

**USO DEL EXUDADO GOMOSO DE *C. ODORATA L.* COMO INHIBIDOR DE  
CORROSIÓN DE ACERO DE REFUERZO FRENTE AL AMBIENTE SALINO DE  
LA CIUDAD DE CARTAGENA DE INDIAS**

**YINETH GARCÍA DÍAZ  
WILLIAM MÉNDEZ MEDINA**



**Universidad  
de Cartagena**  
Fundada en 1827



**Facultad de  
Ingeniería**  
Fundada en 1949

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**CARTAGENA DE INDIAS, JUNIO DE 2016**

**USO DEL EXUDADO GOMOSO DE *C. ODORATA L.* COMO INHIBIDOR DE  
CORROSIÓN DE ACERO DE REFUERZO FRENTE AL AMBIENTE SALINO DE  
LA CIUDAD DE CARTAGENA DE INDIAS**

**Autores:**

**YINETH GARCÍA DÍAZ  
WILLIAM MÉNDEZ MEDINA**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIEROS CIVILES**

**Director:  
EDGAR QUIÑONES BOLAÑOS**

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN MODELACIÓN AMBIENTAL (GIMA)  
COL0036455 Categoría A1 2016**

**Línea de Investigación:  
Aprovechamiento de RCD**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
CARTAGENA DE INDIAS, JUNIO DE 2016**

## CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	III
LISTA DE TABLAS .....	V
RESUMEN.....	6
ABSTRACT .....	7
1 INTRODUCCION.....	8
2 MARCO DE REFERENCIA .....	11
2.1 MARCO TEÓRICO .....	11
2.1.1 Corrosión .....	11
2.1.2 Oxidación .....	14
2.1.3 La corrosión en el concreto .....	14
2.1.4 Inhibidores de corrosión .....	18
2.1.5 Mecanismos de inhibición .....	19
2.1.6 Exudado gomoso .....	21
2.2 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE .....	27
3 OBJETIVOS.....	37
3.1 Objetivo General.....	37
3.2 Objetivos específicos .....	37
4 ALCANCE .....	38
5 METODOLOGIA.....	41
5.1 Generalidades.....	43
5.1.1 Obtención Del Exudado Gomoso .....	43
5.1.2 Acero .....	44
5.1.3 Pesaje de muestras de intemperismo .....	44
5.1.4 Soluciones.....	45

5.1.5	Aplicación de la solución de exudado .....	45
5.1.6	Caracterización del exudado gomoso .....	46
5.1.7	Caracterización de la salinidad del Aire .....	47
5.2	PRUEBA DE INTEMPERISMO .....	48
5.2.1	Pérdida de peso .....	50
5.2.2	Cálculos Numéricos.....	51
5.3	PRUEBA DE MEDIA CELDA ELECTROQUÍMICA .....	52
5.3.1	Especímenes .....	53
5.3.2	Procedimiento de medición .....	55
5.3.3	Análisis De Resultados.....	56
6	RESULTADOS ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	57
6.1	PARAMETROS CLIMATOLÓGICOS .....	57
6.2	PRUEBA DE INTEMPERISMO .....	60
6.2.1	Eficiencia de Inhibición.....	73
6.2.2	Velocidad de corrosión.....	75
6.3	PRUEBA DE CELDA ELECTROQUIMICA .....	76
6.4	Estudios complementarios .....	82
6.4.1	Deposición de cloruros en el área de prueba de intemperismo .....	82
6.4.2	Ensayo de esclerómetro .....	84
6.4.3	Calorimetría diferencial de Barrido (DSC) .....	86
7	CONCLUSIONES.....	88
8	RECOMENDACIONES .....	91
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	94
	ANEXOS .....	106

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1: Proceso de corrosión electroquímica.</b> .....	15
<b>Figura 2: Ilustrativo del proceso de Adsorción y Absorción.</b> .....	19
<b>Figura 3: Clasificación de los inhibidores de corrosión.</b> .....	20
<b>Figura 4: Árbol Cedro, finca Manzanares en el municipio de Turbaco Bolívar.</b> .....	23
<b>Figura 5: Mapa de localización mundial de árboles de C. Odorata L.</b> .....	24
<b>Figura 6: Mapa de sitios con Arboles de C. Odorata L. reportados.</b> .....	25
<b>Figura 7: Exudado gomoso de C. Odorata L.</b> .....	26
<b>Figura 8: Variación de la eficiencia de inhibición con diferentes concentraciones de GA.</b> .....	35
<b>Figura 9: Locaciones propuestas para estudio.</b> .....	38
<b>Figura 10. Exposición del exudado en la cerca eléctrica de la finca manzanares.</b> .....	43
<b>Figura 11. Triturado y tamizado del Exudado.</b> .....	44
<b>Figura 12: Balanza utilizada para el pesaje de las muestras de acero.</b> .....	44
<b>Figura 13. Soluciones utilizadas inicialmente.</b> .....	45
<b>Figura 14. Limpieza y aplicación del exudado con pincel de cerdas suaves sobre las barras limpias.</b> .....	46
<b>Figura 15. Detalle del equipo para ensayo DSC.</b> .....	46
<b>Figura 16. Montaje de polímero liso.</b> .....	47
<b>Figura 17: Ubicación del estudio de intemperismo.</b> .....	48
<b>Figura 18. Muestras dispuestas para la prueba de intemperismo.</b> .....	50
<b>Figura 19: Dimensiones de muestras para ensayo de media celda electroquímica.</b> .....	54
<b>Figura 20. Construcción de probetas para monitoreo con celda electroquímica.</b> .....	54
<b>Figura 21. Medición con celda electroquímica.</b> .....	55
<b>Figura 22: Interpretación de datos de voltaje para la prueba de media celda electroquímica.</b> .....	56



<b>Figura 23: Grafico de valores de Temperatura durante la ejecución de la prueba de intemperismo de las muestras de intemperismo.....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 24: Velocidad del Viento durante el periodo de exposición de las muestras de intemperismo.....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 25: Humedad durante el periodo de Exposición de las muestras de intemperismo.....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 26: Precipitaciones Durante el Tiempo de Exposición de las muestras de intemperismo.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 27. Muestras sometidas al ambiente salino de la ciudad de Cartagena. ....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 28. Variación del peso en porcentaje de las muestras expuestas al intemperismo. ....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 29: Esquema comparativo de los mecanismos de incorporación de componentes en el acero de refuerzo frente a corrosión atmosférica y comparación del proceso con y sin exudado.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 30: Aumento de peso durante exposición atmosférica durante 90 días de una muestra de hierro de artefacto histórico. ....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 31. Pérdida de peso de acuerdo a la concentración de exudado. ....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 32. Eficiencia de inhibición con respecto a las muestras en blanco.....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 33. Velocidad de corrosión para las diferentes concentraciones de exudado... </b>	<b>76</b>
<b>Figura 34. Variación de la diferencia de potencial durante el monitoreo con la celda electroquímica.....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 35. Estado final del polímero liso sometido al ambiente salino del área de influencia para las muestras de la prueba de intemperismo. ....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 37. Ensayo con esclerómetro análogo.....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 38. Resistencia a la compresión, ensayo con el esclerómetro. ....</b>	<b>85</b>
<b>Figura 39. Ejecución de barridos para la prueba de DSC.....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 40. Información gráfica del ensayo de DSC.....</b>	<b>87</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1: Tipos de corrosión frecuentes en metales.....</b>	<b>13</b>
<b>Tabla 2: Protección contra diferentes tipos de corrosión. ....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 3: Recopilación de principales extractos vegetales usados como inhibidor de corrosión.....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 4: Valores de inhibición de la corrosión por tres métodos. Se usaron 0.5 g/l de Goma Arábica y se varió la temperatura de 30 a 60 °C.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 5: Diseño experimental.....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 6: Denominación de las etiquetas para las muestras de intemperismo. ....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 7: Denominación de las barras para las pruebas de celda electroquímica. ....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 8: Cambios en la superficie del metal para los 18 especímenes apreciado en fotografías 16x.....</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 9: Comparación de la ganancia y la pérdida de peso de las muestras.....</b>	<b>72</b>
<b>Tabla 10. Tabla de eficiencia de inhibición.....</b>	<b>73</b>
<b>Tabla 11. Velocidad de corrosión en las muestras sometidas a la prueba de intemperismo.....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 12. Valores de diferencia de potencial registrados durante el monitoreo con la celda electroquímica.....</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 13. Resumen de diferencias de potencial detectadas para el presente estudio y para estudios similares.....</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 14. Gráficas de estudios con presencia de cloruros y medición con celda de Cu/CuSO<sub>4</sub>. ....</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 15. Deposición de cloruros y salinidad.....</b>	<b>83</b>
<b>Tabla 16. Resistencia a la compresión de las probetas monitoreadas. ....</b>	<b>85</b>

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo estudiar la capacidad inhibidora de corrosión del exudado gomoso de *C. Odorata L* en acero de refuerzo y frente al ambiente salino de la Ciudad de Cartagena. Se llevó a cabo una prueba de intemperismo y una de monitoreo con celda electroquímica, en ambos casos para muestras de acero revestidas con cinco concentraciones diferentes de exudado. En el primer procedimiento se expusieron 18 muestras y se determinó su pérdida de peso (ASTM G1-90) obteniendo eficiencias de inhibición y velocidades de corrosión. En el segundo procedimiento se monitoreó la diferencia de potencial del acero embebido de 17 especímenes de concreto preparados con agua de mar, usando media celda electroquímica Cu/CuSO<sub>4</sub> (ASTM C 876 – 91), para evaluar la probabilidad de corrosión. Ambos procedimientos incluyeron muestras blanco como punto de comparación. Ensayos complementarios comprendieron la caracterización del exudado con Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), prueba de salinidad atmosférica y la prueba con esclerómetro para estimar resistencia de las muestras embebidas.

Se encontró una relación inversa entre la pérdida de peso y la concentración de exudado, eficiencias de inhibición ente 25.1% y 46.4 % siendo las muestras con concentración de 33.33% de exudado las que mayor inhibición registraron.

Las velocidades de corrosión variaron entre 0.0127 y 0.0237 mg cm<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>, siendo mayor la velocidad calculada para las muestras blanco y menor en las muestras revestidas con inhibidor. La tasa de deposición de cloruros fue de 5.35 g m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> y la salinidad de 10.08 g m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> lo que indica que el ambiente de exposición es agresivo según datos internacionales.

La prueba de celda electroquímica reveló diferencias de potencial entre -0.573 y -0.368 V teniendo un mejor comportamiento los especímenes en donde se usó un recubrimiento con 2% de exudado; en general todas tienden a hacerse más positivas, sin embargo, las muestras blanco evidencian una dinámica mucho más lenta, indicando mayor probabilidad de corrosión activa.

Lo anterior implica que el exudado gomoso de *C. Odorata L.* inhibe el proceso de corrosión atmosférica y por contaminación del concreto en condiciones de salinidad agresivas.



## ABSTRACT

The objective of this study was evaluate the corrosion inhibition potencial of the exudate of *C. Odorata L.* for the steel used in the concrete reinforced, in front to the saline ambient of Cartagena. This objective was evaluated through one weathering test and one with electrochemical cell, in both cases for especimens coated with five diferent concentrations of exudates.

