

The atmospheric corrosivity maps in Zulia region

Álvaro Rincón, Oladis T. de Rincón, Raquel Rodríguez, Nathalie Romero
y Ana Ismenia de Rincón

Centro de Estudios de Corrosión, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia.
Tele-Fax: 0261-7598175. Apartado Postal: 10482. E-mail: alvarorinconpaz@hotmail.com

Abstract

In this research a one-year study was run, for two different periods, in eight test stations of the Zulian Region, in which the corrosion rate of steel SAE1010 and 99% copper were evaluated by weight loss. Samples of 10×15cm were exposed to the prevailing wind direction in the natural environments, on racks with 45° inclination. Deposition rates of chloride ions, sulfur dioxide, atmospheric dust, and the meteorological variables with greater incidence were determined. The Planetario was the most aggressive station for the steel, with 26.10 $\mu\text{m}/\text{year}$, and the T. Bachaquero test site for copper with 8.96 $\mu\text{m}/\text{year}$. In the repetition study for the first year of exposure, a comparative decrease from C5 to C4 was found, which was due to the faster formation of the protector patina as a result of the increment in contaminants deposition. Later, the Zulian maps of atmospheric corrosion for steel and copper were constructed, using pies to report the results, where the diameter of the pie represents the corrosion rate of the material in each zone and the size of the pie portions represent the effect of each variable in the atmospheric corrosion process.

Key words: Corrosion maps, atmospheric corrosion, steel, copper, Zulia region.

Mapas de corrosividad atmosférica del estado Zulia

Resumen

En esta investigación se planificó un año de exposición, para dos periodos distintos, en ocho estaciones de la región zuliana, en el cual se determinó la velocidad de corrosión del acero SAE1010 y cobre 99% por el método de pérdida de masa. A tal efecto, se utilizaron placas, de 10×15cm, expuestas a la intemperie, en la dirección de los vientos preferenciales, en bancos de 45° de inclinación. Además, se cuantificó la velocidad de deposición de los iones cloruros, dióxido de azufre, y el polvo atmosférico, junto con las variables climatológicas de mayor incidencia. El Planetario fue la estación de mayor agresividad para el acero, con 26,10 $\mu\text{m}/\text{año}$, y la estación T. Bachaquero para el cobre con 8,96 $\mu\text{m}/\text{año}$. En el estudio de repetición del primer periodo se encontró que para el cobre se produjo un descenso comparativo de C5 a C4. Esto debido a la formación más rápida de la patina protectora como consecuencia del incremento de la deposición de contaminantes. Luego se construyeron los mapas zulianos de corrosividad atmosférica para el acero y el cobre, empleando tortas para reportar los resultados, donde el diámetro de la torta representa la velocidad de corrosión del material en esa zona y el tamaño de las porciones de la torta representan el efecto de cada variable en el proceso de corrosión.

Palabras clave: Mapas de corrosividad, corrosión atmosférica, acero, cobre.

Introducción

El estado Zulia está ubicado en el extremo noroccidental del territorio venezolano. Está limitado por el norte con el Mar Caribe a través del

Golfo de Venezuela, al sur por los estados Mérida y Táchira y la República de Colombia; al este por los estados Falcón, Lara y Trujillo. Sus coordenadas geográficas son: 8° 21' 40" y 11° 51' 13" de latitud norte y 70° 39' 50" y 73° 22' 43" de longitud

oeste [1]. El estado está caracterizado por tener un clima que va de semiárido (seco y caliente) en la zona norte hasta un clima húmedo tropical lluvioso en la zona sur [2].

La actividad económica que se desarrolla en la región Zuliana va desde un alto potencial agrícola hasta la explotación del petróleo, produciendo cambios significativos en el contenido de aeroquímicos en la atmósfera, lo cual genera una mayor agresividad de la misma sobre los equipos y estructuras metálicas expuestas al aire libre; ya que la corrosividad atmosférica no es una característica exclusiva del metal, sino que depende del tipo de atmósfera donde este se encuentre expuesto. Es por ello que resulta útil disponer de un índice general de agresividad y corrosividad de los diferentes macro y microclimas de la región que interrelacione las variables climatológicas y agentes aeroquímicos agresivos para determinar su influencia en el proceso de corrosión atmosférica de los materiales.

