

The atmospheric corrosivity maps in Venezuela

Oladis T. de Rincón¹, Alvaro Rincón¹, Matilde de Romero¹, Miguel Sánchez¹, Ana Ismenia de Rincón¹, María del Rosario Prato², Mariela Fernández² y Grupo Venezolano de Corrosión Atmosférica*

¹Centro de Estudios de Corrosión, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

²Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Coro, Venezuela

Abstract

The aggressiveness of the Venezuelan atmospheric environment was assessed by measuring climate and pollution factors and determining the corrosion rate of A-36 carbon steel, 3003 Al, Cu, and Zn. So, this paper presents the atmospheric corrosivity maps in Venezuela (MVCAT) for A-36 Carbon Steel, 3003 Al and Cu. This projects was developed by a group of Venezuelan interinstitutional researchers using the results obtained during the first year of evaluation. To that effect is therefore proposing a new concept for reporting the characterization of an atmosphere in a single map, allowing corrosion rate and meteorological and chemical parameters that chiefly affect each particular microclimate to be show there on. The new concept proposed herein comprises an atmospheric-corrosivity map consisting of pies, not isolines or colors as usually the case when reporting results. In a pie, it is very easy to establish climatological and corrosivity differences in the regions evaluated here in Venezuela, because the pie is subdivided into portions representing the weight of each variable under study, with the pie diameter being the corrosion rate for the material in that area. The corrosive characteristics of the region are likewise in the map in compliance with standard ISO 9223.

Key words: Atmospheric corrosion, maps, carbon steel A-36, pie.

Mapas de corrosividad atmosférica de Venezuela

Resumen

La agresividad de la atmósfera venezolana fue evaluada con la medición de los factores climáticos y poluentes, y con la determinación de la velocidad de corrosión de acero al carbono A-36, aluminio 3003, cobre y cinc por cinco años en 14 estaciones de ensayo. Así, en este trabajo se presentan los Mapas de Corrosividad Atmosférica de Venezuela (MVCAT), para el acero al carbono A-36, aluminio y cobre, desarrollado por un grupo de investigadores interinstitucionales del país usando los resultados obtenidos durante el primer año de evaluación. A tal efecto se utilizó una nueva visión para reportar la caracterización de la atmósfera en un solo mapa, permitiendo mostrar la velocidad de corrosión y los parámetros meteorológicos que mayormente influyen en cada microclima en particular. La nueva concepción que se muestra en este trabajo consiste en un mapa de corrosividad atmosférica construido con tortas y no con puntos o isolíneas como normalmente se han venido reportando los resultados. En la torta se puede fácilmente establecer el efecto de las variables meteorológicas en la corrosividad de los diferentes microclimas del país, ya que la misma es subdividida en porciones representativas del peso de cada variable estudiada y el diámetro de la torta representa la velocidad de corrosión del material en esa zona. En el mapa igualmente se reportan las características corrosivas de la región según la norma ISO 9223.

Palabras clave: Corrosión atmosférica, mapa, acero al carbono A-36, torta.

* María del R. Prato (UNEFM), Miguel Pérez (PPP), Mariela Fernández (UNEFM), Alejandro Alvarez (USB/NUL), Martha Diaz (USN/NUL), Oladis de Rincón (LUZ), Bernardo Leighton (USB), Roberto Rêquiz (USB), Juan Pedro Pomares (SIDOR), Carmelo Dona (SIDOR), Linda Gil (UNEXPO), Ovidio León (UNEXPO), Olivia Palacios (UNELLEZ), Pilar de Haddad (UDO), Matilde de Romero (PEQUIVEN), César Vega (ULA), Carmen Rodríguez (VENEMAICA), Freddy González (FAV), Ricxis Brito (La Armada).

Introducción

Conocer la corrosividad atmosférica de una región, ciudad o país es considerado de sumo interés para los grandes industriales e inversionistas que requieren conocer el impacto corrosivo de la atmósfera en los materiales de uso común, como son el acero al carbono, cinc, cobre y aluminio. Es por ello que en Iberoamérica se ejecutó el proyecto MICAT (Mapa Iberoamericano de Corrosividad Atmosférica) [1] enmarcado dentro del programa CYTED (Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo), donde diferentes países unificaron criterios y conocimientos para evaluar la corrosividad atmosférica y el efecto de los parámetros meteorológicos en la misma, mostrando esta información en mapas.

Hasta el momento se han utilizado diferentes formas de mostrar los resultados. Es así como España [2] presenta sus mapas utilizando diagramas tridimensionales "Corrosión/nivel de SO_2 /nivel de cloruros" y coloreando las regiones de acuerdo con el grado de corrosividad, Portugal [3] publica varios mapas por contaminantes (SO_2 , Cl), tiempo de humectación y categorías de corrosividad según las normas ISO, utilizando diagramas de barras. Cuba [4], en donde se dispone de una gran cantidad de estaciones, ha caracterizado sus atmósferas utilizando mapas similares a los obtenidos por Koeppen [5] (coloreando las regiones según el grado de corrosividad).

