

APLICACIÓN DE SEM AL ESTUDIO DE LA CORROSIÓN DEL Al 3003 EXPUESTO A MEDIO HETEROTRÓFICO

M. I. Castellanos,^{a,b} Z. Duque^{a*}

^a Fundación Instituto Zuliano de Investigaciones Tecnológicas, Zulia, Venezuela

^b Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt, Zulia, Venezuela

*Autor de correspondencia, e-mail: zduque@inzit.gob.ve, tlf / fax +58 261-791.53.71

Recibido: Octubre 2012. Aprobado: Febrero 2013.

Publicado: Abril 2013.

RESUMEN

En medios naturales el aluminio presenta alta resistencia a la corrosión. Sin embargo, en ambientes salinos, se ha mostrado que aleaciones como la 3003 presentan una alta susceptibilidad a corroerse por picadura. Generalmente, estas aleaciones son susceptibles a este tipo de corrosión por la formación de celdas galvánicas entre las partículas intermetálicas, presentes en la aleación y la matriz metálica de aluminio. Actualmente, no contamos con estudios que indiquen su comportamiento en medios lacustres como el Lago de Maracaibo, el cual tiene niveles importantes de cloruros (1300 mg/L) y microbiotas promotoras de bioensuciamientos. De allí surge la inquietud de valorar la potencialidad de utilizar el Al 3003, disponible en la industria nacional, y de interés para su empleo en la construcción de unidades de transporte acuático a operar en éste lago. Para ello, en una primera fase, se estudió el bioensuciamiento y agresividad de éste medio, sobre la aleación 3003 expuesta en condiciones tanto de campo como de laboratorio, utilizando cultivos heterotróficos aislados de biomasas generadas en probetas expuestas en el Lago. Los análisis realizados consistieron en técnicas microbiológicas, electroquímicas y microscópicas. Los resultados indicaron que bajo las condiciones estudiadas el Al 3003 presentó, una disminución y tendencia a estabilizar en el tiempo, la velocidad y potencial de corrosión; las micrografías, por SEM, evidenciaron desarrollo poblacional en los materiales expuestos, sin daños localizados. Por lo que se deduce una resistencia a las condiciones evaluadas.

Palabras claves: Al 3003, biocorrosión, EIS, bioensuciamiento

SEM IN STUDY OF Al 3003 EXPOSED TO CORROSIVE HETEROTROPHIC MEDIUM

ABSTRACT

In natural media the aluminum has high corrosion resistance. However, in saline environments, it has been shown that alloys like 3003 have a high susceptibility to pitting corrosion. Generally, these alloys are susceptible to this type of corrosion by formation of galvanic cells between the intermetallic particles present in the alloy and the aluminum metal matrix. Currently, we have no studies to indicate its behavior in lacustrine media as Maracaibo Lake, which has significant levels of chloride (1300 mg / L) and microbiota promoter of biofouling. Hence there is a concern to assess the potential of Al 3003, available on the domestic industry, and of interest for use in the construction of water transport units for operation in this lake. To this end, in a first phase, biofouling and aggressiveness were studied on the 3003 alloy in laboratory and field conditions, using isolated heterotrophic biomass culture isolated from probes exposed in the Lake. Analyses consisted of microbiological, electrochemical and microscopic techniques. The results indicated that under the studied conditions the Al 3003 showed a tendency to decrease and stabilize the speed and potential of corrosion. The SEM micrographs showed the development of a population in the materials without localized damage. From this an apparent resistance to the conditions evaluated is deduced.

Keywords: Al 3003, biocorrosion, EIS, biofouling.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día se reconoce la presencia de procesos competitivos en los mecanismos de corrosión de

materiales expuestos en medios marinos [1-4]. Señalados como: la formación de películas pasivas debido a la presencia de oxígeno, el rompimiento de las mismas por

los iones cloruros, además de los bioensuciamientos y el diferencial de aireación promovidos por los mismos [5]. En este trabajo, se particulariza la aplicación del Al 3003 en medio lacustre, el cual tiene una baja concentración salina con respecto al ambiente marino, pero importante para la durabilidad de los materiales expuestos. El Lago de Maracaibo (LM), del Estado Zulia, éste presenta una biodiversidad micro y microbiológica, considerada para la presente evaluación. La aleación 3003 en algunos casos ha sido usada empíricamente para reparaciones de las lanchas de transporte lacustre que transitan por el LM, desconociéndose evidencia científica o resultados de registros sistemáticos de la resistencia de la misma a las condiciones de dicho lago. Estas aguas son física, química y microbiológicamente dinámicas, dados los aportes de diversos efluentes (naturales, industriales y urbanos) que desembocan en el mismo, generando un condiciones orgánicas que hacen posible la biodiversidad y entre estas poblaciones, la de microorganismos heterótrofos. Así mismo la naturaleza de dichos efluentes se caracteriza por su variabilidad, como lo evidencian los cambios en los parámetros de los registros del Instituto para la Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo (ICLAM) [6], según la época del año y según sea la zona de evaluación: zona norte cercana al golfo de Venezuela, entrada del mar, zona sur receptor de importantes ríos, zona este y oeste, áreas de desarrollos industriales y el propio seno que acoge todo el flujo de transporte de personal y materiales, de la industria petrolera, petroquímica, entre otros.

La importancia de este estudio, radica en el aporte que pudiese generarse a la industria del aluminio nacional, con la caracterización del comportamiento del Al 3003 en las condiciones del LM, en el cual el transporte lacustre genera una demanda significativa de aleaciones resistentes a la agresividad corrosiva del mismo.