In the first procedure, the eighteen samples were exposed and determinated the weighth loss (ASTM G1-90). In the second method the difference potential of the seventeen concrete especimens prepared with sea water was monitored using the electrochemical cell for evaluate the corrosion probabilidad  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$  (ASTM C 876 – 91). Both procedures include control especimens (muestras blanco) like comparation point. Complementary tests the for the exudate characterization include differential scanning calorimetry (DSC), atmospheric salinity test, and compressive strength test using sclerometer, for the embedded samples.

An inverse relation between weighth loss and concentration of the exudate was found, an inhibition efficiencies between 25.1% y 46.4%, and the concentration of 33.3% of exudate was the best inhibition record.

The corrosion rates varied between 0.0127 and 0.0237  $\text{mg cm}^{-2}\text{h}^{-1}$ , more speed being calculated for white and smaller samples in the samples coated with inhibitor. The chloride deposition rate was 5.35  $\text{g m}^{-2} \text{yr}^{-1}$  and salinity of 10.08  $\text{gm}^{-2} \text{yr}^{-1}$  indicating that the environment is aggressive exposure to international data.

The electrochemical cell test revealed potential differences between -0573 and -0368 V having a better performance especimens where a coating with 2% was used exudate; in general all tend to become more positive, however, blank samples show a much slower dynamics, indicating greater chance of active corrosion.

This implies that the gummy exudate *C. odorata L.* inhibits the process of atmospheric corrosion and contamination of concrete in aggressive salinity conditions.

## 1 INTRODUCCION

En ambientes salinos se depositan iones cloruro y otros compuestos sobre el acero de refuerzo que generan expansiones entre dos y cuatro veces su volumen generando rompimiento de las estructuras de concreto (National Ready Mixed Association). En Colombia las pérdidas por corrosión cuestan 26 mil millones de pesos (4% del PIB) (Universia Colombia, 2013) y a nivel internacional se reporta que el 18% de PIB se invierte en corrosión en las construcciones (Paredes, Prieto, & Santos, 2013); a nivel local se encuentran afectaciones graves por corrosión del acero de refuerzo en lugares reconocidos como la iglesia Santo Toribio de Mogrovejo (Martelo & Brieva, 2012), el Puente sobre el caño El Zapatero (Iriarte & Pertuz, 2014), el Puente Román (Peña & Morales, 2014), El Antiguo Club Cartagena (Pardo & Pérez del Río, 2014), El Claustro De La Merced (Buelvas & González, 2015), el puente Pumarejo en Barranquilla (Ospina, 2008), entre otras estructuras. Para mitigar el problema se emplean los inhibidores sintéticos los cuales suelen ser demasiado costosos y peligrosos ya que algunos de ellos pueden llegar a afectar los riñones, el hígado y perturbar los procesos bioquímicos, así como el funcionamiento enzimático en general al llegar a los cuerpos de agua (Benítez, Meza, Percy, & Berrocal, 2014).

Para buscar una forma mas sostenible de abordar el problema de la corrosión, en el presente trabajo se buscó evaluar un exudado vegetal como inhibidor del proceso, debido a que en los ultimos años se ha encontrado un comportamiento favorable de los extractos vegetales usados como inhibidores de corrosión (Meza, Altamiranda, Berrocal, & Tejeda, 2014). A la par del desarrollo internacional, en la Universidad de Cartagena se han venido estudiando ecoinhibidores y la corrosión de metales desde grupos como el IDAB (Péres & Pérez, 2014), Ópticos (Serpa & Serpa, 2014) y desde los departamentos de Maestría de ingeniería Química y Civil, que han enfocado su estudio hacia el diagnostico de las patologías estructurales y el desarrollo de inhibidores de corrosión. Dentro de éstos estudios se ha demostrado la agresividad del medio salino en la corrosion de las estructuras locales y la capacidad inhibidora de los extractos de aguacate, Neem, Sábila, Tabaco y Caña de azucar (Meza Castellar, 2013), (Jiménez, 2015), (Fernández & Manrique, 2013) (Loaiza & Vidales, 2013).



Para poner a prueba la inhibición del exudado se planteó evaluar el proceso dentro de los ambientes a los que son sometidas las barras de acero, por lo que se diseñaron pruebas en donde el acero pudiera ser atacado por factores atmosféricos y se diera el avance de corrosión del acero embebido, las mismas condiciones que se dan en el período de transporte, disposición y en el periodo de servicio del acero. Un lugar propicio para imprimir las condiciones de ambiente salino fue las instalaciones del claustro de La Merced de la Universidad de Cartagena ya que está situado solo a 75m de la línea de costa frente al mar caribe; paralelamente se realizaron procedimientos en las instalaciones de los laboratorios de ingeniería y CREAD de la Universidad de Cartagena.

La contribución de la presente investigación en el desarrollo de ecoinhibidores se justifica en el gran potencial de su uso en las construcciones en zonas costeras por las condiciones adversas de las mismas. Para el caso particular de la ciudad de Cartagena, se debe mencionar que se encuentra en un entorno húmedo y salino altamente agresivo incluso para los materiales pétreos (Robles, 2012) y que reporta un total de 1463 418 m<sup>2</sup> de obras en proceso y 244 708 m<sup>2</sup> de obras paralizadas o inactivas (DANE, 2015). Igualmente la investigación mejora el abanico de soluciones para las patologías sobre el acero de refuerzo en nuestro contexto costero, además, permite entrar en consonancia con las directrices internacionales como la Ley de Control de Sustancias Tóxicas de la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos y la Directiva de Restricción de Sustancias Peligrosas de la Unión Europea, las cuales reconocen los perjuicios del uso de inhibidores de corrosión sintéticos y plantean la necesidad de desarrollar inhibidores de corrosión ambientalmente amigables.

El trabajo presentado es de interés en el gremio de la ingeniería civil y química porque respalda y aporta nueva información sobre la eficiencia de inhibición de los extractos vegetales (específicamente de los gomosos), sobre las velocidades de corrosión de acero de refuerzo, sobre las tasas de deposición de cloruros y salinidad en la ciudad de Cartagena y a nivel internacional contribuye a la interpretación de los datos de diferencia de potencial con media celda de Cu/CuSO<sub>4</sub> en concreto fabricado con agua de mar.

El desarrollo de ecoinhibidores puede aliviar el problema de la corrosión del acero, reducir los costos de conservación de las obras, reemplazar la contaminación generada por los



inhibidores a base de derivados del petróleo y además permite el desarrollo de nuevas tecnologías para la protección y control de materiales en obras con sostenibilidad ambiental.

## 2 MARCO DE REFERENCIA

Con el objeto contextualizar a nivel académico e investigativo el marco de la investigación, se expondrá de manera secuencial la información sobre el proceso corrosivo, los materiales vegetales inhibidores y el exudado gomoso, para dar una ilustración sobre el tipo de material y las herramientas para la investigación como inhibidor de corrosión. También se expondrá información importante en la metodología y las investigaciones más cercanas al uso del material como anticorrosivo.

### 2.1 MARCO TEÓRICO

A continuación se presentan las bases teóricas que servirán de soporte científico para el desarrollo de la metodología y el análisis de los resultados.

#### 2.1.1 Corrosión

Sumando varias definiciones generales es posible definir la corrosión, (en cuanto a metales se refiere) como la pérdida de la superficie del metal cuando se expone a agentes reactivos en el medio ambiente, ya sea por reacción química o electroquímica. La corrosión puede ser generada por agentes químicos o biológicos. En cuanto a metales como el acero se ha mencionado que la corrosión es la reversión del proceso metalúrgico efectuado para su producción (Ahmad, Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control , 2006) (Odriozola, 2007).

Se dice que la corrosión es de naturaleza electroquímica excepto por ciertas condiciones como oxidación a altas temperaturas (Gonzales Fernandez & Miranda Vidales, 2007), esto significa que existe un ánodo, un cátodo y un medio electrolítico que forman una pila.

Bajo presencia de agua en el ambiente húmedo la corrosión se da por óxido reducción, lo que significa que se constituye en un proceso electroquímico que trae consigo un cambio en las propiedades del acero. (Moreno, López, & Madrid, 2001). El origen del fenómeno es la presencia de heterogeneidades en la superficie de los metales, que producen zonas de diferentes niveles de energía y propician la formación de la celda electroquímica. En ese sentido lo que sucede es que los electrones que se pierden en el ánodo y durante la reacción de oxidación son utilizados en el cátodo para que suceda la reacción de reducción.



Existen diferentes tipos de corrosión los cuales dependen del área afectada. Se encuentra más frecuentemente la uniforme o generalizada, la galvanizada, la localizada, por picaduras y la fisurante (Becker, 2015), estos tipos se describen con mayor detalle en la Tabla 1.

Tabla 1: Tipos de corrosión frecuentes en metales.

TIPO DE CORROSIÓN	CARACTERÍSTICA PRINCIPAL	CAUSA	VISTAS		IMÁGEN
			EN PLANTA	EN CORTE	
<i>Uniforme o generalizada</i>	No hay ataque localizado	El medio (solución o gas) ataca en toda la superficie del metal.			
<i>Galvanizada</i>	Existen dos metales diferentes en contacto	La diferencia de potencial eléctrico entre metales			
<i>Localizada</i>	Existen áreas visibles puntualmente más corroídas que otras.	Gradientes de composición química localizados.			
<i>Fisurante</i>	La corrosión crea un plano de falla	El metal se encuentra bajo un esfuerzo en donde la corrosión se concentra			
<i>Pilas</i>	Abultamiento localizado y creciente	Medios ácidos			

Fuente: (Universidad Nacional de Colombia, 2011) (Becker, 2015) (Ahmad, 2006) (Alter & Mestres, 2003) sintetizado por los autores.

### 2.1.2 Oxidación

La velocidad de corrosión está directamente ligada con la corriente o el flujo de electrones que se presenta en la reacción electroquímica.

Es claro ver que existe una corriente neta negativa (electrones) y una positiva (iones en el electrolito) que generan una corriente llamada corriente de intercambio ( $i_o$ ) o de corrosión ( $i_{corr}$ ). El complemento de la celda electroquímica lo hace una fuente de voltaje o corriente que impulsa o retira electrones. Si la fuente de voltaje polariza de tal manera que impulsa electrones hacia el electrodo metálico (ET) (sacándolos del contra-electrodo), se llevan a cabo reacciones de reducción prioritariamente sobre el ET. Si en caso contrario saca electrones para enviarlos al contra-electrodo, las reacciones predominantes sobre el ET son de oxidación.

“Haciendo una analogía con un circuito eléctrico el capacitor o resistencia es la interacción del adsorbato que genera una interface llamada doble capa electroquímica. El factor capacitivo (C) está asociado a la carga distribuida en esta interface y por ende con el potencial eléctrico. Este factor capacitivo es llamado comúnmente, capacitancia de la doble capa electroquímica y es un parámetro termodinámico. El factor resistivo (R), se asocia al impedimento o resistencia que los protones ( $H^+$ ), y así como el oxígeno tienen que vencer para poder llegar al contorno de la superficie del metal a recombinarse con los electrones que este posee. Teniendo en cuenta que esta resistencia controla la cantidad y velocidad de transporte a través de la doble capa electroquímica. Este factor resistivo es llamado en electroquímica la resistencia a la polarización ( $R_p$ ) y determina la cinética de las reacciones” (López Camacho, 2008).