En otros países fuera de Iberoamérica también se han presentado diversidad de mapas, incluyendo mapas con isolíneas de corrosión [6], lo cual representa una de las mejores formas de reportar los resultados; sin embargo, esto requiere de un gran número de estaciones lo cual resulta en la mayoría de los casos muy costoso. Cuando no se dispone de esta vasta información es necesario buscar alternativas que permitan visualizar fácilmente la información recopilada. En Venezuela se desarrolló una nueva metodología para presentar los mapas de corrosividad [7], donde se reporta la caracterización de la atmósfera en un solo mapa, permitiendo mostrar la velocidad de corrosión y los parámetros meteorológicos que mayormente influyen en cada microclima en particular. Así en este trabajo se presentan los Mapas de Corrosividad Atmosférica de Venezuela, desarrollados por un grupo de investigadores in-

terinstitucionales del país [8], usando los resultados obtenidos durante el primer año de evaluación del acero al carbono A-36, cobre y cinc.

Procedimiento Experimental

El procedimiento general llevado a cabo para la construcción del mapa venezolano se ajustó a las normas ISO/DP 9223, 9224, 9225 y 9229 [9] y a los mapas climatológicos de Koeppen, con las particularidades propias de los investigadores que participaron. 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 del país y que además, tuvieran estaciones meteorológicas en su zona de influencia.

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 evaluadas fueron colocadas en dirección de los vientos preferenciales.

Instalación de placas: Se instalaron siete materiales: acero de bajo contenido de carbono, acero patinable A-588 o SIDOR-ARCO, acero A-36, aluminio 3003, aluminio 1100, cobre 99.8% de pureza y cinc 98.7% [7]. Sin embargo, en este trabajo sólo se presentan los resultados obtenidos con el acero A-36, cobre y cinc.

Parámetros evaluados: Para evaluar la corrosividad atmosférica se evaluaron los siguientes parámetros: velocidad de deposición de sulfatos (P) y de cloruros (S), polvo sedimentable, humedad relativa (HR), tiempo de humectación (τ), 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 definidos en el trabajo "A New Vision of Atmospheric Corrosivity Maps" [9].

Resultados y Discusión

La Tabla 1 muestra los valores reales de velocidad de corrosión y los promedios anuales re-

Tabla 1
Valores de los promedios anuales de las variables bajo estudio

Estación	Variable									
	Temp (°C)	HR (%)	FTDH (t)	Lluvia (mm/año)	SO ₂ (mg/m ² .d)	Cl ⁻ (mg/m ² .d)	Viento (m/s)	VC acero (µm/año)	VC cobre (µm/año)	VC cinc (µm/año)
El Tablazo	28.20	83	0.61	666	6.01	63.33	5.80	29.40	5.67	13.53
Punto Fijo	26.90	79	0.59	316	4.43	31.33	3.60	21.92	3.31	0.65
Coro	26.50	77	0.58	414	3.61	35.76	6.20	14.47	2.74	0.39
Matanzas	27.00	82	0.56	1045	12.00	26.80	3.80	29.10	0.07	1.97
Barcelona	27.00	81	0.55	757	2.10	41.30	2.50	52.90	0.35	2.01
Puerto Cabello	26.50	84	0.67	807	0.00	33.60	3.20	37.30	4.5	4.34
La Voz	34.70	92	0.48	398	29.85	374.76	7.20	921.70	8.88	26.53
Maracaibo	28.20	83	0.61	666	0.10	22.00	3.50	21.98	-	-
Caracas	22.40	89	0.49	1354	0.00	0.00	2.00	16.20	-	-
Santo Domingo	23.10	83	0.49	2794	0.00	21.57	1.20	10.40	-	-
Puerto Ayacucho	25.00	74	0.43	2489	0.00	1.40	1.90	13.0	-	-
Mérida	19.50	82	0.46	1465	0.01	8.40	2.30	0.01	-	-
Guanare	26.20	79	0.33	1979	0.01	9.10	1.90	7.90	-	-
Tumeremo	25.60	89	0.67	1233	0.00	3.40	1.90	10.30	-	-

gistrados para las variables meteorológicas de mayor incidencia en el proceso global de corrosión atmosférica del acero al carbono, en las diferentes regiones del país. A los datos obtenidos se les aplicó un procedimiento que conllevó a obtener la nueva visión [9] de los mapas de corrosividad atmosférica construidos con tortas en lugar de isolíneas o colores. Esto debido al hecho de tener un número de estaciones relativamente pequeño, en función por supuesto del área del país, podría ser inadecuado reportar los resultados utilizando las técnicas convencionales.

En estos mapas, se estableció que el diámetro de la torta diera información relativa a la agresividad real de la atmósfera. Ahora bien, para poder obtener tortas no tan pequeñas que permitieran visualizar la corrosividad de la atmósfera y el efecto de los parámetros meteorológicos en la misma, se decidió utilizar un diámetro mínimo de 1.5 cm y un máximo de 4.0 cm. De tal manera que el diámetro del resto de las tortas se calculó así:

$$d = 2.5 (VC - VC_{\min}) / (VC_{\max} - VC_{\min}) + 1.5 \quad (3)$$

donde:

d: Diámetro de la torta, cm

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

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

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

De tal manera que la velocidad de corrosión del material, para cada estación, se calcula midiendo el diámetro de la torta y sustituyéndolo en la ecuación anterior. Para el caso del acero A-36, esto se calcula así:

$$VC = (21.2) d - (31.7) \quad (4)$$

Para el caso de la velocidad de corrosión del acero en la estación La Voz, el diámetro real es de 45 cm y no el medido en el mapa. Esto se ajustó de esta manera debido a la desproporcionalidad de la velocidad de corrosión en esta estación.