Con la finalidad de lograr la caracterización del Al 3003, se establecieron evaluaciones del material inmerso, tanto en el LM como en el laboratorio, utilizando para ello diversas técnicas electroquímicas, morfológicas y microbiológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las probetas de estudio corresponden a una lámina de Al 3003 producido por CVG ALCASA y con una composición dentro de los parámetros establecidos por la norma ASTM B209 (Tabla 1).

Tabla 1. Composición de la aleación Al 3003.

Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Al
0,60	0,70	0,05-0,20	1,0-1,5	0,10	balance
% máx	% máx	%	%	%	%

El Al 3003 presentó las fases intermetálicas Mn-Al, $Fe_{1,7}Al_4Si$ (Figura 1), acordes a lo indicado en el ASM Handbook [9].

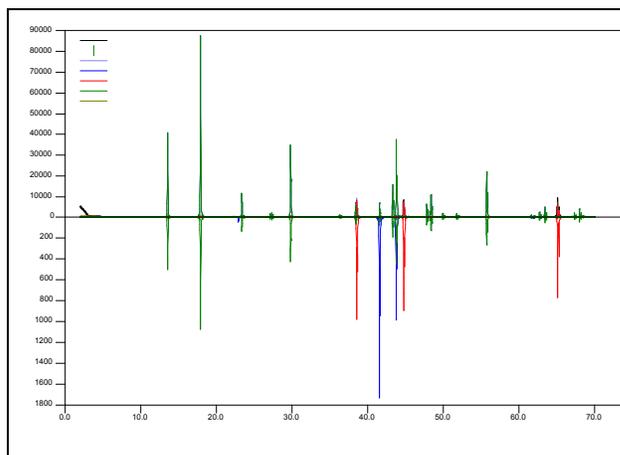


Fig. 1. Difractograma de Al 3003 utilizado

Todas las probetas (campo y laboratorio) se prepararon superficialmente con lijas de carburo de silicio desde 400 hasta 2000 grit.

Las probetas de campo consistieron en láminas de 1 mm de espesor y un área de 2,5x2,5 cm soldadas a un cable de cobre revestido (Figura 2). Estas se dejaron inmersas a 1 m de profundidad, en el muelle Sur (Figura 3),

ubicado en el municipio San Francisco, Zulia, Venezuela (N 10° 32' 11,3'' W 071° 37' 14,2''), por 7 y 14 días. Al momento de la inmersión (t_0), se midió el potencial a circuito abierto (OCP; *Open Circuit Potential*) a todas las probetas. Igualmente antes de ser retiradas a los 7 y a los 14 días. El OCP se midió con un multímetro Fluke y electrodo de referencia de Cu/Cu(SO₄). Al momento de la extracción tres probetas se preservaron separadamente en solución buffer tampón (PBS; *Phosphate Buffer Solution*). Y otras dos, en solución glutaraldehído (Gt) al 2,5 % con buffer cacodilato a pH 7,4. Todas las muestras se preservaron a 4°C durante su traslado y debido procesamiento.



Fig. 2. Probeta a ser inmersa en el muelle.



Fig. 3. Mapa del Zulia con la ubicación de las probetas.

Las probetas preservadas en PBS fueron sonicadas para el conteo poblacional sétil de bacterias asociadas a la corrosión [7]. Este paso se realizó con parámetros de operación del equipo Cole Parmer Ultrasonic Processor [8] ajustado para mantener las células viables. La biomasa sonicada se cultivó en tres medios nutritivos diferentes para determinar la presencia de: Bacterias heterótrofas totales aerobias (THB, *Total Heterotrophic Bacteria*) y anaerobias (AHB, *Anaerobic Heterotrophic Bacteria*) mesófilas, productoras de ácido (APB, *Acid Producing Bacteria*), y reductoras de sulfato (SRB, *Sulphate-Reducing Bacteria*). Las células sétiles viables se cuantificaron por tinción Baclight LIVE/DEAD

viability kit (Molecular Probes Inc.) y un microscopio de epifluorescencia modelo Leica DM2500M (Leica Microsystems GmbH) con filtros de luz de longitud de onda de 480 y 550 nm y magnificación de 100X.

Las probetas sumergidas en Gt se lavaron con agua estéril y se observaron utilizando un FE Quanta 200 en modo de bajo vacío (90-130 Pa) y voltajes entre 10-15 kV, para determinar formación de biopelículas. Posteriormente, se decaparon bajo la norma ASTM G1-03 e igualmente se volvieron a observar por SEM para determinar morfología de daños.

Las probetas de laboratorio consistieron en una sección circular expuesta con 0,39 cm² de área, soldada a un cable de cobre revestido en epoxi. Las probetas se embutieron con resina en frío (marca Buehler), quedando las uniones debidamente aisladas. Luego fueron preparadas superficialmente, desengrasadas y limpiadas por inmersión en etanol absoluto y expuesto a ultrasonido, para el desprendimiento de cualquier particulado. Finalmente, se extrajeron del etanol y se expusieron a luz UV al menos por 12 h, en conjunto con todos los materiales que fuesen a tener contacto con el electrolito, dentro de una Cabina de Bioseguridad Tipo II, en la cual se realizó el armado de la celda, previamente esterilizada, así como el vertido del electrolito y la inoculación. La celda electroquímica se mantuvo a temperatura controlada con un baño termostático, con circulación de agua a 30 °C. La aireación permaneció constante con un burbujeo continuo de aire por motor Resun 0,014 MPa (1,1 L/min).