Para esto se dispone de los mapas de corrosividad atmosférica, donde a través de los mismos es posible la orientación respecto a las medidas protectoras a adoptar para la conservación de una estructura metálica, en la planificación de una obra, para especificar el material a utilizar, tipo y características de los sistemas de protec-

ción contra la corrosión atmosférica y la frecuencia de mantenimiento.

En este trabajo se presentan los mapas de corrosividad atmosférica del estado Zulia usando los resultados obtenidos durante el primer año de evaluación para el acero SAE 1010 y Cobre 99%.

Procedimiento Experimental

La construcción de los mapas de corrosividad atmosférica del Estado Zulia se ajustó a las normas ISO/DP 9223, 9224, 9225 y 9229 [3], y el mapa climatológico de Koeppen. Este procedimiento puede ser esquematizado en orden secuencial de la manera siguiente:

Localización de las diferentes estaciones de ensayo: Se realizó según la clasificación de Koeppen (Figura 1). En general, estas estaciones se escogieron de manera tal que representaran la mayoría de los climas de la Región Zuliana.

Montaje de las estaciones: Los bancos de ensayos de las diferentes estaciones fueron construidos en acero galvanizado con una inclinación de 45° y las placas de los diferentes materiales evaluados fueron colocadas en dirección de los vientos preferenciales [4].

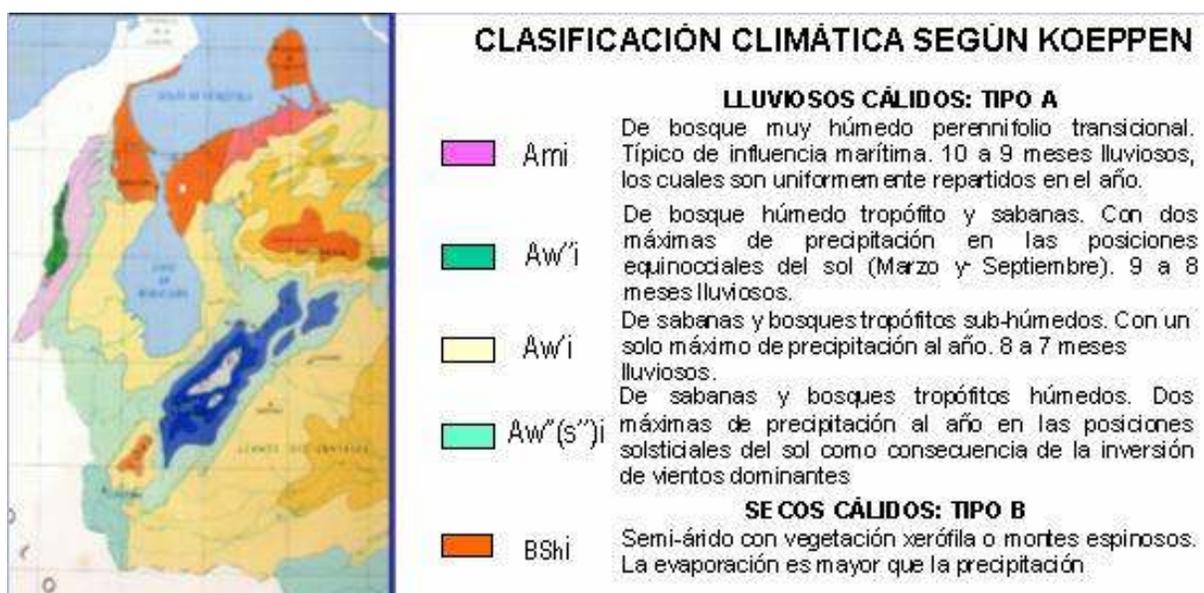


Figura 1. Distribución climática del estado Zulia según Koeppen [2].

Instalación de placas: Se instalaron dos materiales: Acero SAE 1010 (acero de bajo contenido de carbono) y Cobre 99%.