Así, las Figuras 2-4 presentan los mapas de corrosividad para el acero al carbono, cobre y cinc, incluyendo las categorías de corrosividad que toman en cuenta las características de la atmósfera, según ISO 9223 y la velocidad de corrosión real determinada sobre cada material ("C"). Como pue-

de observarse existe diferencia entre la corrosividad estimada y la real, siendo en general mayor la estimada; debido a que en la estimación el parámetro que mayor influye es el tiempo de humectación (τ); el cual en la mayoría de los casos es muy alto por tener Venezuela un clima tropical.

La ventaja de construir el mapa con tortas es que, además de representar adecuadamente los resultados, puede notarse fácilmente el efecto de los microclimas y más aún las diferencias en la corrosividad de cada atmósfera en particular; como por ejemplo las estaciones La Voz y Punto Fijo, las cuales se encuentran situadas en el mismo clima (Figura 1) y sin embargo, la velocidad de corrosión en la primera supera en varios ordenes de magnitud a la segunda. Como puede notarse el alto contenido de Cl^- , SO_2 y la alta velocidad del viento (velocidad de corrosión por erosión = 1.4 mm/año), permiten que en esta estación la velocidad de corrosión sea mayor que en Punto Fijo, siendo considerada la más agresiva de las estudiadas en Iberoamérica [7].

En el mapa para el acero al carbono (Figura 2) también se observa rápidamente que la región que tiene menor velocidad de corrosión es el estado Mérida. Según su caracterización meteorológica el grado de corrosividad es igual a las estaciones de Guanare y Santo Domingo (C3). Sin embargo, en la práctica ésta es caracterizada como C1; debido a la baja temperatura promedio en el área, ya que los demás parámetros son similares como puede observarse en las tortas. Nótese adicionalmente las estaciones de Barcelona y Guanare, ambas calificadas como C3 según los parámetros meteorológicos evaluados. No obstante, las velocidades de corrosión del acero A-36 son muy diferentes C4/Barcelona y C2/Guanare. Al observar las tortas se nota que la diferencia se debe a las lluvias las cuales son mayores en Guanare. Esto aumenta el lavado de las placas determinando una menor permanencia de los iones cloruros y por ende causa una menor velocidad de corrosión.

Como puede notarse en todas las tortas el tiempo de humectación es mayor o igual a 4. Esto significa que la velocidad de corrosión estimada usando esta variable, sería aproximadamente igual en todos los microclimas (C3: media), lo cual es incorrecto ya que la velocidad de corrosión real promedio del país, exceptuando La Voz y Barcelona, es baja ("C2").