Los ensayos electroquímicos se realizaron con un Potenciostato/Galvanostato/FRA Autolab 30N, Software Nova ver 1.8, ejecutando inicialmente el registro de OCP y luego espectroscopía por impedancia electroquímica (EIS, *Electrochemical Impedance Spectroscopy*). Se empleó una celda de doble pared con tres electrodos: de

referencia Ag/AgCl, auxiliar una barra de Pt, y de trabajo probeta de Al 3003 debidamente preparada, según se describió anteriormente (Figura 4).

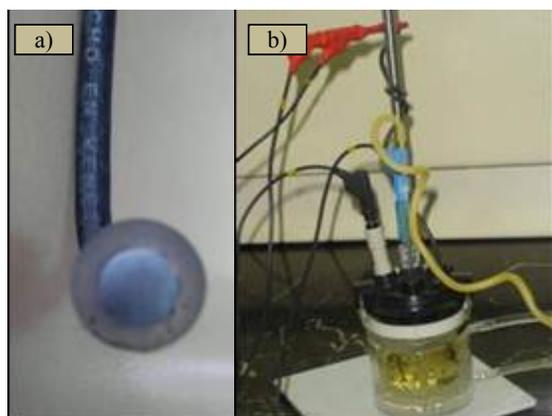


Fig. 4. (a) Electrodo de trabajo (b). Celda electroquímica de 3 electrodos.

El electrolito utilizado en todos los ensayos fue medio nutritivo peptona/extracto de levadura (THM, *Total heterotrophic medium*) preparado con agua del lago (Tabla 2), específicamente del muelle donde se colocaron las probetas. Esta agua fue debidamente esterilizada por filtración, utilizando membrana milipore 0,45 μm , para garantizar su composición iónica, y sirvió de base para el caldo nutritivo utilizado para los medios de cultivo de cada ensayo.

Tabla 2. Análisis del agua de muelle utilizada

Parámetro	Resultado
pH	7,4
Conductividad eléctrica	4.288 $\mu\text{S/cm}$
Cl^-	1.354 mg/l

Los ensayos electroquímicos fueron efectuados para 2, 12, 24, 36, 48, 60 y 70 horas de exposición del Al 3003. Los parámetros correspondientes a los circuitos equivalentes se ajustaron a las respuestas de cada tiempo. Todos los análisis se realizaron por triplicado, en medio no inoculado (control) y medio inoculado.

La cepa heterótrofa general utilizada en los ensayos electroquímicos fue extraída de la población sénil que se desarrolló en la probeta de campo de 14 días,

cultivándola y preservándola en THM. El inóculo en su fase exponencial fue adicionado a la celda en un 10% del volumen total de la misma.

El inóculo utilizado y la población sénil viva desarrollada en los cupones de laboratorio para 24, 48 y 72 h se cuantificó por microscopía de epifluorescencia [8]. La evaluación morfológica de las probetas, inmersas tanto en el muelle como en la celda electroquímica, se realizó con microscopía electrónica de barrido (SEM), modo bajo vacío, utilizando un FE Quanta 200. Las muestras se preservaron con glutaraldehído 2,5% con buffer cacodilato a pH 7,4 y 4°C, hasta su debida observación, requiriendo sólo el lavado para el desplazamiento del fijador orgánico para evaluar el bioensuciamiento y adherencia celular. Posteriormente, las muestras se decaparon siguiendo la ASTM G1-03 [9], para determinar posibles huellas de daños locales en las mismas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación en Campo

El potencial promedio registrado (OCP) en las probetas inmersas en el muelle, para un tiempo inicial, fue de -1120 mV vs Cu/CuSO₄. Tanto los resultados de OCP como microbiológicos de los 7 y 14 días de inmersión, se observan en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros analizados en probetas inmersas en el muelle por dos tiempos continuos.

Parámetro	7 días	14 días
OCP (mV vs Cu/CuSO ₄)	-912	-775
SRB (cel/mL)	4 x 10 ²	4 x 10 ⁶
APB (cel/mL)	N.D.	4 x 10 ⁴
THB (cel/mL)	4 x 10 ⁵	4 x 10 ⁸
THA (cel/mL)	7 x 10 ³	4 x 10 ⁷

N.D.: No se detectó crecimiento por cultivo.

El OCP inicial, indica que se sumergió un material superficialmente activo, registrándose potenciales menos activos (2 centenas de mV) en cada periodo evaluado. Estos valores evidencian la tendencia

termodinámica hacia una menor actividad corrosiva del Al en este medio. Así mismo, se infiere que la tendencia se debe al desarrollo de aglomeraciones superficiales, que pueden hacer un efecto barrera al medio, tal como se observa en Figura 5.

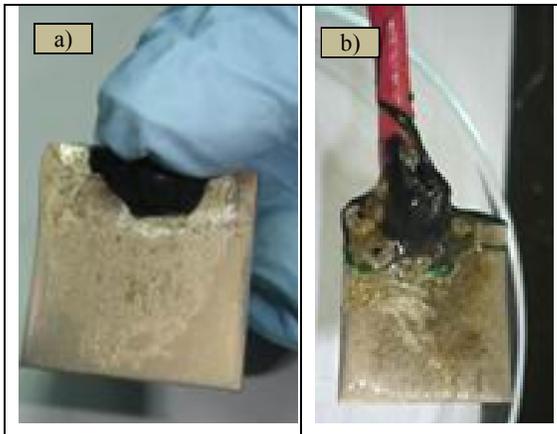


Fig. 5. Bioensuciamiento de las probetas inmersas en el muelle. a) 7 días. b) 14 días.