Parámetros evaluados: Para la clasificación de la corrosividad atmosférica se evaluaron los siguientes parámetros: velocidades de deposición de dióxido de azufre (P) y de cloruros (S), polvo sedimentable, humedad relativa (HR), tiempo de humectación (t_r), temperatura, precipitación, velocidad y dirección de los vientos.

Construcción de los mapas: El procedimiento general para la construcción de los mapas utilizando tortas con todos los detalles se encuentra definido en el trabajo "A New Visión of Atmospheric Corrosivity Maps" [5].

Resultados y Discusión

En las Tablas 1 y 2 se muestran los datos de dos periodos de evaluación distintos 1995, 1996, 1997 y 2000-2001 pertenecientes al Acero SAE 1010 (acero de bajo contenido de carbono), y Cobre 99%. Con los datos mostrados anteriormente se procedió a realizar la construcción de los mapas de corrosividad atmosférica del estado Zulia para los distintos materiales utilizando para ello tortas en lugar de isóneas o colores. Esta técnica novedosa ya ha sido utilizada para la construcción del mapa de corrosividad atmosférica de Venezuela [4].

Los diámetros de las tortas de los mapas proporcionan una información importante, ya que el diámetro de las mismas representa la agresividad real de la atmósfera. Para no obtener tortas de tamaños relativamente pequeños que impiden visualizar claramente los resultados se hace necesario utilizar un diámetro mínimo de 1,5 cm y uno máximo de 4,0 cm. De tal manera que para calcular el diámetro de las tortas restantes se hace necesario utilizar la siguiente ecuación:

$$d = 2,5 (VC - VC_{\min}) / (VC_{\max} - VC_{\min}) + 1,5$$

donde:

d : Diámetro de la torta, cm

VC : Velocidad de corrosión del material en la estación de estudio, $\mu\text{m}/\text{año}$ (Tabla 1)

VC_{\min} : La menor velocidad de corrosión determinada, $\mu\text{m}/\text{año}$ (Tabla 1)

VC_{\max} : La mayor velocidad de corrosión determinada, $\mu\text{m}/\text{año}$ (Tabla 1).

Por lo tanto aplicando la ecuación anterior se puede determinar la velocidad de corrosión midiendo el diámetro de cada torta.

Acero SAE 1010

En la Figura 2 se puede analizar el comportamiento de la velocidad de corrosión atmosférica para este metal en las distintas estaciones de ensayo.

A través de las tortas se observa que las estaciones V. Bachaquero y Planetario presentan las mayores velocidades, 28,35 y 26,03 $\mu\text{m}/\text{a}$, hecho que se explica al considerar los niveles de partículas de sales de cloruros, característicos de atmósferas con cercanía a las costas marinas (S2), que unido a la alta humedad y temperatura, convierten la zona en un ambiente de corrosividad alta ("C4") a diferencia de los demás. Sin embargo, al medir la velocidad de corrosión, mediante el método gravimétrico, se observa que la velocidad de corrosión baja a "C3". Esto se debe a que en general para el acero existe una sobre estimación cuando se utilizan los parámetros meteorológicos.

Sin embargo, parece contradictorio que sea en la zona de V. Bachaquero donde se registre la máxima velocidad, debido a que en la estación Planetario ocurre una mayor deposición de contaminantes, tanto de cloruros como de dióxido de azufre; lo que conlleva a examinar las variables meteorológicas con el fin de establecer su influencia en este comportamiento. Es posible notar que la condición propicia para que se inicie el proceso corrosivo se da con mayor continuidad en la estación V. Bachaquero, ya que el tiempo de humectación supera en cantidad al medido en Planetario, lo que motiva la obtención de estos resultados.

Es de especial consideración las características obtenidas entre las estaciones V. Bachaquero y T. Bachaquero, cercanas entre sí, pero con una diferencia marcada.