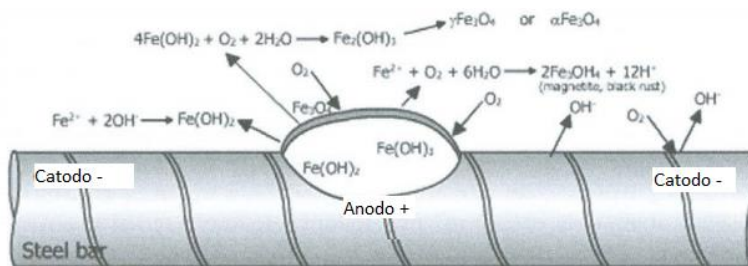
### 2.1.3 La corrosión en el concreto

Durante el proceso de corrosión en estructuras de concreto la zona anódica y la zona catódica están localizadas en la superficie del acero de refuerzo, mientras que el concreto actúa como el electrolito (Moreno, López, & Madrid, 2001). Si el concreto tiene un grado de humedad tal que se da la conexión electrolítica, la corrosión puede ocurrir en sitios de la estructura de poca oxigenación (Bermudez, 2007). Ánodo – cátodo - electrolito completan los elementos que se requieren para formar la celda electroquímica. La frontera entre el acero y el concreto

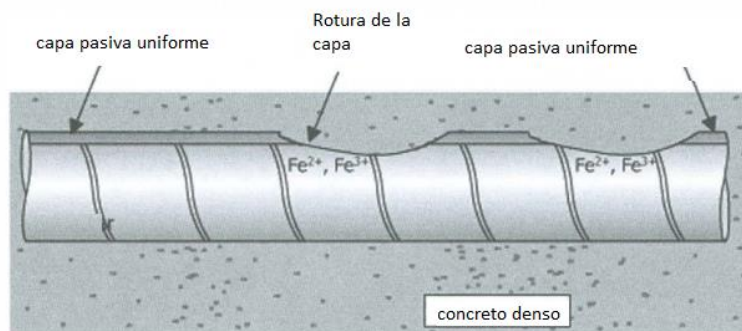


recibe el nombre de interface y es donde se dinamizan las reacciones de oxidación y reducción (Moreno, López, & Madrid, 2001).

Los iones cloruro tienden a destruir la capa pasivante provocando fundamentalmente la corrosión localizada por picaduras. Los cloruros se encuentran presentes en el hormigón debido al aporte que pueden realizar los materiales que lo componen y/o al aporte externo a través de la red de poros. Las fisuras mayores a 0.4 mm aumentan la velocidad de corrosión, y cuando el espesor es menor resulta útil la calidad del recubrimiento (Bermudez, 2007).



Formacion de Pilas



Destruccion de la Capa pasiva

**Figura 1: Proceso de corrosión electroquímica.**

Fuente: (Ahmad, Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control , 2006) traducido y modificado por los autores.

En la superficie del acero, las áreas que actúan como ánodo y como cátodo pueden estar cercanas o lejanas formando respectivamente micropilas y macropilas de corrosión. (Bermudez, 2007).

La corrosión de las armaduras afecta la capacidad mecánica del acero, fisura el hormigón y afecta la adherencia acero/hormigón. Los productos que generan un aumento del volumen

del acero producen tensiones radiales a las armaduras que desembocan en la pérdida de la adherencia y fisuras en el hormigón (Becker, 2015) (National Ready Mixed Association).

En condiciones normales el acero embebido en el hormigón se encuentra amparado por una doble protección, una física proporcionada por el espesor del recubrimiento, y otra química referente al pH alcalino del hormigón que genera un ambiente de pasividad para el acero. Además, el potencial de corrosión del acero está controlado por la disponibilidad de oxígeno en el hormigón a la profundidad de la armadura. En un hormigón sumergido, hay poca disponibilidad de oxígeno por lo tanto se genera resistencia a la corrosión por cloruros.

La entrada de cloruros es solo el inicio del proceso, en la evolución influye la presencia de oxígeno, así como la temperatura siendo estos factores acelerantes (Bermudez, 2007). En la etapa de inicio se produce hidróxido ferroso de color verdoso, en la intermedia óxido ferroso-férrico negro en mayor cantidad, y en la etapa final se tiene la formación de hidróxido férrico rojizo (Peña, Estupiñán, Vásquez, & Mejía, 2011).

En los intentos por aliviar la corrosión del acero se encuentran varias estrategias de hormigón mezclado con otros elementos para formar una masa más densa logrando una estructura más fina que el hormigón común, por lo que es más hermético, lo que evita que el secado y la contracción, y en consecuencia la disminución de las grietas y el aumento de la resistencia a la compresión (Tae, 2012). Básicamente se evita la corrosión por protección del refuerzo con la densificación de masa del hormigón.

Por otro lado, y a diferencia del uso de gomas o extractos vegetales, se han usado mecanismos para proteger el acero de refuerzo sin cambiar sus propiedades superficiales, es así como se ha evaluado la inhibición de un pigmento compuesto por nanopartículas core-shell (núcleo-cáscara) que se caracterizan por combinar un núcleo de un material y un recubrimiento de otro (Lloret, Moína, & Ybarra, 2007). Este funciona con el uso de un núcleo de humo de sílice (80-90%) y una cobertura de fosfatos (10-20%).

Se determinó una alta resistencia a la corrosión evidenciada en una elevación del valor de la resistencia media. En esta investigación se evidenció la respuesta del acero directamente embebido en el concreto para el que se usó agua de mar, a diferencia de otros casos que muestran la respuesta sobre la inmersión en medios acuosos contaminados. Un dato

importante es que el uso de esta clase de inhibidor no mostró una afectación en la capacidad de adherencia del acero con el concreto (Ahmed, Mohamed, Mabrouk, & ELShami, 2015).

Así se ven cuatro estrategias claras para proteger el acero: Una incorporando características anticorrosivas al acero como es el caso del uso de extractos vegetales, una más aislando el acero dentro de la mezcla del concreto por densificación, otra aplicando capas aislantes al acero como las pinturas con core-shell y una última dando propiedades anticorrosivas al concreto.

### **Tipos de corrosión en el acero de refuerzo**

En general, las armaduras embebidas en el hormigón sufren de corrosión generalizada debido a una disminución del pH del medio, siendo la causa más frecuente la carbonatación del hormigón de recubrimiento, mientras que la corrosión localizada por picaduras se debe a la acción de iones despasivantes y el agrietamiento resulta típico de las armaduras altamente tensionadas.

La corrosión generalizada se produce por una despasivación de las armaduras debido a un descenso del pH del hormigón de recubrimiento por debajo de 9. El proceso de disminución de la alcalinidad se debe a una carbonatación de los compuestos básicos que se combinan con el CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> atmosférico que son de carácter ácido. La velocidad de carbonatación del hormigón sigue una ley de proporcionalidad similar a la difusión de cloruros.

La corrosión en acero de refuerzo también se encuentra frecuentemente por formación de pilas que pueden tener dos orígenes: Uno cuando se colocan dos metales diferentes dentro del hormigón y otro debido a diferencias en la concentración de los iones disueltos cerca del acero, como los álcalis, cloruros o el oxígeno.

La corrosión en las armaduras puede adoptar formas diversas, según la localización de las zonas anódicas y catódicas, y la posible existencia de tensiones mecánicas importantes.

(Bermudez, 2007)

La corrosión puede estar influenciada por diferentes tipos de exposición y según esto se aplican diferentes tipos de protección (Gonzales Fernandez & Miranda Vidales, 2007) como se resume en la **Tabla 2**.

**Tabla 2: Protección contra diferentes tipos de corrosión.**

TIPO DE EXPOSICION	METODOS DE PROTECCION
Atmosférica	Pinturas, recubrimiento de hormigón
Estructuras sumergidas	Protección
Estructuras enterradas	Catódica, recubrimientos, protectores.

Fuente: (Gonzales Fernandez & Miranda Vidales, 2007) editado por los autores.

#### **2.1.4 Inhibidores de corrosión**

Los inhibidores son materiales cuya función es prevenir la reacción entre el metal y el medio desacelerando el proceso de corrosión y el avance de los iones hasta el acero. Su uso consiste en aplicar concentraciones bajas en el medio corrosivo.

La eficacia de los inhibidores depende de varios factores por lo que su selección es variable con el clima, el tipo de acero, el tiempo de protección deseado, y la temperatura esperada siendo crítico el factor temperatura. Lo anterior se debe a que algunos elementos se pueden descomponer térmicamente. En ese sentido se ha encontrado que los inhibidores para materiales ferrosos son eficientes solo a temperaturas por debajo de 121 °C.

Dentro de los inhibidores inorgánicos encontramos los molibdatos, las sales de cromatos y fosfatos. En este tipo de compuestos los elementos positivos (aniones) bajan la velocidad de corrosión del metal. Los inhibidores orgánicos son empleados en sistemas de enfriamiento como el mercaptobenzotiazol (MBT), sulfatos de sodio y fosfonatos.

(Benítez, Meza, Percy, & Berrocal, 2014)

Los Inhibidores de corrosión se pueden dividir en tres tipos: Anódicos, catódicos o mixtos, dependiendo si interfieren mayormente en el ánodo, en el cátodo o si ambos están involucrados. Para cada uno de estos grupos también se pueden encontrar clasificaciones

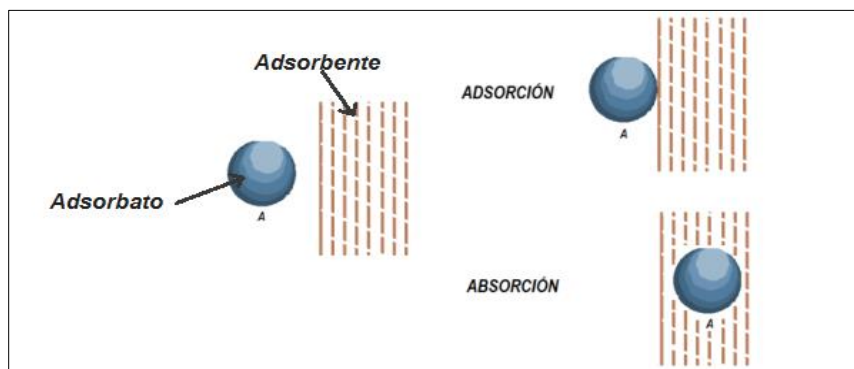
dependiendo de los mecanismos de inhibición (Al-Amoudi, Maslehuddin, Lashari, & Almusallam, 2003).

### 2.1.5 Mecanismos de inhibición

Los mecanismos de inhibición pueden ser la formación de una capa de barrera; la inhibición por pasivación de la superficie o la influencia en el entorno en contacto con el metal (Al-Amoudi, Maslehuddin, Lashari, & Almusallam, 2003).