El conteo poblacional de diferentes grupos bacterianos extraídos de la probeta evidenció un incremento poblacional a los 14 días, en 3 órdenes exponenciales de las bacterias aeróbicas heterótrofas mesofilicas (THB), y en 4 órdenes las anaeróbicas heterótrofas totales mesofilicas (THA). A partir de estos resultados se infiere que con 7 días de exposición se desarrolló un acondicionamiento superficial adecuado para el crecimiento sésil del grupo productor de ácido (APB), y de las poblaciones anaeróbicas.

Las Figuras 6 y 7, presentan evidencias microscópicas del incremento del bioensuciamiento de 7 a 14 días. Puede observarse la coexistencia de diferentes microorganismos como protozoarios y microalgas, además de las bacterias, en los microambientes encontrados, con entramados morfológicamente asociados a la actividad bioorgánica, lo cual, aunado al conteo bacteriano, respalda el desarrollo de la dinámica interfacial sugerida por los OCP registrados.

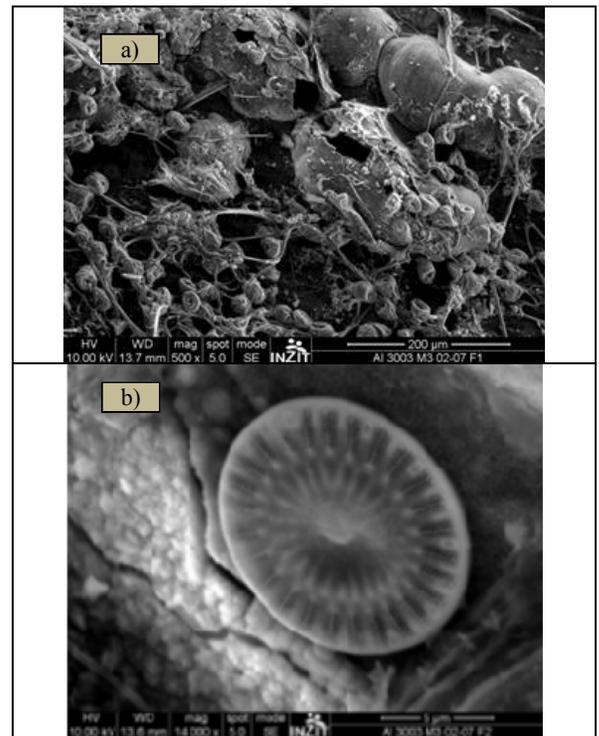


Fig. 6. Micrografías de poblaciones desarrolladas en la probeta expuesta por 7 días. a) abundante población de protozoos. b) diatomea

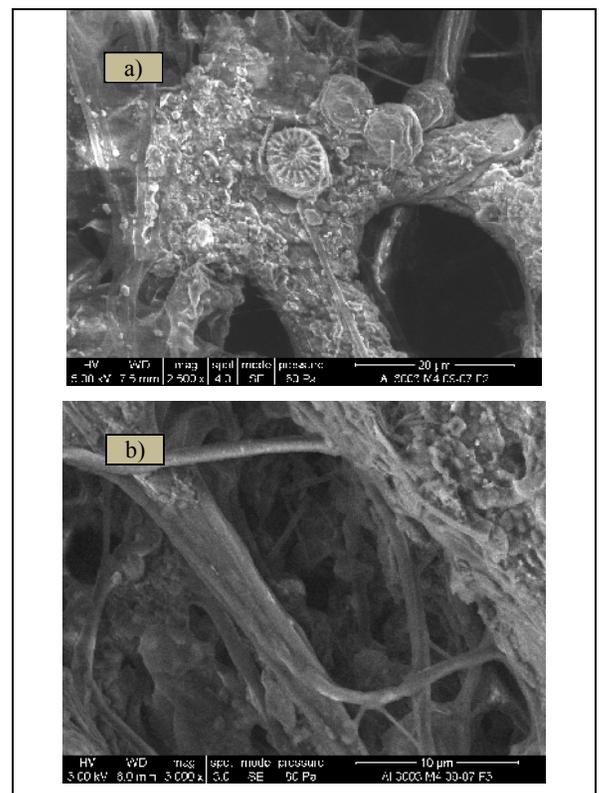


Fig. 7. Micrografías del bioensuciamiento de la probeta expuesta por 14 días. Nótese los entramados y aglomeraciones.

Dados los resultados anteriores, se puede inferir que las poblaciones consumidoras de oxígeno (aeróbicas) en el bioensuciamiento permiten el incremento de anaerobios indicando disminución del oxígeno. Esta dinámica genera un diferencial que puede haber contribuido a la acción local (micropicaduras), cuyas magnitudes son insignificantes (Figura 8).