La estación T. Bachaquero muestra una velocidad hasta cuatro veces menor a la antes nombrada, 6,24 $\mu\text{m}/\text{a}$, a pesar de que se tiene la influencia de las variables meteorológicas en exactamente la misma proporción, ya que los datos

Tabla 1
Promedio anual de variables bajo estudio
correspondiente al periodo de evaluación (1995-1996, 1997)

Estación de Ensayo	Variables Meteorológicas										VC en Campo		Norma ISO 9223			
	Temp (°C)	HR (%)	ftDH (fr)	Lluvia (mm/a)	Viento (m/s)	SO ₂ (mg/m ² .d)	Cl ⁻ (mg/m ² .d)	VC Acero (µm/a)	VC Cobre (µm/a)	Acero	Cobre	Acero	Cobre	Acero	Cobre	
Planetario	28,50	80	0,47	583,00	5,85	8,28	31,52	26,10	6,97	C3	>C5	C3	C3	C3		
Base Aérea	28,22	76	0,50	444,00	3,34	8,61	14,25	21,20	3,74	C2	C5	C3	C3	C3		
Canalizaciones	28,88	75	0,50	681,50	3,24	4,99	21,62	19,00	3,32	C2	C5	C3	C3	C3		
Pta. de Palma	29,06	81	0,51	817,90	1,43	13,47	35,78	22,20	4,81	C2	C5	C3	C3	C3		
Tablazo I	27,60	78	0,55	188,30	5,80	7,65	35,56	25,2	4,32	C3	C5	C3	C3	C3		
Tablazo II	27,60	79	0,55	361,40	5,66	14,44	59,64	NE	2,85	NE	C5	NE	NE	C3		
V. Bachaquero	28,86	80	0,54	736,20	4,11	10,74	33,72	NE	2,78	NE	C4	NE	NE	C3		
T. Bachaquero	28,86	80	0,54	736,20	4,11	30,47	23,39	NE	8,96	NE	>C5	NE	NE	C3		

V_c = Velocidad de Corrosión. ftDH = Fracción del tiempo de humectación. NE = No se evaluó.

Tabla 2
Promedio anual de variables bajo estudio
correspondiente al periodo de evaluación (2000-2001)

Estación de Ensayo	Variables Meteorológicas										VC en Campo		Norma ISO 9223		
	Temp (°C)	HR (%)	fTDH (fr)	Lluvia (mm/a)	Viento (m/s)	SO ₂ (mg/m ² .d)	Cl ⁻ (mg/m ² .d)	VC Acero (µm/a)	VC Cobre (µm/a)	Acero	Cobre	Acero	Cobre	Acero	Cobre
Planetario	28,62	82	0,467	532,90	6,31	16,32	83,23	26,03	4,78	C3	C5	C4	C4	C4	C4
Base Aérea	27,56	73	0,548	514,90	1,07	16,57	46,55	23,15	1,51	C2	C4	C3	C3	C3	C3
Canalizaciones	29,18	75	0,504	529,30	3,36	8,60	47,86	14,69	1,35	C2	C4	C3	C3	C3	C3
Pta. de Palma	29,28	82	0,508	621,30	1,48	27,31	53,64	21,97	1,94	C2	C4	C3	C3	C3	C3
Tablazo I	27,60	78	0,548	188,30	5,80	9,11	50,57	15,62	2,26	C2	C4	C3	C3	C3	C3
Tablazo II	27,60	79	0,545	361,40	5,66	10,10	68,86	11,02	1,67	C2	C4	C4	C4	C4	C4
V. Bachaquero	28,56	81	0,537	1026,30	1,18	10,73	65,39	28,35	2,87	C3	C5	C4	C4	C4	C4
T. Bachaquero	28,56	81	0,537	1026,30	1,18	35,95	50,49	6,24	2,99	C2	C5	C4	C4	C4	C3

Vc = Velocidad de Corrosión. fTDH = Fracción del tiempo de humectación. NE = No se evaluó.

corresponden al mismo período de evaluación (son iguales). La diferencia estriba en los tipos de agentes contaminantes. La deposición de dióxido de azufre es más alta en T. Bachaquero y el nivel de cloruros no difiere mucho al de la estación V. Bachaquero, lo que conlleva a suponer que el mecanismo seguido para la corrosión del acero en la estación T. Bachaquero es el desarrollado por Schwartz [6], donde la formación de nidos de sulfatos, debido a la alta cantidad de compuestos de azufre presente, controlan su propagación a través de la hidrólisis del sulfato ferroso que se forma. La presión osmótica puede llegar a reventarlos aumentando así la velocidad de corrosión. Los mencionados nidos están recubiertos de una membrana que contiene FeOOH (oxihidróxidos) y cuanto mayor es el contenido en FeOOH amorfo tanto mayor es la estabilidad de esta membrana y más difícil que se agriete por efecto de la presión osmótica y de las repetidas humectaciones y secados de la capa de herrumbre. Lo mencionado anteriormente explica el porqué teniendo un alto contenido de sulfatos, el acero tiene una corrosividad menor en T. Bachaquero.