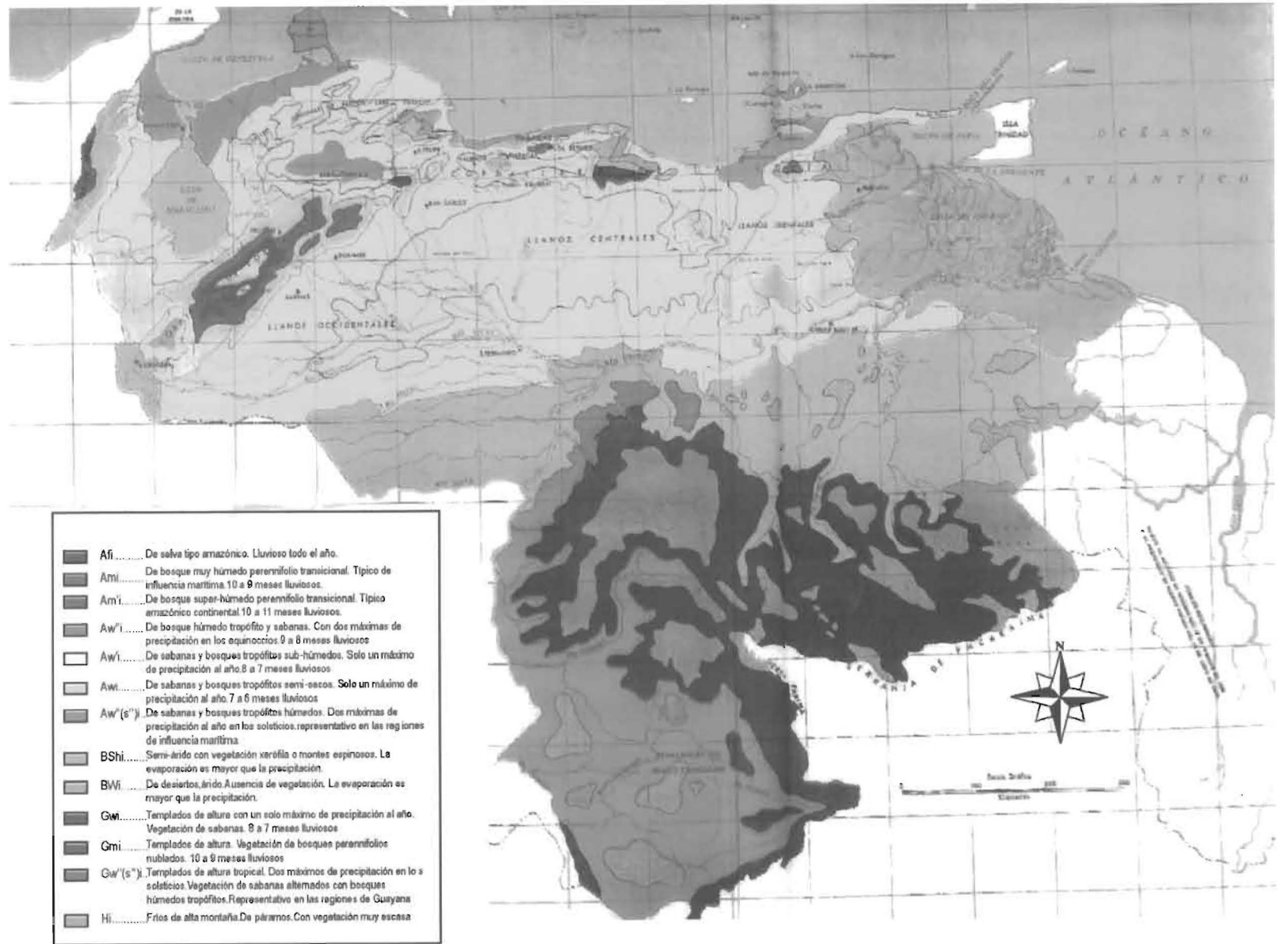


Figura 1. Clasificación climática según Köppen.