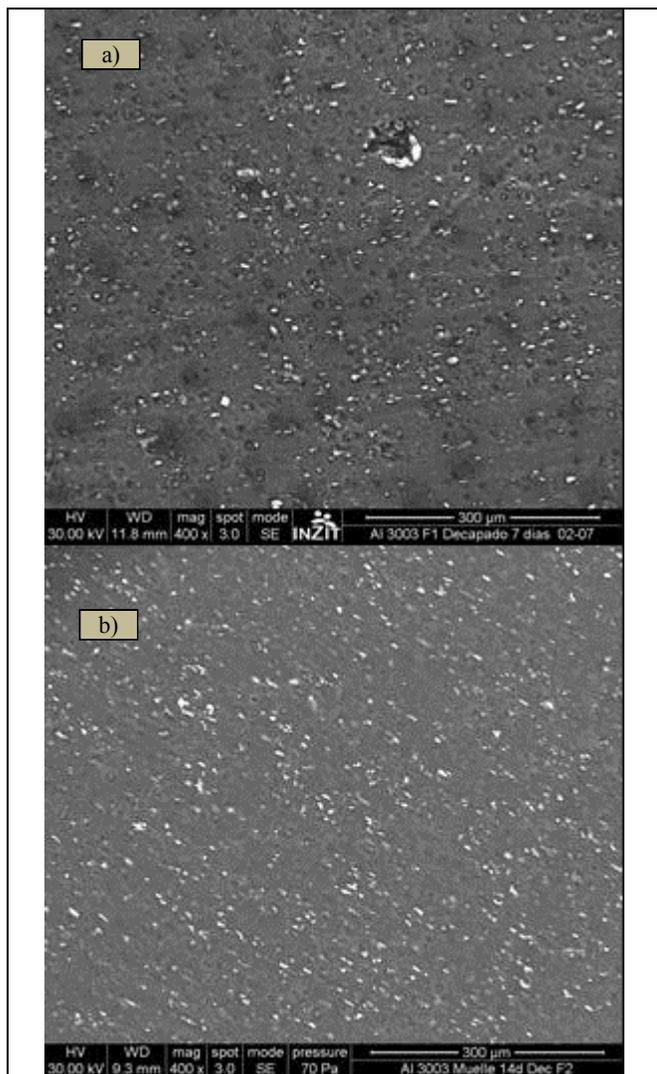


Fig. 8. Micrografía de probeta decapada expuesta. a) 7 días b) 14 días. No se observan daños significativos. 300X.

Evaluación en Laboratorio

Las condiciones controladas del sistema experimental implementado en el laboratorio permitieron determinar la actividad del material en medio orgánico con la carga iónica del LM y diferenciarla de la influencia de las poblaciones sésiles heterótrofas aeróbicas en la interface

metálica, tal como se observa en la Figura 9, producto del registro de OCP en la celda electroquímica por 72 h.

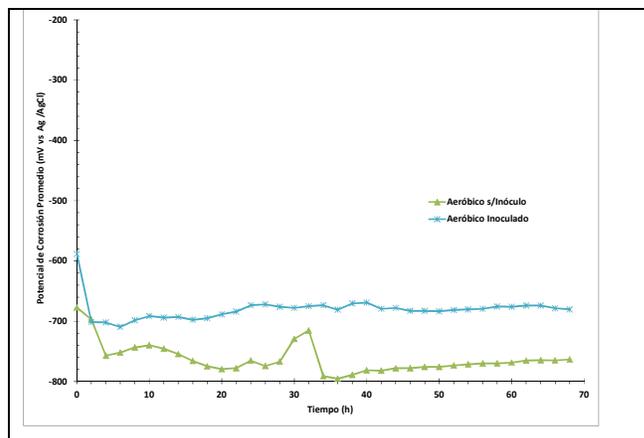


Fig. 9. Registro de OCP promedio, del Al 3003 expuesto en medio sin y con inóculo.

Puede diferenciarse la tendencia activa del material expuesto, donde se evidencia la influencia de la actividad bacteriana en la disminución del potencial de corrosión con tendencia estable, posiblemente debida a la conformación de barreras bioorgánicas y/o al consumo de oxígeno como parte de la actividad respiratoria propia de estos microorganismos. En cambio, el potencial del material expuesto en la condición control, tiende a mantenerse activo con una corta fluctuación.

Comparando los OCP obtenidos en las muestras inmersas en condiciones naturales con los de laboratorio, puede apreciarse similitud en la tendencia a la disminución, así como entre los valores de potencial referido al electrodo Ag/AgCl (Tabla 3) obtenidos en campo y los de laboratorio para medio aeróbico inoculado.

Los resultados electroquímicos, generados se representan en las curvas de Nyquist, vistas en la Figura 10, donde el Al 3003 expuesto en medio sin inóculo, indica una baja resistencia inicial a la corrosión, siguiéndole un incremento a lo largo del tiempo de exposición. Esto puede relacionarse a la formación inicial de una película protectora.

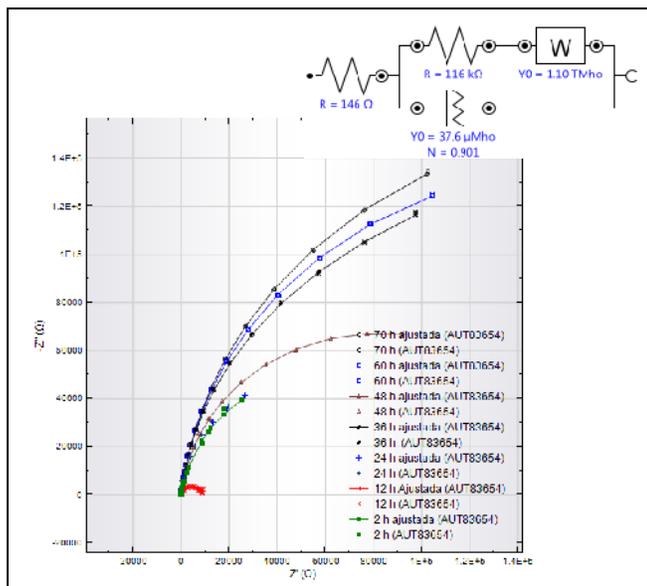


Fig. 10. Curvas de Nyquist de los tiempos de evaluación en medio sin inoculo (Control).