Existen diferentes mecanismos por los cuales las moléculas de un material se adhieren a otro lo cual puede darse por razones físicas o químicas. Cuando la adsorción es física, es decir, que se da solo por fuerzas de Van der Waals no por reacción química, se denomina fisorción y en caso contrario se le llama quimisorción (Izquierdo, Cunill, Tajero, Iborra, & Fité, 2004).

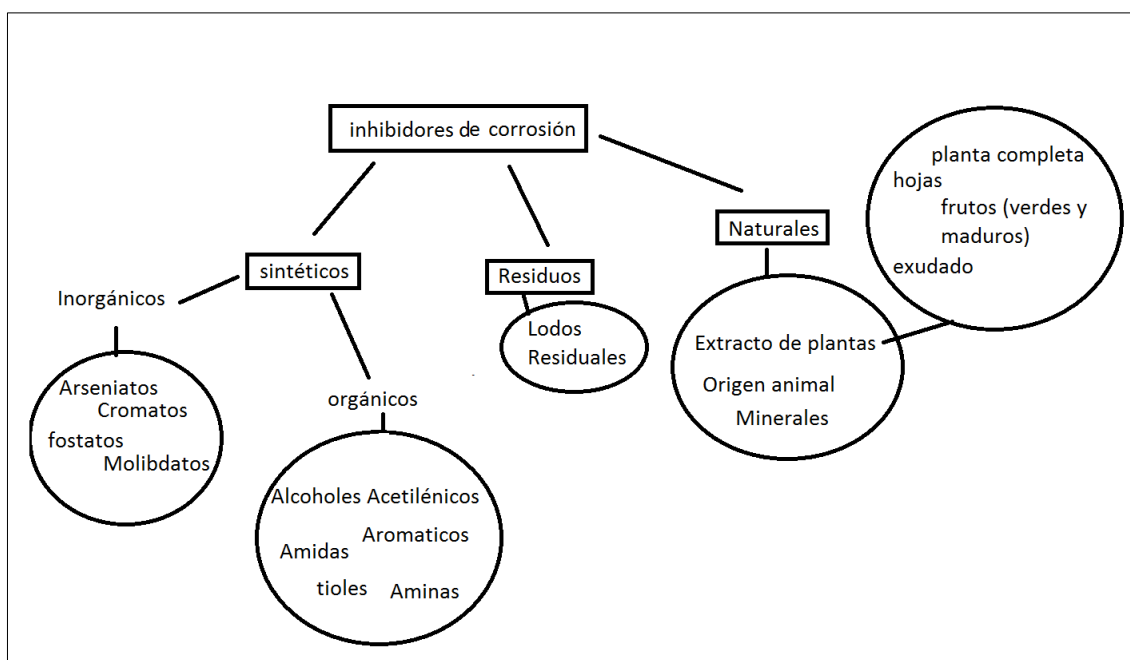
Uno de los mecanismos de adhesión es la adsorción, que consiste en la atracción espontánea de moléculas de un material sobre una superficie sin irrumpir en el sólido. La absorción por su parte se refiere a la incorporación del material adsorbido (adsorbato) sobre el sólido (adsorbente) (Figura 2). Los procesos que combinan adsorción y absorción se denominan sorción. El término sorción incluye tanto la adsorción sobre la superficie, así como dos fenómenos: La absorción por penetración y acumulación del fluido dentro de la estructura interna del sólido y la condensación capilar.



**Figura 2: Ilustrativo del proceso de Adsorción y Absorción.**

Fuente: Ponce 2014. Modificado por los autores.

Dentro de los inhibidores naturales tenemos principalmente extractos de plantas, sustancias de origen animal y extractos vegetales. Entre los últimos se han encontrado síntesis y extracciones de semillas, frutas, hojas, exudados flores, etc. y se ha encontrado que reducen notablemente la velocidad de corrosión.



**Figura 3: Clasificación de los inhibidores de corrosión.**

**Fuete:** (Benítez, Meza, Percy, & Berrocal, 2014) modificado por los autores.

En los extractos de plantas, se piensa que la inhibición es producto de adsorción de componentes orgánicos en el acero, de esta manera se crea una barrera que impide la formación de pilas. (Sathiyathan *et al.*, 2005; Oladele y Okoro, 2011) (Abdel-Gaber *et al.*, 2006; Singh *et al.*, 2010; Anuradhaa *et al.*, 2008) citados en (Benítez, Meza, Percy, & Berrocal, 2014).

Cuando el metal está sumergido en agua sucede lo mismo, las moléculas de agua son desplazadas por una película compacta que funciona como barrera. La adsorción se ve influenciada por la naturaleza y la carga de la superficie del metal, el tipo de electrolito, la temperatura y la estructura química del inhibidor (Abdel-Gaber *et al.*, 2006) (Abdullah, 2011) citados en (Benítez, Meza, Percy, & Berrocal, 2014).

En la adsorción por fisiorción se unen al metal en cátodos locales y la disolución del metal se retarda cuando se impide la reacción catódica. Cuando existe quimisorción se protegen las áreas anódicas (Oguzie, 2008) (Benítez, Meza, Percy, & Berrocal, 2014).

### 2.1.6 Exudado gomoso

Algunos árboles, en respuesta a potenciales agresiones como presencia de insectos y hongos, lesiones microbianas e intervenciones mecánicas como remoción de ramas o cortes, tienden a producir localmente un material viscoso denominado exudado. El exudado es un polisacárido (azúcares) que se constituye en una goma cuando resulta soluble en agua e insoluble en derivados del petróleo (Hamed & Bahareh, 2012).

Las denominaciones no son muy claras en cuanto a la clasificación, por lo que algunos autores ubican a los exudados gomosos dentro de las resina como *gum resin* (Hamed & Bahareh, 2012) pero el término resina en general se refiere a los exudados que no se disuelven en agua (Acosta, 2013) (Nussinovitch, 2009), es necesario entonces entender el uso de los términos de los autores antes de acoger una fuente de información sobre el mecanismo de producción y la función de los exudados gomosos en los árboles (Acosta, 2013), considerando que no existe un acuerdo aún, pero se tiene certeza de que sellan las heridas hechas al tallo, se asocian al crecimiento y edad del árbol (C Clamens, 1998) (Acosta, 2013) (Nussinovitch, 2009) lo cual es importante tener en cuenta a la hora de considerar su aprovechamiento.

Dentro de las características de los exudados gomosos se destaca que pueden causar un gran aumento en la viscosidad de la solución, a menudo incluso a bajas concentraciones, lo que puede en cierto grado afectar la turbidez de las mezclas. La combinación de alta solubilidad en agua y baja viscosidad confiere a la goma usos en la industria como emulsionante, estabilizantes, espesantes y suspensor, sin embargo, la estructura molecular difiere según el origen botánico de la goma, y estas diferencias son reflejadas en algunas de las propiedades; como resultado, se tienen funcionalidades y precios variables según su origen (Nussinovitch, 2009).

Dentro de los exudados gomosos se destacan tres: La goma Arábica, la Karaya y la Tagakant siendo la goma Arábica dentro del contexto la más estudiada. Los resultados de laboratorio





han permitido señalar que se encuentran constituidas por galactosa, arabinosa, ramnosa (azúcares neutros) y ácidos urónicos. (María Isabel Bozo de González, 2008).

La goma Arábiga denominada (*la Acacia Senegal L.* o de la *Acacia Seyal*) ya desde antes de Cristo era un artículo de comercio egipcio; se usaba como aglutinante para pigmentos, adhesivo para pintura de jeroglíficos, adherente de cosméticos y encuadernación, envolturas de lino para las momificaciones. Es de un color naranja-marrón pálido de superficie mate y apariencia vítrea.

La goma arábiga actualmente se usa para evitar la cristalización del azúcar o para actuar como un emulsionante, como esmalte de productos alimenticios y para encapsular sabores. Se utiliza en refrescos y bebidas alcohólicas, ya sea como un vehículo para dar sabor o como un estabilizador o agente para cambiar textura. En farmacia se usa en fabricación de tabletas, donde funciona como un agente de unión o como un recubrimiento antes de la capa de azúcar, como un agente de suspensión y emulsionante. En ocasiones se usa en combinación con otras gomas.

Otros usos técnicos incluyen cerámica, donde la goma árabe contribuye a fortalecer la arcilla, ciertos tipos de tintas y pirotecnia. El uso en textiles, pinturas y adhesivos (incluyendo los tradicionales sellos pegamento oficina y postales) se ha reducido a niveles muy bajos en los últimos años, al menos en los mercados occidentales (Coppen, 1995).

Es importante tener en cuenta que pueden surgir problemas de calidad por la combinación de varios tipos de goma en el proceso de producción, por ejemplo, la goma Talha de Sudán (producido a partir de *A. Seyal*) es una goma de menor calidad que Hashab – debido a que presenta propiedades emulsionantes inferiores (Coppen, 1995). En el mismo sentido se sabe que incluso para un mismo tipo de árbol algunas propiedades de la goma pueden variar con la estación (Nussinovitch, 2009) por consiguiente, sería importante a la hora de la caracterización de alguna nueva cualidad, coleccionar la goma en una sola especie, en un mismo intervalo y dejar sentado en el estudio las condiciones y época.



### 2.1.6.1 Exudado gomoso de *C. Odorata L.*

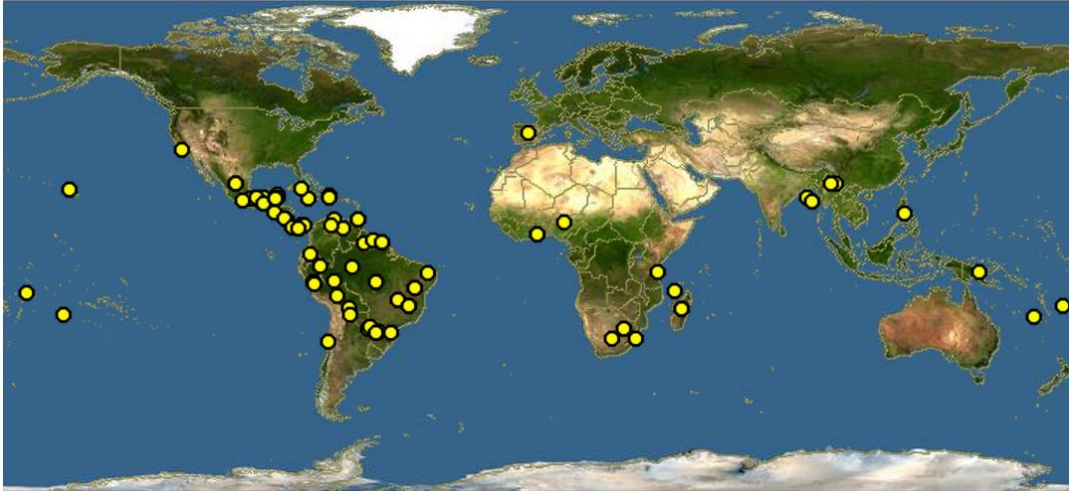
Para el presente estudio se tomará la goma del árbol denominado *Cedrela Odorata Linnaeus* (*C. Odorata L.*) localmente llamado ‘cedro cebollo’, debido a que desprende olor a cebolla al ser herido. El Cedro puede crecer hasta 40 m de altura y 2 m de diámetro, su tallo es color cenizo y presenta follaje en las partes altas como se observa en la **Figura 4**, produce una madera pesada, pero fácil de trabajar y de buena resistencia (Vilela & Ravetta, 2005).