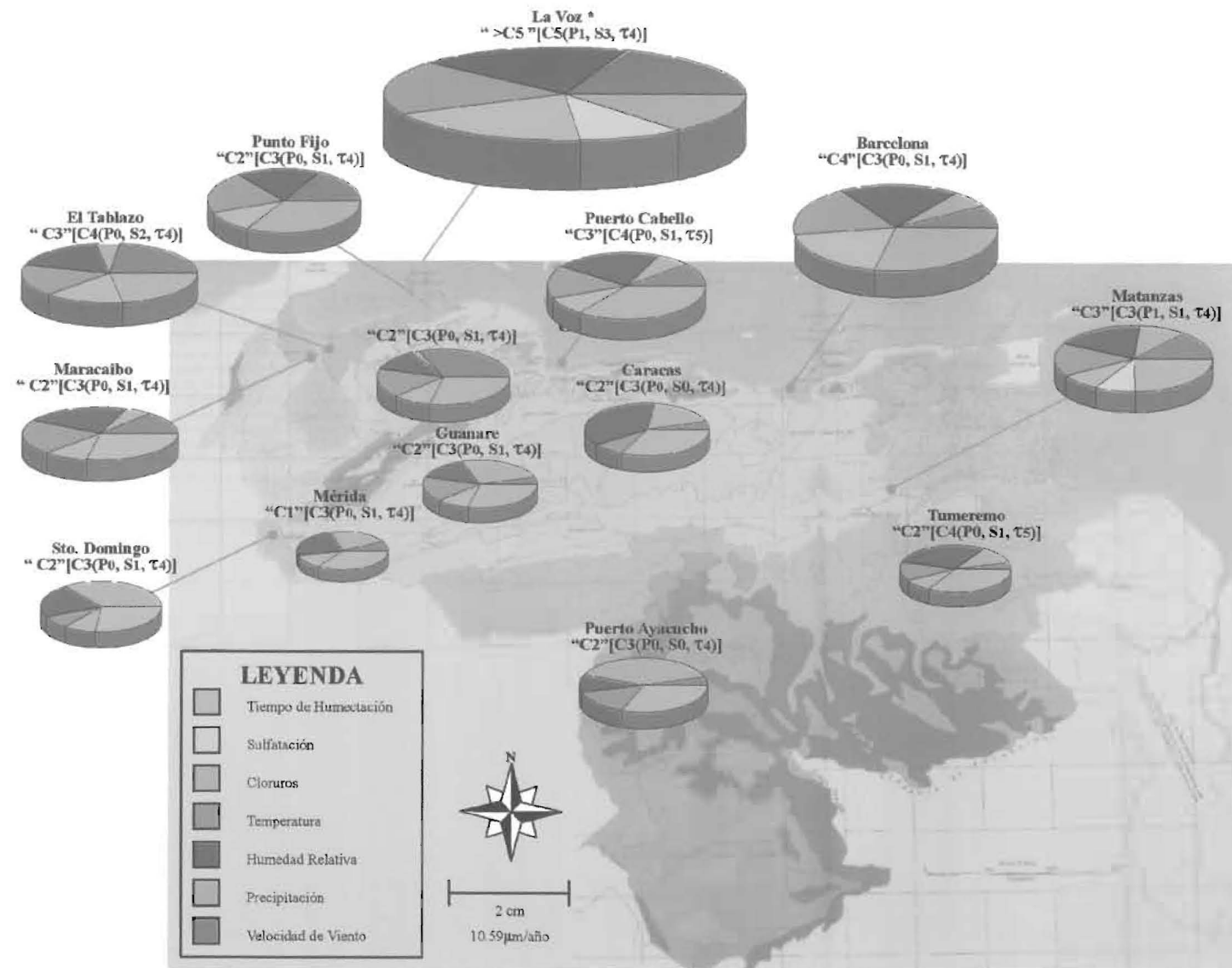


Figura 2. Mapa venezolano de corrosividad atmosférica para Acero al carbono A-36. *El diámetro no corresponde con la velocidad de corrosión. "C" categoriza la velocidad de corrosión real.

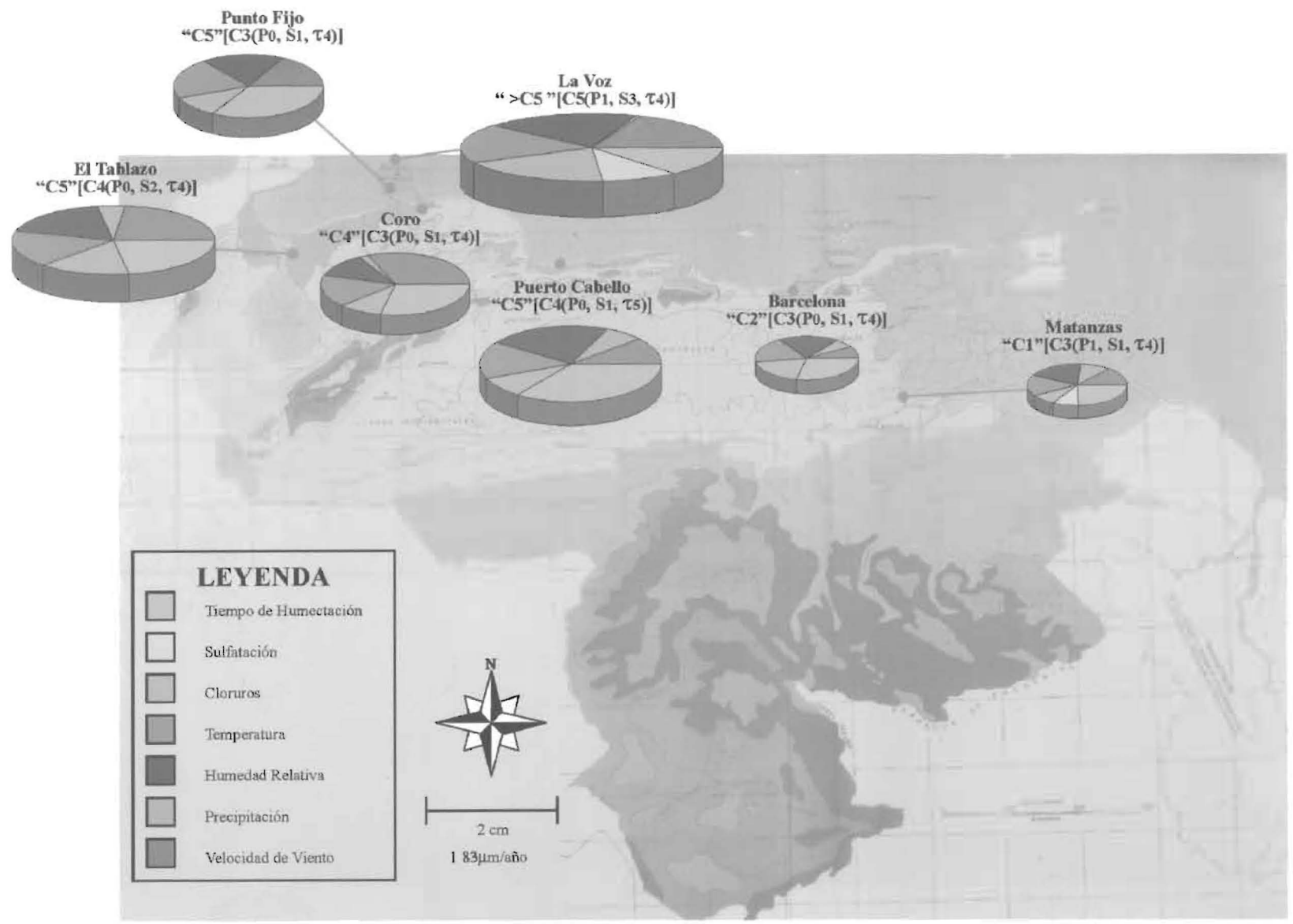


Figura 3. Mapa venezolano de corrosividad atmosférica para Cobre. "C" categoriza la velocidad de corrosión real.