Observando el circuito equivalente que se ajusta al comportamiento de las curvas obtenidas, puede diferenciarse la resistencia del electrolito, de transferencia de carga y una resistencia difusional (Warburg). Los parámetros del elemento de fase constante (Yo,N) describen la irregularidad superficial del material, el cual actúa como un capacitor.

El registro de datos generados por el ajuste de las curvas de Nyquist (Tabla 4), permitió dilucidar que las diferentes resistencias se incrementaron con los tiempos de exposición, resaltando la difusión de oxígeno como posible mecanismo que influye en la actividad del Al 3003 en el medio control.

Tabla 4. Registro de parámetros obtenidos por EIS en el medio control (sin inoculo).

TIEMPO (h)	R1 (Ω)	Rct (Ω)	Yo	N	W (Ω)
2	145,78	1,16E+05	#N/A	#N/A	#N/A
12	220,47	7,01E+03	5,69E-05	0,96	1,46E-03
24	233,19	7,82E+04	5,69E-05	0,96	1,46E-03
36	242,46	1,86E+09	5,62E-01	0,94	4,76E-01
48	190,1	1,30E+05	5,80E-05	0,93	1,58E-04
60	217,59	2,48E+05	5,69E-05	0,93	8,34E-05
70	217,97	2,70E+05	5,66E-05	0,93	6,57E-05

Puede inferirse una disminución de la velocidad de corrosión, a través de las resistencias de transferencia de carga obtenidas en los diferentes periodos.

Las curvas de Nyquist con medio inoculado se presentan en la Figura 11. Evidenciando una baja resistencia a la transferencia de carga a las 2 horas, pero con un incremento drástico (300%) a las 12 h, cuya fluctuación llega a su máximo a las 36 h, valores cada vez menores a lo largo del tiempo de exposición, lo cual puede deberse a la formación de barreras protectoras, deduciendo que sean producto de película pasiva propia del Al 3003 en presencia oxígeno, y a la actividad bacteriana en el mismo.

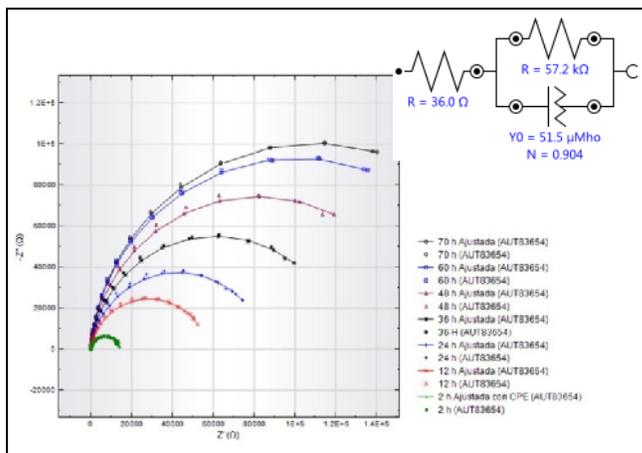


Fig. 11. Curvas de Nyquist de los tiempos de evaluación en medio inoculado.

Las curvas de Nyquist en medio inoculado se ajustaron acordeamente con el circuito equivalente conocido como Randles, con un comportamiento capacitivo representado por el elemento de fase constante. Los valores por tiempo son registrados en la Tabla 5.

Tabla 5. Registro de parámetros obtenidos por EIS en medio inoculado

TIEMPO (h)	R1 (Ω)	Rct (Ω)	Yo	N
2	34,2	1,42E+04	5,79E-05	0,87
12	36	5,72E+04	5,15E-05	0,9
24	33,75	8,56E+04	4,90E-05	0,91
36	34,2	1,20E+05	4,78E-05	0,93
48	30,6	1,64E+05	4,78E-05	0,94
60	50,45	2,02E+05	4,64E-05	0,95
70	10,63	2,19E+05	4,55E-05	0,94

A partir de los registros se analiza la tendencia del valor inverso de las resistencias de transferencia de carga obtenidas como indicador de la velocidad de corrosión uniforme, lo cual puede evaluarse comparativamente entre el comportamiento del Al 3003 en medio control e inoculado. (Figura 13).

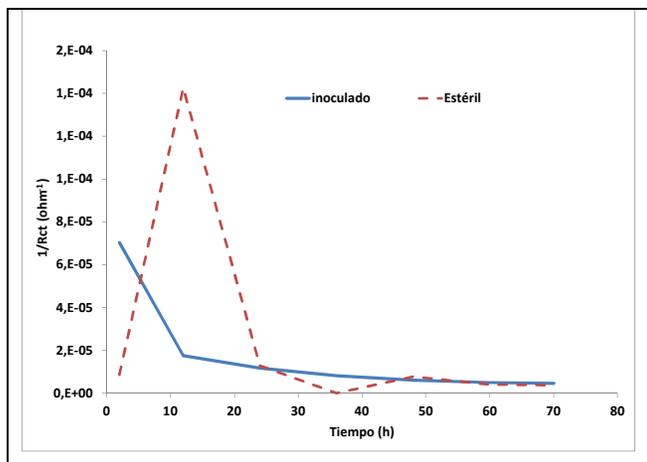


Fig. 12. 1/Rct del al 3003 expuesto en medio control e inoculado.

