicarbonato como el posible ion responsable para la alcalinidad, por haberse obtenido 0,00 mg/L como CaCO_3 para el ión carbonato e hidróxido.

Tabla 4. Aplicación del programa CORSCNEF para obtener resultados complementarios en la estimación de las tendencias corrosivas e incrustantes de las aguas.

Parámetros Químicos	Muestras de Aguas		
	Cruda	Sedimentada	Filtrada
Acidez total (mg/L como CaCO_3)	+17,60	+385,00	+289,00
CO_2 disuelto total (mg/L como CaCO_3)	+9,60	+379,00	+283,00
Bicarbonato (mg/L como CaCO_3)	+8,00	+5,50	+5,00
Carbonato (mg/L como CaCO_3)	0,00	0,00	0,00
Hidróxido (mg/L como CaCO_3)	0,00	0,00	0,00

En la figura 1, se reporta un espécimen metálico con material incrustante, de color blanco – anaranjado, causada por la acción de flujos hidráulicos bajos en la

red, y el comportamiento en disolución de los iones y cationes disueltos en las aguas naturales en período de lluvia o sequía referidos por (Mora y Abud, 2004).



Figura 1. Vista parcial de un codo de 90° con diámetro exterior de 12 pulgadas, fuertemente incrustado con carbonato de calcio, en la planta de tratamiento Angostura Ciudad Bolívar.

CONCLUSIÓN

La aplicación del programa CORSCNEF permitió conocer los índices de tendencias de corrosión a partir de la caracterización fisicoquímica de muestras de aguas crudas y tratadas hacia los especímenes rígidos (concreto armado) y metálicos (válvulas, bombas y tuberías), en la planta de potabilización “Angostura” ubicada en Ciudad Bolívar. Las incrustaciones presentes en la red de distribución podrían relacionarse particularmente con el comportamiento de los flujos hidráulicos bajos y elementos disueltos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a CVG – GOSH Sistema Bolívar, la colaboración prestada para la realización del presente trabajo, en especial a: María Bautista del Departamento de Operación, Mantenimiento y Control de Calidad. Se hace extensivo el crédito al Sr. Roberto Solís Planta de tratamiento “Angostura” ubicada en Ciudad Bolívar por el apoyo ofrecido. Andreina García Jefe del Laboratorio Centro de Geociencias UDO Bolívar. De igual manera, esta investigación fue posible gracias al aporte financiero del Consejo de Investigación de la UDO. En el proyecto código N° CI-2-0430-0910-00.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLAKE R. 1980. Water treatment for hvac and potable water systems, McGraw Hill, USA, pp.50-103.
- CARRILLO TRILLOS G.; MARCIALES L. 1998. Análisis de aguas y líquidos residuales, y ensayos de laboratorio. Innovación Tecnológica Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, pp. 11-158.
- CASAMITJANA X.; SCHLADOW G. 1993. Vertical Distribution of Particles in Stratified Lake, ASCE. Journal of Environ Engng. USA. 119 (3): 7-15.
- CENTRO CANARIO DEL AGUA. 2004. Determinación del carácter agresivo o incrustante de las aguas: Cálculo de los índices de Langelier (LSI), Ryznar (RSI), Puckorius (PSI), Larson-Skold (LI) y del índice de saturación (IS) según el método 2330B del Standard Methods. [Citado: 02 de Enero de 2005]. Disponible en URL: <http://www.corrosion-doctors.org/NaturalWaters/Puckorius.htm>.
- CHAPMAN D. 1992. Water quality assessments, Chapman and Hall, London. U.K, pp.1325.
- CLESCERI L., GREENBERG A.; TRUSELL R. 1995. Standard methods for examination of water and wastewater. 19ª Edition. American Public Health Association, American Water Work Association & Water Environmental Federation, Washington DC, USA.
- HOLM T.; SHOCK M. 1991. Potential effects of polyphosphate products on lead solubility in plumbing systems, Journal of America Water Works Association, USA, pp. 76.
- KEMMER F.; MCCALLION J. 1998. Manual del agua su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. Mc Graw Hill Interamericana de México S.A, Ciudad de México, México.
- KIELY G. 1999. Ingeniería ambiental, fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión, Mc Graw Hill Interamericana de España S.A, Madrid, España, pp. 1183-1284.
- LANE R. 1995. Control de incrustación y corrosión en instalaciones hidráulicas de edificio, Mc Graw Hill Interamericana de México S.A, Ciudad de México, México, pp. 11-39.
- LARSON T.; SKOLD R. 1958. Laboratory studies relating mineral quality of water to corrosion of steel and cast iron, Illinois State Water Survey, Champaign, USA, pp. 43 – 46.
- MASON C. 1991. Biology of fresh water pollution, 2nd Edition, Longman Harlow. USA, pp. 57.
- MINFRA (Ministerio de Infraestructura) 2000. Levantamiento aerofotogramétrico Ciudad Bolívar – Soledad. Esc. 1:25000 Vuelo, Caracas, Venezuela.
- MORA A. V.; ABUD J. 2004. Cuenca del río San Rafael Ciudad Bolívar, estado Bolívar parte II: Caracterización fisicoquímica y bacteriológica del agua del río en las épocas de sequía y lluvia (2000-2002). Bol. Geominas. 32 (35): 69-74.
- MORA A V., CEDEÑO J.; GARCÍA A. 2005. Calidad y corrosión en aguas de las plantas de tratamiento Angostura y Guri del estado Bolívar, Venezuela. Bol. Malariología y Salud Ambiental. Venezuela. 45 (2): 11-21.

- OFICINA CENTRAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA. 2000. Población total, según entidad federal. [Citado: 05 de Enero de 2005]. Disponible en URL: <http://www.cideiber.com/infopaises/Venezuela/Venezuela-02-01.html>.
- REPÚBLICA DE VENEZUELA, GACETA OFICIAL. Año CXXV. Mes V. N° 36.395. Decreto Ministerio de Sanidad y Asistencia Social (M.S.A.S) N° SG - 018 - 98. 1998. Normas sanitarias de calidad del agua potable, M.S.A.S, Capítulo III de los aspectos organolépticos, físico-químicos de las aguas. Art. 14. Caracas, Venezuela.
- RITTMAN B.; McCarty P. 2001. Biotecnología del medio ambiente, McGraw Hill Interamericana de España S.A, Madrid, España, pp. 35
- RYZNAR J. 1994. A new index for determining amount of calcium carbonate scale formed by a water. Journal of the American Water Works Association, USA. 36: 472.