**Figura 4:** *Árbol Cedro, finca Manzanares en el municipio de Turbaco Bolívar.*

Fuente: Los autores.

En Latinoamérica se encuentra desde 26°N en México hasta 28°S en el norte de Argentina y en lugares aislados de África y Asia como se puede observar en la **Figura 5**. Se desarrolla de mejor manera en los climas estacionalmente secos (Navarro, Montagnini, & Hernández, 2004).

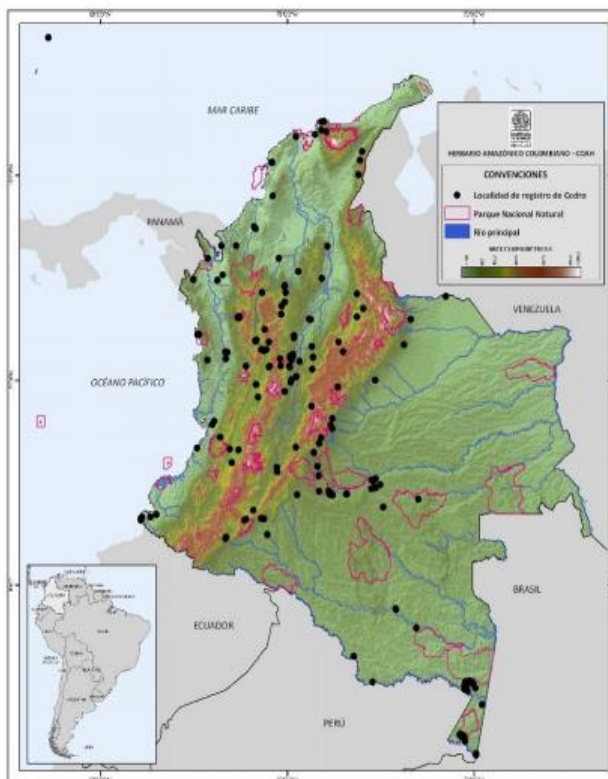


**Figura 5:** Mapa de localización mundial de árboles de *C. Odorata*

Fuente: (Invasive Species Specialist Group, 2015)

El árbol de *C. Odorata L.* alcanza su mejor desarrollo bajo una precipitación anual de 1200 a 2400 mm con una estación seca de dos a cinco meses de duración, es interesante hacer notar que el crecimiento del árbol, así como su reproducción se ven asociados con el comienzo de las lluvias en el verano. Sin embargo, puede sobrevivir en áreas con una menor precipitación (1000 mm anuales), pero crece con lentitud y muestra una forma achaparrada, en el otro extremo también crece de manera esporádica en aquellas áreas que reciben hasta 3500 mm de precipitación, pero solamente en sitios bien drenados (*Styles 1981 citado por (Alderete Chávez & Márquez Ramírez)*).

En Colombia se halla ampliamente distribuida a lo largo de todas las regiones bajas y piedemonte andinos por debajo de los 2000 m de altitud como se observa en la **Figura 6**. Se conoce de su existencia en prácticamente en todos los departamentos del país, aunque no se reporte formalmente.



**Figura 6:** Mapa de sitios con Árboles de *C. Odorata L.* reportados.

Fuente: (Cárdenas López, Castaño Arboleda, Sua Tunjano, Montero González, & Ruiz Bohórquez, 2011)

Por su uso histórico y su uso industrial las gomas extraídas de plantas tienen como referentes a las exudadas por la *Acacia Senegal* y la *Acacia Tortuosa*. Para el caso de estudio presenta un número de viscosidad intrínseca<sup>1</sup> límite de  $0.50 \text{ dl. g}^{-1}$ , <sup>2</sup> mayor que el reportado para las gomas de *Acacia Senegal* ( $0.23 \text{ dl.g}^{-1}$ ) y para *Acacia tortuosa* ( $0.084 \text{ dl.g}^{-1}$ ).

La goma de *C. Odorata L.* tiene una textura vítrea mate cuando se ha solidificado y un color naranja marrón translucido como se observa en la **Figura 7**. A una concentración de 40% m/v forman un gel más fuerte que los exhibidos por las dispersiones de los exudados gomosos de *A. Tortuosa* y *A. Senegal* (goma Árábica), lo que apoya su uso potencial como estabilizante de emulsiones en la industria alimentaria y/o farmacéutica (Acosta, 2013).

<sup>1</sup> Viscosidad Intrínseca: Es una medida indirecta del peso molecular, o sea, del tamaño promedio de moléculas que definen al polímero.

<sup>2</sup> dl/g = 100ml/g gramos de soluto en 100ml de solución



*Figura 7: Exudado gomoso de C. Odorata L.*

Fuente: Los autores.

El uso de la *C. Odorata L.* se limita hoy a la explotación maderera para elaboración de viviendas, tableros, marcos, paneles, muebles finos, contrachapados, elaboración de caras, chapas decorativas, torneado, adornos, instrumentos musicales (guitarras), artesanías, puertas, tallas y empaques finos. Es una de las maderas más importantes del mundo y ha sido explotada a gran escala en los últimos 200 años, sin embargo, por esta misma razón el cedro ha sido catalogado como en peligro (EN a2cd) en la jurisdicción de CORPOAMAZONIA y en Bucaramanga (*López & Montero 2005 citado por* (Cárdenas López, Castaño Arboleda, Sua Tunjano, Montero González, & Ruiz Bohórquez, 2011)).

Por la ardua explotación maderera autoridades proponen realizar planes de manejo con la academia e institutos de investigación por lo que se puede tratar de cambiar su uso a la explotación como producto forestal no maderable (PFNM) con la extracción de goma bajo monitoreo para contribuir a su preservación.

## 2.2 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

Se expondrán las orientaciones y los avances que se han tenido en la implementación de extractos vegetales como inhibidores de corrosión.

Los inhibidores de corrosión partieron de productos químicos orgánicos desarrollados por la industria del petróleo en la década de 1950 y se introdujeron a la industria del hormigón en principios de 1990 (Zaferani, Sharifi, Zaarei, & Shishesaz, 2013), sin embargo, antes de los ochenta se reportan varias investigaciones sobre inhibidores de corrosión para acero de refuerzo mostrando al nitrito de sodio como el mejor inhibidor de corrosión pero con la desventaja de disminuir el esfuerzo y producir reacción álcali-agregado; En esos estudios se aplicaba el inhibidor como un porcentaje de la mezcla (2%-4%). A mediados de los 90s se encontró que sustituyendo el nitrito de sodio por el nitrito de calcio se eliminaban los problemas mencionados por lo que este se hizo muy popular (Saricimen, Mohammad, Quddus, Shameem, & Barry, 2002).

Los inhibidores de corrosión eco-amigables comienzan a verse desde 1984 tomándose como eco-amigables tanto extractos vegetales como otros elementos no tóxicos impulsado por limitaciones hacia los inhibidores tóxicos impuestas por entidades como: U.S. Department of Transportation (DOT), U.S. Environmental Protection Agency (EPA), and the Occupational Safety and Health Administration (OSHA) (Zaferani, Sharifi, Zaarei, & Shishesaz, 2013). Que desde 1930 vieron sobre todo en la industria las cualidades como inhibidor de los extractos de plantas (Raja & Sethuraman, 2008).

Entre los años 83 se experimentaron extractos de semillas y hojas de plantas como inhibidores de corrosión para aluminio expuesto a concentraciones de NaCl (Saleh, Ismail, & Hosary, 1983). Dos años después se prueban extractos de *Papaia*, *Poinciana Pulcherrima*, *Cassia Occidentalis* y *Datura Stramonium* y semillas de *Papaia*, *Calotropis Procera B*, *Azydracta Indica* y *Auforpio Turkiale* en el acero, pero con concentraciones de HCl. Desde estas investigaciones iniciales se ha encontrado eficiencias por encima del 80% usando principalmente el método de pérdida de peso y las mediciones electroquímicas (Zucchi, 1985).



Al probar extractos como el de *Opuntia Ficus Mill* se emplean métodos termométricos, de evolución de hidrógeno y polarización potenciodinámica. En esa investigación se muestra que la inhibición aumenta no solo al aumentar la concentración del extracto, sino que también lo hace al incrementar la temperatura (El-Etre A. , 2003). Pese a lo anterior en una nueva investigación se encuentra que la eficiencia de inhibición disminuye cuando se llega a los 70°C lo que señala la existencia de un posible rango de uso dependiente del extracto empleado (Gunasekaran & Chauhan, 2004) . A.Y. El-Etre (2007) Reporta el uso de este tipo de inhibidores para acero al carbón usando concentraciones de 2M de HCl y se confirma el aumento de la inhibición con el aumento de las concentraciones de los extractos, aunque no se llegó a temperaturas de 70°C (El-Etre A. , 2007).

Se busca entonces comparar la inhibición de los extractos con inhibidores comerciales como 1,2,3-benzotriazole (BTAH) y con el uso de extracto de *Azadirachta Indica* se supera la eficiencia de inhibición llegando al 86.4% para cobre (Valek & Martinez, 2007).

Experimentos con el zumo de albaricoque evidenciaron que la velocidad de corrosión está influida por la temperatura, la concentración del inhibidor y la interacción combinada de los dos factores (Yaro, Khadom, & Wael, 2013).

Desde el 2000 ha habido investigaciones que han contribuido a determinar los mecanismos por los cuales los extractos resultan eficientes, es así como K.O. Orubite y N.C. Oforka (2004) muestran evidencias de que la inhibición se da por fisiorción lo que es compatible con otras investigaciones posteriores (Orubite & Oforka, 2004). Por otro lado, se ha mostrado que los extractos vegetales actúan como inhibidores mixtos tal como lo mostró el extracto de *Retama monosperma (L.) Boiss* (Hamdania, Fdil, Tourabib, Jama, & Bentiss, 2015). Se ha atribuido la inhibición también a la adsorción de moléculas del inhibidor, a la precipitación de quelatos de hierro y a la formación de complejos en la superficie (Abboud, Abdelmjid, Tanane, & Hammouti, 2009).

Las partes más usadas para extracción han sido las hojas, pero también se han utilizado semillas como la de *Adenopus Breviflorus* con eficiencias de inhibición del 94% evaluada por el método de pérdida de peso. (Adewuyi, Andrea, & Wolff, 2014) y en cuanto a los frutos

se ha encontrado incluso que con frutos verdes se obtiene mayor inhibición que con frutos maduros (Ji, Anjum, Shanthi, & Prakash, 2015).

Las eficiencias de inhibición aún se reportan altas con múltiples extractos es así como la Goma Guar 80.6% (Roy, Karfa, Adhikari, & Sukul, 2014), *Tanimos De Mangle* 71.2% *Catequin* 83.7 (Tan, Kassim, & Oo, 2012).