La inversa de la transferencia de carga (Rct), permite inferir la conformación de una barrera protectora a la corrosión uniforme, a un menor tiempo en el Al expuesto al medio inoculado. En cambio, en el medio control (estéril) la barrera alcanza la estabilidad a las 48 h. Alcanzando valores similares de protección ambas condiciones. Al respecto, se deduce que el metabolismo bacteriano (consumidor de oxígeno) contribuye al desarrollo de un proceso de corrosión por activación. Y en su ausencia prevalece un proceso mixto (activación y difusión).

La microscopia de epifluorescencia permitió cuantificar el desarrollo poblacional en las probetas de laboratorio, reportándose células sésiles en 10, 11 y 16 ($\times 10^6$ cel/cm²), para 24, 48 y 72 h, respectivamente. Evidenciado con SEM la adherencia celular sobre el Al 3003, observando (Figura 13) la conformación de aglomeraciones celulares de la cepa BHT utilizada; sin embargo no se distinguen interfaces bioorgánicas consolidadas. Por lo cual, se puede asumir que el efecto

barrera detectado electroquímicamente, o disminución de la velocidad de corrosión, es un proceso mixto en donde además de la película inorgánica del Al 3003, el consumo de oxígeno de estas cepas tienen una influencia positiva en la corrosión uniforme del material.

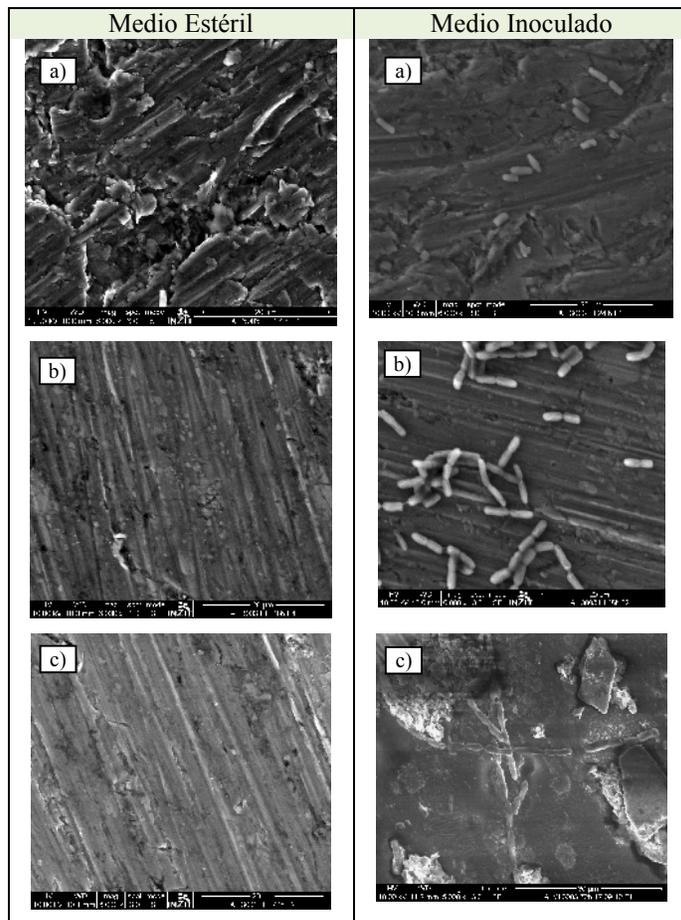


Fig. 13. Micrografías de las probetas del laboratorio. Inmersas en ambos medios de estudio (estéril e inoculado) durante: a) 24h (6000X), b) 48 h (6000X) y c) 72 h. (6000X y 5000X).

Las micrografías anteriores, permiten diferenciar la superficie de las probetas en medio estéril, expuesta en igual tiempo que las del medio inoculado, observando que con las poblaciones celulares aun se diferencian los patrones de lijado, es decir que no se visualiza cambios superficiales.

Las probetas decapadas permiten detallar una superficie libre de daños localizados significativos, lo cual se evidencia en la Figura 14. La cual se puede comparar con

la superficie de una probeta preparada superficialmente previa exposición a medios (Figura 15), corroborando que la actividad bacteriana no generó una influencia negativa sobre el material.

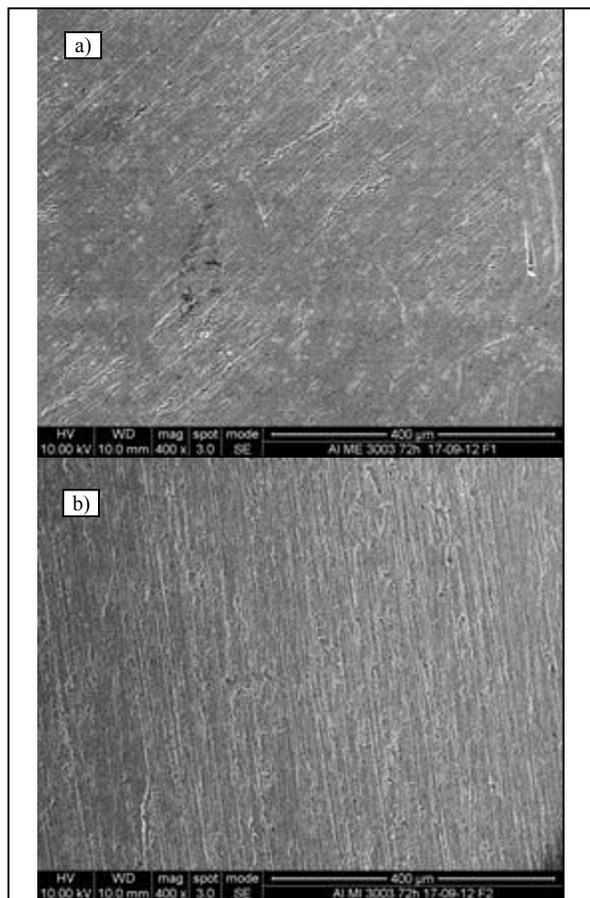


Fig. 14. Micrografía de probeta decapada expuesta 72 h a) en medio estéril b) en medio inoculado. 400X.