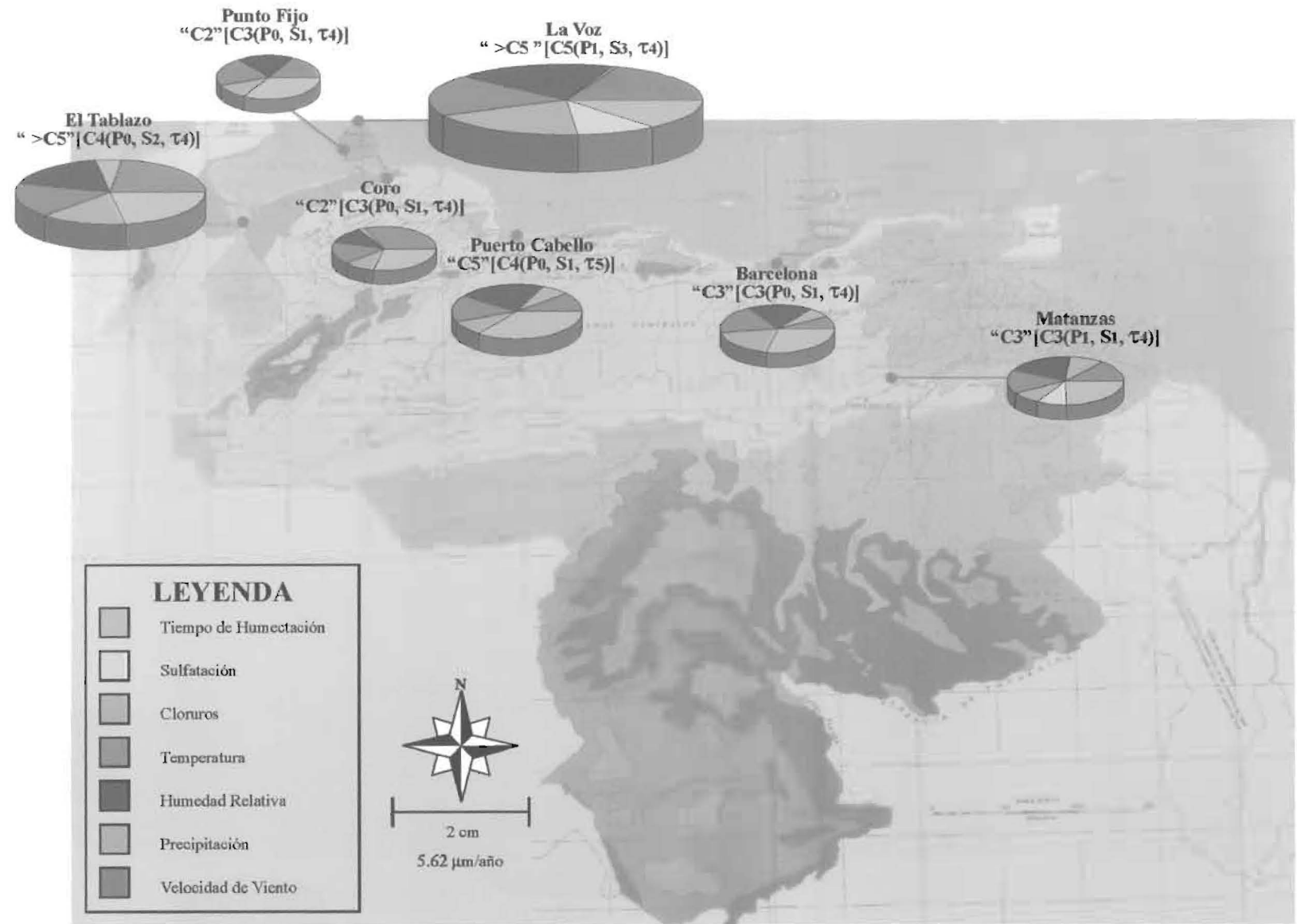


Figura 4. Mapa venezolano de corrosividad atmosférica para Cinc. “C” categoriza la velocidad de corrosión real.

De acuerdo con el análisis realizado puede observarse que para evaluar la agresividad de una atmósfera, es necesario tomar en cuenta la acción integrada todas las variables que inciden en el proceso, tal y como se consideró para la elaboración del mapa.

Validación de los resultados

Para mostrar la validez de los resultados utilizados en la construcción de las tortas, se

analizarán dos estaciones situadas en el estado Zulia, como son: El Tablazo y Maracaibo. En estas estaciones se han realizado diferentes tipos de estudio [10], incluyendo una evaluación mensual de los parámetros meterequímicos y de velocidad de corrosión del acero A-36. En la Tabla 2 se muestran las variables meterequímicas, notándose que son los Cl^- , SO_2 y HR los que varían en mayor proporción.