Por otra parte, ambientes urbanos y marinos como Base Aérea y Punta de Palma muestran una velocidad de corrosión relativamente baja, 23,15 y 21,97 $\mu\text{m/a}$ respectivamente. La diferencia puede explicarse en el hecho de que en Punta de Palma la pluviosidad es mayor provocando el lavado de los contaminantes sobre la placa.

El acero presentó la menor velocidad de corrosión en la estación Tablazo II (11,02 $\mu\text{m/a}$), la cual se ubica en la categoría C2 lo que implica una atmósfera de baja corrosividad. Es seguida por la estación Canalizaciones (14,69 $\mu\text{m/a}$) donde los niveles de contaminación y los datos de algunas variables meteorológicas (HR, TDH y lluvia) resultaron ser más bajos.

La diferencia existente entre Tablazo I y Tablazo II con respecto a la velocidad de corrosión se debe al descenso de las precipitaciones y a un tiempo de humectación mayor.

Como complemento, la velocidad de corrosión del acero y consecuentemente las corrosividades atmosféricas estimadas en base a los factores meteorológicos supera en la totalidad de los casos, a las velocidades de corrosión reales registradas en las zonas evaluadas (Tabla 1 y 2).

Cobre 99%

La Figura 3 muestra el comportamiento de la velocidad de corrosión atmosférica del cobre en las zonas evaluadas.

Es de notar que en todas las estaciones de ensayo la velocidad de corrosión real supera a la estimada según la norma ISO 9223 (parámetros meteorológicos), a excepción de la estación Tablazo II donde coinciden ambas. Se infiere que esto se deba a la presencia de niveles de cloruros considerables en los microclimas estudiados, resultando en velocidades más altas a causa de la sensibilidad del cobre a la presencia del ion, el cual ejerce una influencia menor en el acero.

La agresividad de la atmósfera es muy alta ("C5") en las estaciones Planetario, V. Bachaquero y T. Bachaquero, registrando las mayores velocidades de corrosión con valores de 4,78, 2,87 y 2,99 $\mu\text{m/a}$ respectivamente.

Planetario tiene la más alta velocidad de viento (6,31 m/s) y por su cercanía a la costa contiene el mayor índice de deposición de cloruros (83,23 $\text{mg/m}^2 \text{d}$); lo cual aunado a la baja pluviosidad y a la alta humedad la convierten en la zona de mayor severidad para el cobre.

En la estación de T. Bachaquero se observa una menor deposición de cloruros, y de dióxido de azufre que en el caso de V. Bachaquero (10,73 $\text{mg SO}_2/\text{m}^2 \text{d}$), pero se incrementan las precipitaciones produciendo el lavado de la placa; trayendo como resultado una incidencia menos marcada en la corrosión del cobre, en comparación con Planetario.

El resto de las estaciones (Base Aérea, Canalizaciones, Punta de Palma, Tablazo I y II) están situadas en atmósferas de corrosividad alta ("C4"), con velocidades que oscilan entre 1,35 y 2,26 $\mu\text{m/a}$.

En la estación Tablazo I, entre las estaciones mencionadas, se acentúa la corrosión del cobre (2,26 $\mu\text{m/a}$), debido básicamente a las bajas precipitaciones y a un mayor tiempo de humectación, obviando la acción de los contaminantes ya que existen otras estaciones con mayor registro de contaminantes como Punta de Palma y Tablazo II, las cuales, por no presentar dicha combinación registran menores velocidades de corrosión.