A nivel local ha habido esfuerzos enfocados en desarrollar inhibidores de corrosión ya que se han desarrollado evaluaciones de los efectos inhibidores de componentes vegetales naturales frente a la corrosión pero enfocados hacia el acero industrial con extracto de Aguacate y Aloe vera (Meza Castellar, 2013) y para conservación de patrimonios histórico se han usado síntesis de extractos de caña de azúcar (Jiménez, 2015). De forma puntual se ha visto que la cera extraída del bagazo de caña y el propóleo, posee propiedades antioxidantes (Jiménez, 2015) y el extracto del Aguacate y de las hojas de Aloe Vera, reportaron resultados con un máximo de inhibición en ese estudio del 97% (Meza Castellar, 2013).

De manera global se aplican por lo menos dos métodos de medición de la eficiencia de corrosión siendo más comúnmente usada la pérdida de peso y la EIE y en todos los casos se encuentran menores datos de remoción con el método de pérdida de peso.

En la Tabla 3 se muestran las investigaciones principales encontradas en la base de datos Scince Direct, Dial Net y el repositorio institucional de la Universidad de Cartagena referentes al tema de extractos vegetales como inhibidores de corrosión.

La siguiente revisión permite concluir que la mayoría de los estudios se han realizado para evaluar la inhibición de la corrosión de aceros usados en tuberías industriales con excepción de unos pocos enfocados en aluminio (Krishanaveni & Ravichandran, 2014) (Umoren, Obot, Ebenso, & Obi-Egbedi, 2009) y acero de refuerzo (Okeniyi, Lotoa, & Popoola, 2014) (Okeniyi, y otros, 2015) (Asipita, y otros, 2014) .



**Tabla 3: Recopilación de principales extractos vegetales usados como inhibidor de corrosión.**

ORIGEN	REFERENCIA	PARTE VEJETAL	EFICIENCIA DE INHIBICIÓN/TEMPERATURA /VELOCIDAD	MÉTODO	ACERO
<i>Adenopus Breviflorus</i>	(Adeuwuyi, Andrea, & Wolff, 2014)	Aceite de semillas	94.22% a 25°C 160 mol/L 0,13 mg cm <sup>2</sup> h	Pérdida de peso.	C – 0.18%, Si – 0.29%, Mn – 0.38%, P – 0.28%, S – 0.18%, Cu – 0.19% and Fe – 98.50%
Jugo de Alpricot	(Yaro, Khadom, & Wael, 2013)	Fruto	63% a 30°C con 10g/L 96 g m <sup>2</sup> day	Pérdida de peso	Fe,98.9; C,0.199; Si, 0.124; Mn, 0.053; Al, 0.0514; Cr, 0.009; Cu, 0.0468; Ti, 0.0089; V, 0.0076; Ni, 0.00352; Co, 0.0091; Mo, 0.005; Pb, 0.05
<i>Euphorbia falcata L.</i>	(Bribri, Tabyaouia, Tabyaoui, Attari, & Bentiss, 2013)	Parte aérea (de la raíz hacia arriba)	93,2% a 30°C 0,17 mg cm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	Pérdida de peso	(in wt%) of 0.370% C, 0.230% Si, 0.680% Mn, 0.016% S, 0.077% Cr, 0.011% Ti, 0.059% Ni, 0.009% Co, 0.160% Cu y el resto en Fe
<i>Spirulina Platensis</i>	(Kamal & Sethuraman, 2012)	Toda la planta	Entre 82% y 71% a 30°C	Pérdida de peso	C = 0.07%, Mn = 0.34%, P = 0.08% and the remaining % of Fe
Aceite de Orujo de Olivo	(Bouknana, Hammoutia, Messalid, Aounitia, & Sbaab, 2014)	Residuo del extracto del de proceso industrial	Entre 80 y 92 % a 35°C Entre 1 y 1.4 ml/L x10 <sup>-5</sup> Entre 0,19 y 0.078 mg/cm <sup>2</sup> h	Pérdida de peso	0.09% P; 0.38% Si; 0.01% Al; 0.05% Mn; 0.21% C; 0.05% S y el resto en hierro





Aceite de hojas de olivo	(El-Etre A. , 2007)	Extracto de hojas	91% a 25°C 900 ppm velocidad 0.05 mg/(cm <sup>2</sup> h)	Pérdida de peso	0.27% C, 0.85% Mn, 0.035% P, 0.035% S, 0.15% Si, y Fe
<i>Azadirachta Indica</i> (árbol de Neem)	(Loaiza & Vidales, 2013)	Extracto de hojas	78% de inhibición con 5% de extracto de Neem a 30°C	-	-
<i>Heinsia Crinata</i>	<i>Eddy y Odiongenyi,</i> 2010 citado en (Meza, Altamiranda, Berrocal, & Tejeda, 2014)	-	-	-	-
<i>Aniba Rosaedora</i>	(Chevalier, y otros, 2014)	Madera	95.3% 200mg/L	Métodos electroquímicos	0.36 wt.% C, 0.66 wt.% Mn, 0.27 wt.% Si, 0.02 wt.% S, 0.015 wt.% P, 0.21 wt.% Cr, 0.02 wt.% Mo, 0.22 wt.% Cu, 0.06 wt.% y Fe
<i>Raphanus Sativus</i> (Rabano)	(Noor, 2011) (Radojčić, Berkovic, Kovac, & Vorkapić - Furac, 2008)	hojas	79.73% y 80,1 a 30°C 10ml/100ml >90% con 1000ppm 1.63x10 <sup>-4</sup> g cm <sup>2</sup> h <sup>1</sup>	electroquímicos	g 0.25% C, 0.48% Mn, 0.3% Si, 0.04% Ni, 0.06% Cr, 0.02% Mo, 0.021% S, and 0.019% P
Sábila	(Mehdipoura, Ramezanzadeh, & Armana, 2015)  (Meza Castellar, 2013)	Extracto de aloe vera de las hojas	98% a 25°C con 30% v/v  63,29% con 10% de aloe a 30°C	Ruido electroquímico  Pérdida de peso	C(0.04), P(0.08), Si(0.75), Ni(8), Cr(18), Mn(2), N(0.1), S(0.8) y Fe  -
<i>Bifurcaria Bifurcata</i>	(Abboud, Abdelmjid, Tanane, & Hammouti, 2009)	Extracto planta completa	81% a 24°C con 50% v/v 0,011 mg/cm <sup>x</sup> h	Pérdida de peso	0.21 C; 0.38Si; 0.09P; 0.05Mn; 0.05 S; 0.01 Al y el restante en Fe



Goma Guar	(Roy, Karfa, Adhikari, & Sukul, 2014)	Exudado gomoso de árbol	71.4% a 30°C 500ppm	Polarización potenciodinámica	0.19 C, 0.21 Si, 0.21 Mn, 0.01 P, 0.01y el resto en Fe.
<i>Phyllanthus Muellierianus</i>	(Okeniyi, y otros, 2015)	Hojas	97% en Nigeria Con 6.67 g/L	Macroelda y electrodo de Cu/CuSO <sub>4</sub>	Acero de refuerzo
<i>Rhizophora Mangle L.</i>	(Okeniyi, Loto, & Popoola, 2014)	Hojas	76.32% en Nigeria 0.1667 de peso en cemento 0.05 mm/y	Celda Cu/CuSO <sub>4</sub>	Acero de refuerzo
<i>Musa paradisica</i>	(Ji, Anjum, Shanthi, & Prakash, 2015)	Extracto acuoso plátano maduro	90% a 26°C 300mg/L	Polarización potenciodinámica	C-0.16, Mn-0.032, Si-0.18, S-0.026, P-0.03 and remainder Fe.

Fuente: Los autores.

En la actualidad el efecto de inhibición de los materiales vegetales también se ha estudiado aplicando el extracto directamente al hormigón armado con muestras expuestas al ambiente con contaminación con sales (Asipita, y otros, 2014) y con pruebas de inmersión de probetas de hormigón en solución salina. Es así como se estudió y se aplicó un extracto de *Rhizophora mangle L.* en la mezcla de placas de hormigón armado (Okeniyi, Lotoa, & Popoola, 2014).

En la metodología de este último estudio las dimensiones para los especímenes fueron de 100 mm × 100 mm × 200 mm hasta justo por debajo del empotramiento de refuerzo de acero. Las muestras fueron parcialmente sumergidas en de 0.5 M de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Luego de mediciones electroquímicas por 96 días se observó que con 0.1667% *R. Mangle L.* Sobre el porcentaje de mezcla se obtiene eficiencia de inhibición de 76.32 +- 4.44% y adicionalmente se aumentó la resistencia a compresión (Okeniyi, Lotoa, & Popoola, 2014).

En cuanto al uso de exudados gomosos de origen vegetal como anticorrosivo se tiene como primer referente metodológico en 2008 la goma árabe (GA). En este caso se comparó su eficiencia de inhibición con la del polietilenglicol (PEG) evaluada sobre acero dulce (Mn 0.6, C 0.15, P 0.36, Si 0.03 y el resto en Fe) en láminas de 0,045 cm de espesor sumergidas en solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Luego de determinarse el porcentaje de eficiencia de inhibición usando tres métodos: El de pérdida de peso, el de volumen de hidrógeno y termométrico; Para un rango de temperatura 30-60° C se estudió el efecto de la adición de haluros (KCl, KBr y KI).

Dentro de los resultados se evidenció que con 0.5 g/L la GA sin adiciones se presenta una eficiencia de inhibición mayor al aumentar la temperatura y los valores de eficiencia de inhibición variaron de acuerdo con el método de estudio. El ensayo de pérdida de peso es el que arrojó menores valores (Umoren, Ogbobe, Igwe, & Ebenso, 2008). El resumen de los resultados obtenidos se registra en la Tabla 4.

Al igual que con el aumento de la temperatura, la goma arábica también muestra un aumento de la eficiencia de inhibición con la adición de haluros.

En cuanto al régimen de adsorción la GA sigue la isoterma de adsorción de Temkin y tiene más baja adsorción química que el PEG.

**Tabla 4: Valores de inhibición de la corrosión por tres métodos. Se usaron 0.5 g/l de Goma Arábica y se varió la temperatura de 30 a 60 °C.**

MÉTODO	INHIBICIÓN A 30°C (%)	INHIBICIÓN A 40°C (%)	INHIBICIÓN A 50°C (%)	INHIBICIÓN A 60°C (%)
Pérdida de peso	21.9	25.9	32.9	37.9
Volumen de hidrogeno	40.1	43.2	46.0	52.1
Termométrico*	43.7			

Fuente: (Umoren, Ogbobe, Igwe, & Ebenso, 2008) sintetizada por los autores.

En esa investigación se observó un efecto sinérgico entre GA / PEG y los haluros. La adición de haluros (KCl, KBr) mejoró la eficiencia de la inhibición de la GA (Umoren, Ogbobe, Igwe, & Ebenso, 2008).