En las Figuras 5 y 6 se observa el efecto de esas variables sobre la pérdida de espesor. Nóte-

Tabla 2
Promedios mensuales de datos meterequímicos

Mes	Variable					
	SO_2 ($mg/m^2.d$)	Cl^- ($mg/m^2.d$)	Polvo ($mg/m^2.d$)	HR (%)	Temp. (°C)	Viento (m/s)
El Tablazo						
Enero	8.16	51.00	0.23	67	26.7	6.8
Febrero	3.14	66.88	0.21	74	27.1	7.2
Marzo	3.88	71.48	0.29	71	26.9	7.6
Abril	2.81	78.97	0.56	70	27.2	7.4
Mayo	6.32	52.17	0.42	83	28.5	5.6
Junio	0.00	37.26	0.48	82	28.7	5.7
Julio	5.56	16.92	0.19	86	27.8	6.1
Agosto	3.99	12.31	0.78	77	28.5	5.6
Septiembre	10.49	7.44	0.06	81	27.9	4.8
Octubre	0.00	2.49	0.02	80	27.4	4.6
Noviembre	5.36	10.85	0.13	79	27.2	3.3
Noviembre	12.32	27.34	0.09	87	26.7	4.9
Maracaibo						
Enero	1.04	9.59	0.12	79	27.0	3.9
Febrero	17.2	17.84	0.12	82	27.7	4.6
Marzo	1.92	24.36	0.10	80	28.0	4.6
Abril	8.32	30.40	0.11	81	28.5	4.3
Mayo	2.24	15.75	0.22	84	28.9	3.9
Junio	0.00	15.05	0.09	73	29.1	3.6
Julio	5.32	9.23	0.14	71	29.2	4.0
Agosto	7.33	7.70	0.02	73	32.2	3.5
Septiembre	8.77	8.93	0.08	73	29.2	3.1
Octubre	0.00	15.66	0.04	76	28.0	2.6
Noviembre	0.00	7.53	0.23	82	28.0	2.7
Diciembre	4.16	9.53	0.08	82	27.3	3.8

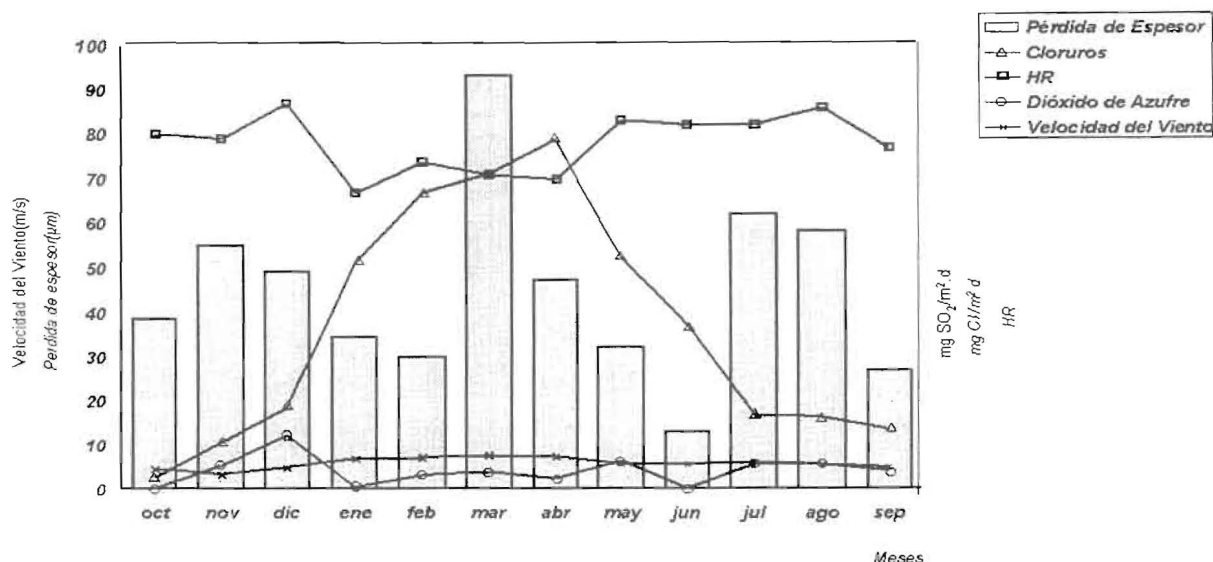


Figura 5. Estación El Tablazo. Variación de la pérdida de espesor del acero al carbono A-36 con la humedad relativa, la velocidad del viento, SO₂ y la velocidad de deposición de cloruros. 1995-1996.