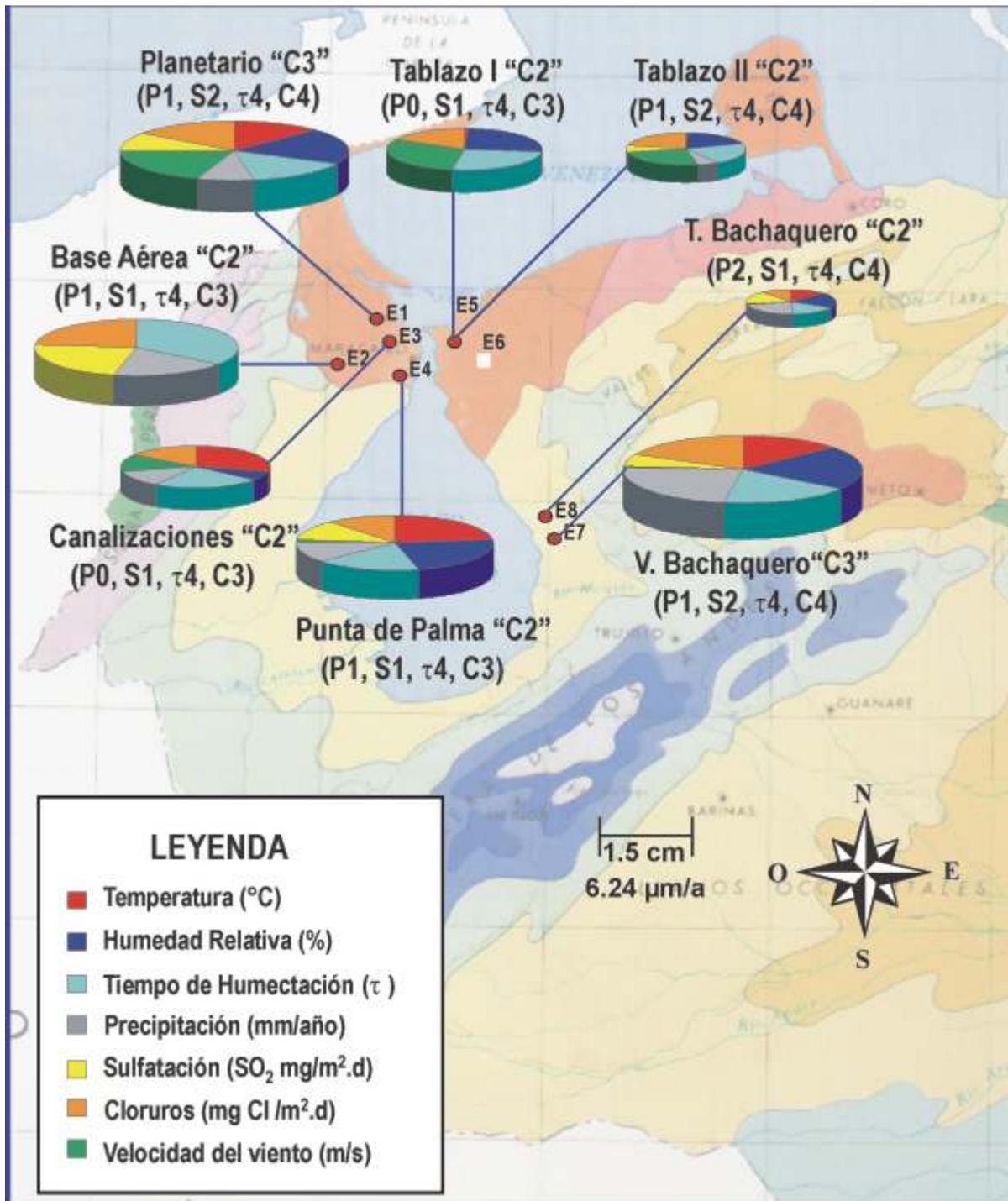


Figura 2. Mapa zuliano de corrosividad atmosférica para el Acero SAE 1010 correspondiente al segundo periodo de evaluación (2000-2001). "C" categoriza la velocidad de corrosión real.