En vista de que se obtuvieron resultados de una inhibición considerable se aplicaron mayores concentraciones de GA y se evaluó la eficiencia de inhibición con métodos electroquímicos: Espectroscopía de impedancia Electroquímica (EIE) y curvas de potencialización electrodinámicas. Las anteriores pruebas se aplicaron sobre tuberías de acero API 5L X42 (C 0.2 max, Mn 1.18 max, Si 0.1 min, P 0.025 max, S 0.01 max, Cr 0.4 max, Ni 0.4 max, Nb 0.035 max, Ti 0.02 max) en solución de 1 M HCl. Los resultados mostraron una eficiencia de inhibición mucho mayor que en el estudio anterior con valores de 79% y 92% para 0,5 y 2 gL<sup>-1</sup> respectivamente (Bentrah, Youssof, & Chala, 2014) como se puede observar en la Figura 8.

La inhibición se explica por el hecho de que la GA tiene un extremo hidrófobo y un extremo hidrófilo que puede ser atraído a la superficie metálica por una elevada proporción de grupos funcionales hidroxilo y carboxilo disponibles, y el extremo hidrófobo tiende a suavizar y engrosar el recubrimiento que ayuda en el aislamiento de la superficie del metal (Bentrah, Youssof, & Chala, 2014).

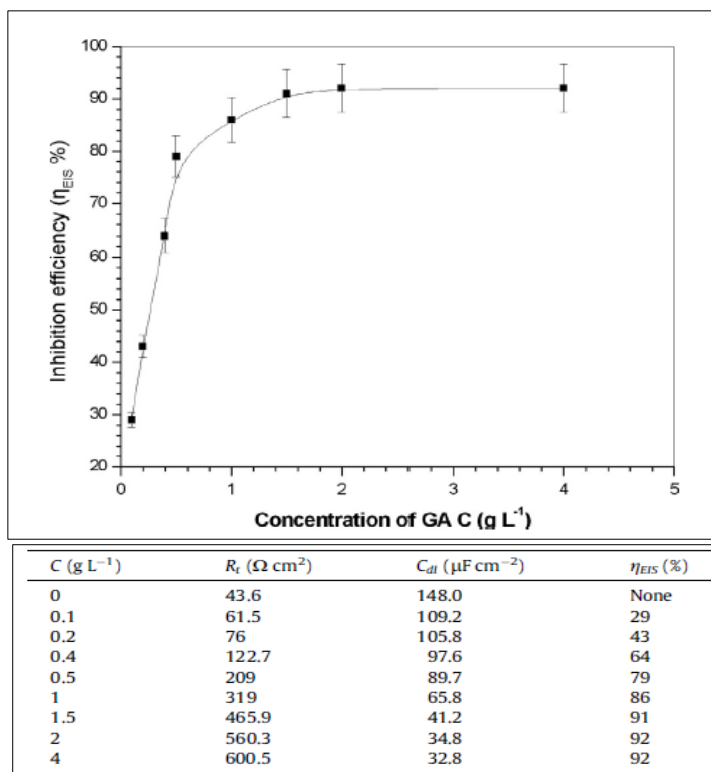


Figura 8: Variación de la eficiencia de inhibición con diferentes concentraciones de GA.

Fuente: (Bentrah, Youssouf, & Chala, 2014) modificado por los autores.

Se demostró que la eficiencia de inhibición aumenta con la concentración del inhibidor, y el valor máximo es 92% con 2 g L<sup>-1</sup>. Se enuncia que la adsorción es física y se amolda al modelo de Langmuir.

### Similitud de la goma arábiga (*A. Senegal*) y goma de árbol de cedro (*C. Odorata L.*)

El exudado gomoso del árbol de cedro posee muchos de los componentes de la goma arábiga en concentraciones un poco mayores en algunos casos. La Goma de exudado de *C. Odorata L.* es muy soluble en agua y tiene un número de viscosidad intrínseca (0,50 dl g<sup>-1</sup>) superior a la reportada para la goma conocida de *A. Senegal* (0,23 dl g<sup>-1</sup>) (Sánchez *et al.*, 2002) y para *A. Tortuosa* (0.084 dl g/L) (Beltrán, León de Pinto, Martínez, y Rincón, 2005). El contenido de nitrógeno es bajo (0.12%) como se ha informado para la goma de *A. Senegal* (0.34%) (Anderson & MacDougall, 1987).

Goma de *C. Odorata L.* contiene galactosa, arabinosa y ramnosa azúcares neutros y residuos de ácido urónico (Rincon, Muñoz, Pinto, Alfaro, & Calero, 2009). Al igual que las gomas arábicas (María Isabel Bozo de González, 2008).

Dentro de los procedimientos experimentales planteados en la propuesta se escogió el claustro la Merced como lugar de ejecución la prueba de pérdida de peso debido a que su ubicación permite un contacto directo de las muestras con el ambiente salino de la ciudad, lo que incide en el desarrollo de las reacciones que permiten inicio del proceso corrosivo en los metales y la correspondiente pérdida de materia en la superficie, en la ubicación escogida las muestras se expusieron al contacto con cloruros y otros agentes reactivos del medio atmosférico. Para el caso del monitoreo con celda electroquímica, el proceso corrosivo se asegura al exponer al acero de refuerzo a una mezcla fabricada con agua salada, la cual afectará de manera generalizada el área de las barras sometidas al ensayo. La exposición de las muestras en el Claustro la Merced y la adición de agua de mar al concreto fueron condiciones impuestas para acelerar el proceso de corrosión y poder evaluar más rápidamente el exudado como inhibidor debido a que el deterioro por corrosión en condiciones normales tarda periodos largos.

En la mayoría de los estudios de inhibición presentados se utilizaron láminas de acero de espesores pequeños sumergidas en agua con adición de porcentajes de sales, sin embargo, como se verá en la metodología, para estudiar el proceso de inhibición en el acero de refuerzo fue necesario tomar muestras de varillas expuestas a la intemperie y otras muestras embebidas con el objetivo de recrear las condiciones de ambiente salino de la ciudad y la adición de sales se hizo aplicando agua de mar en las muestras de acero embebidas. Las dimensiones de las probetas para el ensayo de monitoreo con celda electroquímica favorecieron la aparición de grietas debido su esbeltez, lo que pudo acelerar el proceso de corrosión, además de permitir que la medición con la celda se hiciera con mayor confiabilidad debido a que la norma recomienda medir con intervalos de 30 cm.

Siendo uno de los factores críticos al evaluar la eficacia de los inhibidores de corrosión se procuró escoger lugares donde la temperatura no excede los estándares para los que el estudio muestre resultados adecuados.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia de inhibición de la corrosión del exudado gomoso de *C. Odorata L.* en barras de acero de refuerzo bajo el ambiente salino de la ciudad de Cartagena de Indias, a través de estudios de prueba de pérdida de peso y celda electroquímica, para generar una alternativa ecológica que prolongue la vida útil del concreto reforzado.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuantificar la eficiencia de inhibición del exudado gomoso sobre la corrosión atmosférica del acero de refuerzo mediante un ensayo de pérdida de peso.
- Comparar la probabilidad de corrosión de muestras de acero embebido en concreto con diferentes concentraciones del exudado, con el uso de media celda electroquímica de Cu/CuSO<sub>4</sub>.
- Caracterizar el comportamiento térmico del exudado gomoso de *C. Odorata L.* a través de un ensayo de calorimetría diferencial de barrido (DSC) para determinar su estabilidad térmica y asociarla con la adherencia al acero.
- Identificar los niveles de salinidad y cloruros tanto en el agua de mezclado como en el aire influyentes en los procedimientos experimentales para relacionarlos con la velocidad de corrosión de las muestras.

## 4 ALCANCE

En el presente estudio se evaluó el uso de exudado gomoso de *C. Odorata L.* como inhibidor de corrosión en el acero de refuerzo usado en construcciones para ambiente salino.

El acero de refuerzo se estudió bajo el ambiente de exposición corresponde al C2 estipulado en la NSR-10 como exposición severa (“concreto expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen” (Min. de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Para cumplir con lo anterior el estudio se llevó a cabo en la ciudad de Cartagena de Indias en dos locaciones con dos pruebas diferentes que permitieron evaluar dos indicadores puntuales del grado de inhibición. La primera locación fue dispuesta en el Claustro de La Merced ubicado en el centro histórico de la ciudad, donde se realizó la prueba de intemperismo para evaluar la eficiencia de inhibición por corrosión atmosférica, el lugar fue escogido por encontrarse en proximidad costera. La segunda locación corresponde a los laboratorios de ingeniería de la Universidad de Cartagena en el barrio Piedra de Bolívar donde se llevó a cabo la prueba de monitoreo de celda electroquímica para comparar la inhibición del exudado sobre el acero embebido en concreto con contaminación salina.



Figura 9: Locaciones propuestas para estudio.

Fuente: Los Autores.



Con los dos estudios planteados se evaluó la capacidad del inhibidor ante un medio aéreo con cloruros y ante contaminación del concreto por agua de mar, recogiendo así las características de exposición C2 más predominantes de la ciudad de Cartagena.

La población a estudiar para la prueba de intemperismo fue de 18 muestras de acero de refuerzo comercial de mayor frecuencia de uso en la ciudad, con 5 porcentajes diferentes de inhibidor. El volumen y número de las muestras se tomó teniendo en cuenta estudios anteriores y la disponibilidad de recursos.

La parte experimental de la propuesta se ejecutó en 99 días, pero para la investigación completa se emplearon 180 días.

Las variables a evaluar puntualmente fueron: La eficiencia de inhibición, la velocidad de corrosión (obtenida a través del ensayo de pérdida de peso) y la probabilidad de existencia de corrosión (determinada a partir de las diferencias de potencial registradas en la prueba de celda electroquímica). Las variables propias del estudio están representadas por el porcentaje de exudado gomoso aplicado, el sistema de exposición, el tipo de concreto, la clase de acero y el tiempo del ensayo. Finalmente, las variables independientes fueron reconocidas como el porcentaje de los agentes corrosivos del agua y del aire.

Con las variables evaluadas fue posible emitir un juicio sobre el exudado gomoso como inhibidor de corrosión del acero de refuerzo, aplicado tanto en varillas a la intemperie como para las varillas embebidas en el concreto. Las variables obtenidas sirvieron de insumo adecuado para la formulación de conclusiones y recomendaciones encaminadas a la aplicación potencial del producto vegetal en el acero de refuerzo.

Dentro del análisis se comparó cómo evoluciona la corrosión sobre una muestra libre de inhibidores y otras con protección.

Como información adicional requerida para la correcta ejecución del estudio se presentaron algunas características del exudado gomoso de *C. Odorata L.* y algunas características del aire y agua de mar ciudad de Cartagena de Indias.



Las concentraciones usadas demuestran resultados positivos motivando que continúe la experimentación de los exudados vegetales como inhibidores de corrosión, específicamente, para el producto usado en este proyecto convendría llegar a la determinación del compuesto activo ya habiendo determinado la concentración óptima en el presente estudio.

La información nueva que se deseaba aportar es sobre el conocimiento de la posible efectividad o no del exudado gomoso de *C. Odorata L.* como inhibidor de corrosión para acero de refuerzo. Bajo estos lineamientos es necesario aclarar que la investigación no buscaba aportar a la explicación del mecanismo de interacción físico química del exudado gomoso con el acero de refuerzo, así como tampoco se estudiaría la modificación de la capacidad de adherencia del acero de refuerzo con el hormigón (lo cual puede ser objeto de investigaciones posteriores) ni la dinámica de la corrosión en el tiempo, sin embargo, en este último aspecto si se hicieron análisis. Las pruebas adicionales de caracterización del exudado gomoso, de salinidad del aire y de las microfotografías están incorporadas a la investigación para dar mejor contexto a la misma, mas no constituyen su eje central.