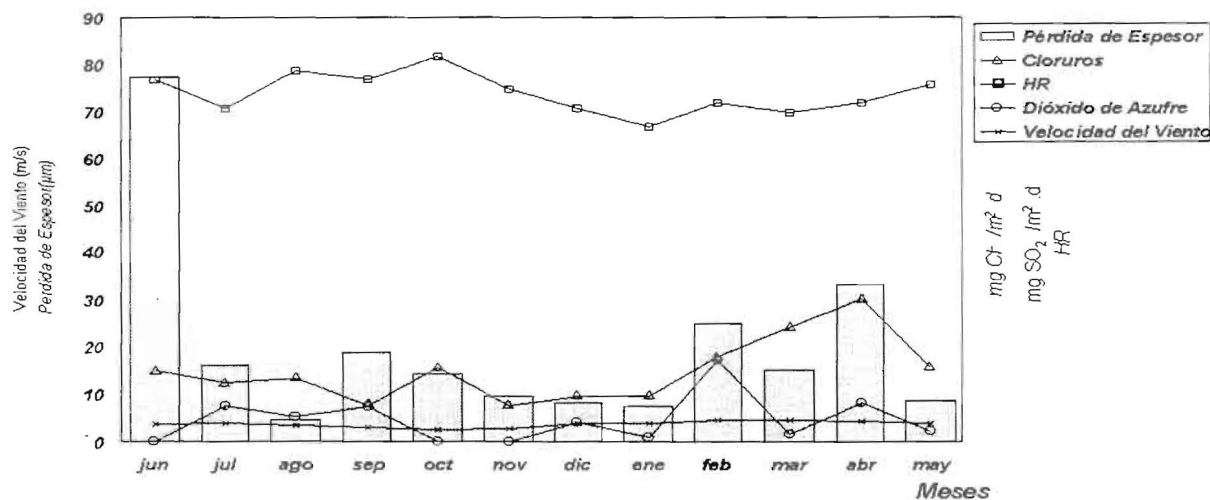


Figura 6. Estación Maracaibo. Variación de la pérdida de espesor para el acero al carbono A-36 con la humedad relativa, la velocidad del viento, SO₂ y la velocidad de deposición de cloruros. 1995-1996.

se que en ambas estaciones el contenido de SO₂ no afecta la velocidad de corrosión del acero, ya que por ejemplo en el mes de diciembre para El Tablazo, aun cuando aumentó su contenido, la velocidad de corrosión no se afectó. Por el contrario, se nota el efecto de la humedad relativa, la velocidad de los vientos y el contenido de Cl⁻ en la atmósfera, especialmente en el caso del Tablazo (Figura 5). Nótese que cuando el contenido de cloruro es bajo (< 70 mg/m².d), la velocidad de corrosión deja de ser controlada por esta variable. Para el caso de la estación Maracaibo (Figura 6),

no se nota un efecto marcado del contenido de Cl⁻ en la atmósfera (< 30 mg/m².d), siendo la HR, la velocidad del viento y los productos de corrosión los que controlan la pérdida de peso del material. Esto explica la mayor velocidad de corrosión en El Tablazo, tal y como se observa en las tortas.

La alta velocidad de corrosión inicial del acero en Maracaibo (instalada en el mes de Junio), en comparación con El Tablazo (instalada en el mes de Octubre), se debe específicamente al alto contenido de iones cloruro en ese mes (9.23 mg/m².d vs. 0.02 mg/m².d), aun cuando la hu-

medad relativa no es muy alta (71%). Esto indica que cuando la superficie se encuentra libre de productos de corrosión, el contenido de cloruro en la atmósfera afecta el proceso de corrosión del acero. Una vez formada una capa de productos de corrosión se requiere un contenido alto de este ion para acelerar el proceso.

Conclusiones

El muestreo realizado en el país permitió la construcción del mapa de corrosividad atmosférica, utilizando para ello tortas representativas de la calidad atmosférica de cada microclima en particular.

El uso de tortas permite reportar adecuadamente la calidad atmosférica de un país, dejando de ser una limitación el bajo número de estaciones.

En climas tropicales la velocidad de corrosión estimada mediante las variables meteorológicas, no representa adecuadamente la verdadera velocidad de corrosión del material.

Agradecimiento

Los autores quieren agradecer al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CONDES), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) y a Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA) por contribuir económicamente para el desarrollo del presente trabajo.

Referencias Bibliográficas

1. Morcillo, M., "Proyecto Mapa Iberoamericano de Corrosión Atmosférica", Madrid, España, 1988.
2. Morcillo, M., Feliu, S., "Mapas de España de Corrosividad Atmosférica". Programa CYTED, Madrid, España, 1993.
3. INETI, "Mapa Nacional de Corrosao Atmosférica". Categorias de Corrosividad Atmosférica, Lisboa, Portugal, 1993.
4. Corvo, F. y otros, "Primera Variante del Mapa de Agresividad Corrosiva de la Atmósfera de Cuba", Proc. 3er. Congreso Iberoamericano de Corrosión y Protección ABRACO, Vol. 1 (1989) 405-414, Brazil.
5. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, "Atlas de Venezuela", Dirección General de Información e Investigación del Ambiente, Caracas, Venezuela, 1980.
6. King, G. A., "Corrosivity Mapping - A Novel Tool for Materials Selections and Asset Management". Materials Performance, Vol. 34, No. 1 (1995) 6-9.
7. Prato, M., "Corrosividad de la Atmósfera en Venezuela", Acta Científica Venezolana, Vol. 46, No. 2 (1995) 75-84.
8. ISO/TC 156/WG4, 161, The Collaborative Testing Program ISOCORRAG Technical Committee, Corrosion of metal and Alloys-Classification of Corrosivity of Atmosphere, ISO 9223-9225-9229, 1992.
9. 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.
10. Rincón, A., T. de Rincón, O., Haces C., Furet, N. R. y Corvo, F., "Evaluation of Steel Corrosion Products in Tropical Climates, Corrosion Journal, NACE International, Vol. 53, No. 11 (1997) 835-841.

Recibido el 30 de Junio de 1999

En forma revisada el 28 de Febrero de 2000