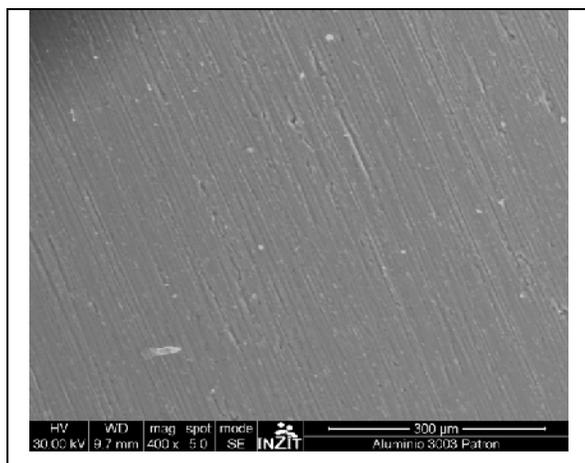


Fig. 15. Micrografía de probeta lijada, sin exposición. 400X

CONCLUSIONES

El SEM permitió inferir que la protección del Al 3003 registrado electroquímicamente, puede deberse al consumo de oxígeno, tanto de las bacterias planctónicas (las que se encuentran en el medio), como de las sésiles (aglomeraciones adheridas en el material) y no a una interfase bioorgánica en medio bacteriano heterótrofo y aeróbico.

En las condiciones experimentales establecidas se determinó que la actividad del Al 3003 en medio aeróbico ante la presencia de microorganismos heterótrofos es menos agresiva que en ausencia de los mismos.

La exposición del Al 3003 al medio real del Lago, genera en su superficie bioensuciamiento significativo constituido por protozoos, microalgas y bacterias, sin que llegue a organizarse una biopelícula consolidada y ataque corrosivo significativo, en los períodos de exposición estudiados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el respaldo del FONACIT por el apoyo financiero para la elaboración del Proyecto PEI No. 2011001091 “Diseño, desarrollo y caracterización de aleaciones de Aluminio nacional para su diversificación en aplicaciones de transporte lacustre expuesto a medios con alta incidencia biológica”. A PDVSA Operaciones acuáticas, por el apoyo en el resguardo y ubicación de los cupones en muelle Sur. Así mismo, a la valiosa colaboración del operador del SEM Lcdo Ricardo Morales. Al Lcdo. Miguel Ramos por su apoyo con la DRx. A la M.Sc. Karina Balzan por los contajes celulares y al ayudante de Laboratorio de Biodeterioro TSU. Cesar Sánchez. Así mismo al personal de Servicios Técnicos y

Mantenimiento, que han colaborado en los diferentes requerimientos operativos y análisis del estudio.

REFERENCIAS

- [1] Paredes-Dugarte S., Hidalgo-Prada B., Ávila-Godoy R. y Briceño-Valero M. (2007) "Study of pitting corrosion of the commercial aluminium alloy AA3003 in saline environment" *Revista Técnica de Ingeniería, Universidad del Zulia*. 30: (Edición Especial) 168 - 177.
- [2] Jafarzadeh, K., T.Shahrabi, M.G.Hosseini. (2008) "EIS Study on Pitting Corrosion of AA5083-H321 Aluminum-Magnesium Alloy in Stagnant 3.5% NaCl Solution" *J. Mater. Sci. Technol.*
- [3] Liu Y., Meng G. Z., Cheng, Y. F. (2009) "Electronic structure and pitting behavior of 3003 aluminum alloy passivated under various conditions". *Electrochimica Acta* 54: 4155 - 4163
- [4] M. Callow, J. Callow. (2002) "Marine biofouling: a sticky problem". *Biologist (London)*. 49: 1-5.
- [5] Solange Y. Paredes Dugarte (2005) "Corrosión en Medio Ambiente Salino de la Aleación Comercial de Aluminio CVG – Alcasa 3003 con Temple H14, H16 y H18". Trabajo de grado para optar al título de Magíster Scientiarum en Ciencia de los Materiales.
- [6] ICLAM (instituto de conservación del Lago de Maracaibo. (2011) "Monitoreo ambiental regional del Lago de Maracaibo. Informe Técnico" División Calidad de Agua, Gerencia de Investigación Ambiental, Instituto de Conservación del Lago de Maracaibo (ICLAM).
- [7] NACE International Field Monitoring of Bacterial Growth in oilfield systems. Standard Test Method. NACE TM0194-94. Item No. 21224. 1994.
- [8] Vargas A., Duque Z. y Romero M. (2007) "Sonication parameters for detachment and study of biocorrosion's biofilms" Centro de Estudios de Corrosión, Universidad del Zulia. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*. 30(3):216 – 224.
- [9] ASM. Metals Handbook, 9th ed., vol. 9, Metallography and Microstructures (Materials Park, OH: ASM Int., 1985).
- [10] Ocando, Lisseth. (2006) Efecto de los iones ferrosos, el pH y el H₂S a nivel de interfase en el mecanismo de corrosión del hierro por bacterias sulfato-reductoras. Trabajo de Grado para optar al Grado de Magíster Scientiarum en Corrosión.