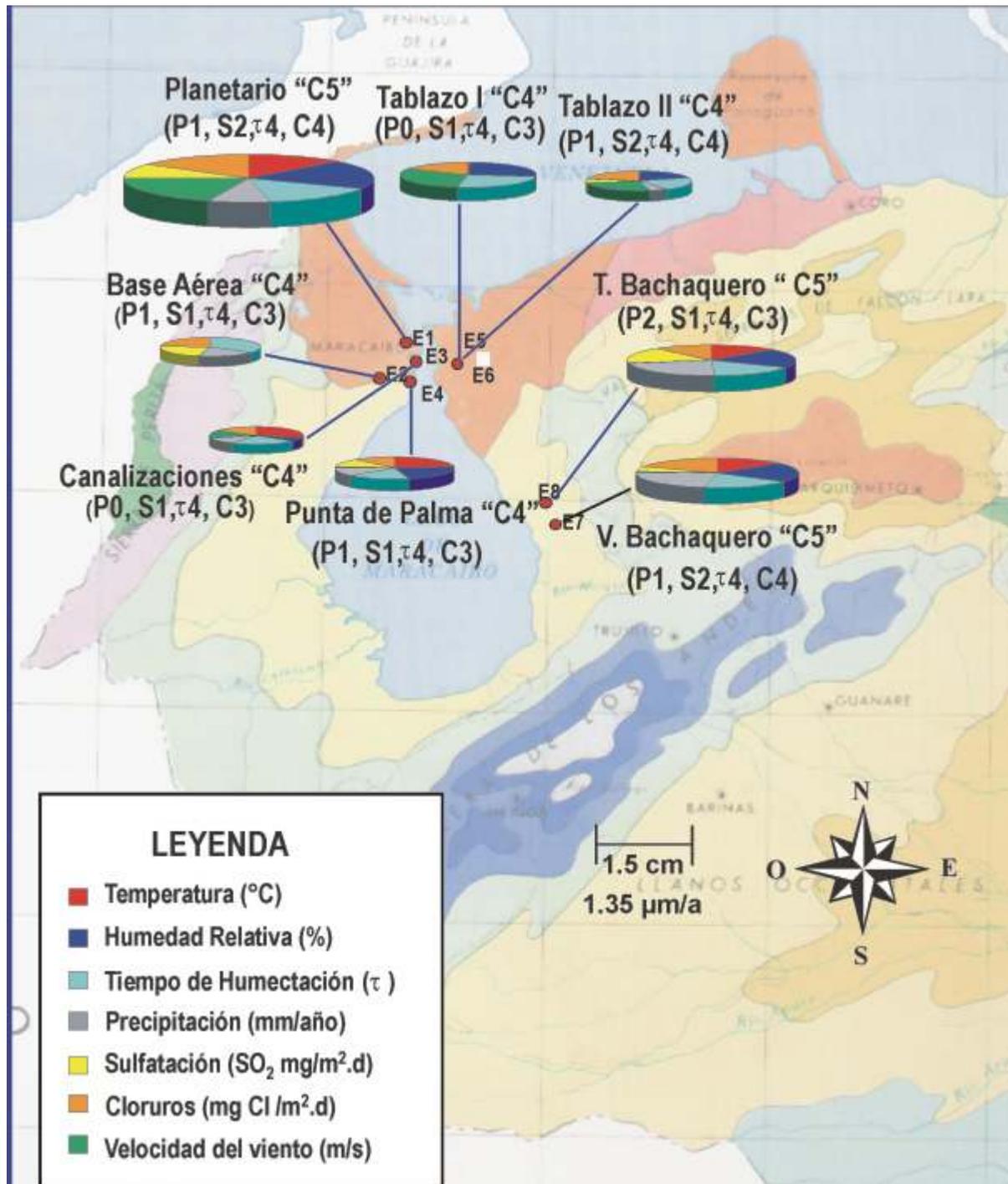


Figura 3. Mapa zuliano de corrosividad atmosférica para el Cobre 99 % correspondiente al segundo periodo de evaluación (2000-2001). "C" categoriza la velocidad de corrosión real.

La estación Canalizaciones registra la menor velocidad de corrosión ($1,35 \mu\text{m/a}$) debido a que presenta una baja humedad relativa, un tiempo de humectación de 0,504, y un grado de contaminación mínimo, en comparación con el resto de las estaciones.

Comparación entre los Periodos de Evaluación

Acero SAE 1010

Durante la repetición del primer año se podría decir que en la mayoría de los casos la corrosión del acero disminuye, pero no tan notablemente como en el caso de Tablazo I y Canalizaciones ($10 \mu\text{m/a}$ y $4 \mu\text{m/a}$ de diferencia). Tal diferencia se debe a las altas temperaturas presentes en dichas estaciones y a la lluvia en Canalizaciones, ya que el resto de las variables en algunos casos aumentaron (casi el doble).

En la evaluación de las demás estaciones se puede observar que a pesar del aumento en la deposición de agentes contaminantes, la velocidad de corrosión no es proporcional a este, estos solos no son determinantes en el proceso corrosivo, sino que existe una relación cualitativa entre la velocidad de pérdida de masa del acero, y la combinación de parejas de factores climáticos y agentes aeroquímicos.

Cobre 99%

La velocidad de corrosión del cobre correspondiente al segundo periodo de evaluación, registra una disminución considerable en cada una de las estaciones de ensayo (excepto V. Bachaquero), si es comparada con la velocidad registrada en el primer estudio (1995-1996, 1997).

Dicho compartimiento se debe, a que gracias a la alta deposición de contaminantes, la formación de las patina protectora que modera el ataque se formó más rápidamente. Igualmente se mantienen los productos de corrosión formados en el primer periodo de evaluación.

En cuanto a la ubicación en el orden de corrosividad de las atmósferas, comparado con el primer periodo de evaluación, las estaciones Planetario y T. Bachaquero se mantienen entre las dos primeras más agresivas. La estación V. Ba-

chaquero que anteriormente era la menos agresiva pasa a ser la tercera en el orden de agresividad. El resto de las estaciones no muestra variación significativa en su ubicación.

Conclusiones

Debido a que para el segundo periodo de evaluación se tiene los resultados de todas las estaciones, los mapas fueron realizados en base a esta data y las conclusiones siguientes se refieren a las mismas:

El orden de agresividad para el acero SAE 1010 en las atmósferas del estado Zulia, nombradas en forma decreciente son: V. Bachaquero, Planetario, Base Aérea, Punta de Palma, Tablazo I, Canalizaciones, Tablazo II y T. Bachaquero (Figura 2).

La velocidad de corrosión del cobre 99% en el estado Zulia disminuye en el siguiente orden de ubicación: Planetario, T. Bachaquero, V. Bachaquero, Tablazo I, Punta de Palma, Tablazo II, Base Aérea y Canalizaciones (Figura 3).

El nivel de deposición de agentes contaminantes aumenta con el transcurso de los años a causa del crecimiento industrial aledaño a las zonas, contribuyendo de tal forma a la degradación de la atmósfera y a la variabilidad en la clasificación de las atmósferas del estado Zulia.

No existe un factor fijo para la evaluación de corrosividad, solo la acción de las variables, y su acertada interpretación depende de la combinación de pareja de factores meteorquímicos que hacen evidente la potencialización del ataque corrosivo.

La velocidad de corrosión estimada mediante las variables meteorquímicas, no necesariamente representa la verdadera velocidad de corrosión del material.

Referencias Bibliográficas

1. Olier, J. (1998). Atlas del Zulia. Geografía e Historia.
2. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales no Renovables. (1980). Atlas de Venezuela. Dirección de Cartografía Nacional.
3. Technical Committee ISO/TC156/WG4161, ISO 9223-9225,9229 (1992).

4. De Rincón, O. Rincón, A. de Romero, M. Sánchez, M. de Rincón, A. Prato, M. Fernández, M. y Grupo Venezolano de Corrosión Atmosférica. Mapas de Corrosividad Atmosférica de Venezuela. Revista Técnica, Vol 23, No 1(2000) 4-13.
5. T. de Rincón, O., Rincón, A., De Romero, M. Sánchez, M. De Rincón, A., Prato, M., Fernández, M. "A New Vision of Atmospheric Corrosivity Maps". Material Performance, Vol. 37 No 12 (1998) 48-53.
6. M. Morcillo y S. Feliu (1993) Mapas de España de Corrosividad Atmosférica. Programa CYTED. Madrid España

Recibido el 5 de Diciembre de 2003

En forma revisada el 08 de Marzo de 2004