Los resultados de este estudio se convertirán en un avance frente a la investigación de los potenciales de inhibición de los productos vegetales en el campo de los exudados, ya identificada su efectividad para tal fin. El estudio de los exudados gomosos para inhibición de corrosión podrá extenderse, comprendiendo las conclusiones y acogiendo las recomendaciones que se formula en éste proyecto.

## 5 METODOLOGIA

La presente investigación es de tipo experimental cuantitativa y consideró dos factores con tres niveles, lo que originó 12 tipos de experimentos de los cuales dos fueron experimentos con muestras blanco. El detalle del diseño experimental se encuentra descrito en la **Tabla 5**.

*Tabla 5: Diseño experimental.*

Experimento	Intemperismo	Contaminación	Concentración (%p/p)						Duración (días/mediciones)	Número de Muestras
			0	2	5	10	20	33		
1	x			x					99/5	3
2	x				x				99/5	3
3	x					x			99/5	3
4	x						x		99/5	3
5	x							x	99/5	3
6		x		x					115/11	3
7		x			x				115/11	3
8		x				x			115/11	3
9		x					x		115/11	3
10		x						x	115/11	3
11	x		x						99/11	3
12		x	x						115/11	2

Fuente: Los autores.

Los procedimientos que se manejaron para la evaluación de la capacidad inhibidora del exudado gomoso fueron dos pruebas experimentales puntuales: Prueba de intemperismo y prueba de celda electroquímica. La primera se realizó para evaluar la eficiencia de inhibición del exudado sobre el acero expuesto al aire salino y la segunda para hacer una comparación de la probabilidad de corrosión de dos varillas con inhibidor y una sin inhibidor en concreto contaminado con compuestos salinos.

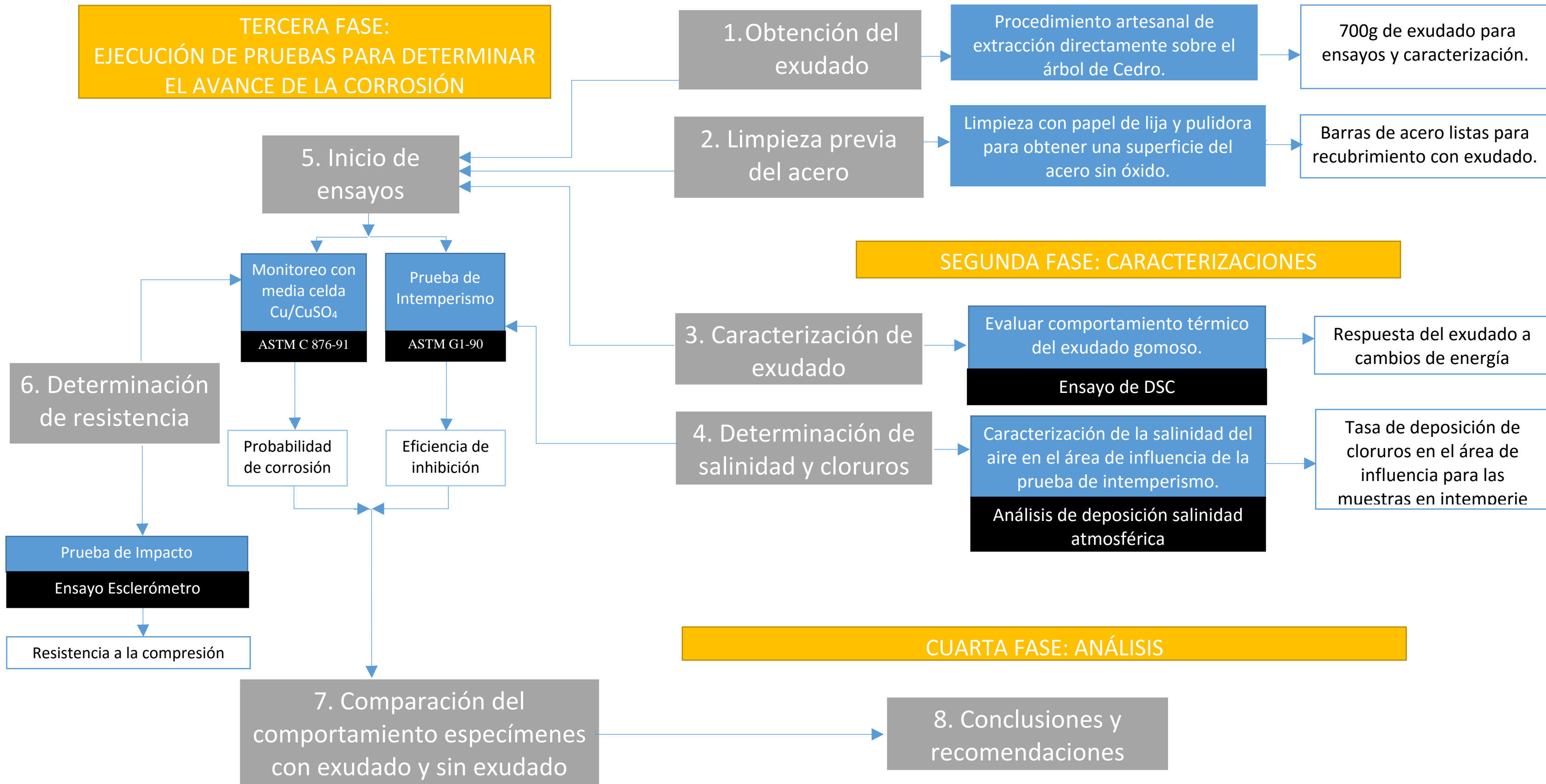
A continuación se muestra un diagrama que esquematiza el proceso metodológico.

Fase. Descripción. Producto. Procedimiento. Ensayo experimental específico.



**PRIMERA FASE: ESTUDIOS PRELIMINARES Y OBTENCIÓN DE MUESTRAS**

**TERCERA FASE: EJECUCIÓN DE PRUEBAS PARA DETERMINAR EL AVANCE DE LA CORROSIÓN**



**SEGUNDA FASE: CARACTERIZACIONES**

**CUARTA FASE: ANÁLISIS**

## 5.1 Generalidades

Se muestra a continuación la información y los procedimientos generales que se realizaron como complemento de los procedimientos experimentales principales propuestos para la ejecución de la presente investigación.

### 5.1.1 Obtención Del Exudado Gomoso

Se recolectaron 700 g del exudado gomoso de la estructura previa al cambium del tronco de 5 árboles de *C. Odorata L.* pertenecientes a la finca Manzanares ubicada en el municipio de Turbaco Bolívar (**Figura 10**). La goma obtenida, aun blanda, se dejó expuesta a la luz solar por varios días para garantizar rigidez previa al proceso de triturado, el cual se ejecutó con un equipo proctor hasta obtener un material fino que pasó el tamiz numero 10 (2mm) y se retuvo en el tamiz numero 16 (1.18 mm). Esta metodología se basó en el procesamiento artesanal de la goma arábica modificada por pruebas hechas previamente con el exudado en el laboratorio de geotecnia de la Universidad de Cartagena.



*Figura 10. Exposición del exudado en la cerca eléctrica de la finca manzanares.*





*Figura 11. Triturado y tamizado del Exudado.*

Fuente: Los autores.

### 5.1.2 Acero

Se utilizaron barras de acero de construcción liso de media pulgada de diámetro (11.2 mm) y una de longitud para la prueba de intemperismo, y acero corrugado de 81 cm de longitud y media de diámetro para la prueba de monitoreo con celda electroquímica.

### 5.1.3 Pesaje de muestras de intemperismo

Al acero seco y limpio se le midieron su masa y dimensiones, teniendo en cuenta que para las medidas de la masa fueron necesarias cinco cifras significativas y tres para la de las dimensiones, acatando lo que sugiere la norma. Debido a esto se utilizó una balanza SWISS ES 225SM-DR con sensibilidad de 0.00001 g (Figura 12), ubicada en el laboratorio de química analítica y biomédica del CREAD de la Universidad de Cartagena de la sede Zaragocilla.



*Figura 12: Balanza utilizada para el pesaje de las muestras de acero.*

Fuente: Los Autores

#### 5.1.4 Soluciones

Para obtener las concentraciones de exudado gomoso se mezclaron diferentes gramajes de éste ya triturado con agua destilada usada como disolvente. Se utilizó agua destilada, reconociendo que este procedimiento debe acogerse al método de preparación tipo IV (ASTM, 1983). La homogenización se realizó en forma manual con ayuda de un recipiente durante cinco minutos. Las mediciones de las cantidades de exudado gomoso se realizaron en la balanza Swiss Made ES 225SM-DR con capacidad máxima de 225g y mínima de 10mg y 0,00001 de precisión, la cual cumple con la norma ISO 9001, obteniendo las concentraciones que se observan en la Figura 13.



*Figura 13. Soluciones utilizadas inicialmente.*

Fuente: Los autores

#### 5.1.5 Aplicación de la solución de exudado

Como se ve en la **Figura 14** se impregnaron las muestras con las soluciones respectivas usando pinceles de cerdas suaves, uno para cada concentración, los cuales serán lavados con agua destilada antes del ensayo. Se procuró que los especímenes quedaran bien cubiertos aplicando dos capas.



**Figura 14.** Limpieza y aplicación del exudado con pincel de cerdas suaves sobre las barras limpias.

Fuente: Los autores

### 5.1.6 Caracterización del exudado gomoso

Para conocer el comportamiento térmico del exudado se realizó una prueba DSC en el laboratorio de física de la Universidad de Cartagena con tres barridos para los cuales se varió la temperatura y se analizaron los cambios físicos de la muestra. Se usó un equipo DSCQ200 con sistema de enfriamiento de  $-90^{\circ}\text{C}$  a  $550^{\circ}\text{C}$ . El procedimiento se realizó con ayuda del director de laboratorio de física Álvaro García Muriel.



**Figura 15.** Detalle del equipo para ensayo DSC.

Fuente: Los Autores



### 5.1.7 Caracterización de la salinidad del Aire

Se determinaron las tasas de deposición de cloruros y salinidad, mg/L con un método de deposición que consistió en colocar una lámina limpia dejada a la exposición del aire durante un mes, luego se lavó con agua destilada y se aplicó un análisis de los compuestos acumulados. Para llevar a cabo el procedimiento se colocó una lámina nueva y limpia de polímero liso de 0.8 por 0.8 m, en la azotea del claustro de La Merced junto a las muestras sometidas a la prueba de intemperismo. Al cumplirse el mes se realizó el lavado con 1 litro de agua destilada aplicándola sobre la lámina y usando un recipiente plástico limpio debajo y pasando un escurridor de vidrios. La solución obtenida del agua de limpieza se depositó en un recipiente plástico limpio y se envió al laboratorio para ser sometida a un análisis químico con el fin de determinar cloruros y salinidad en mg/L.

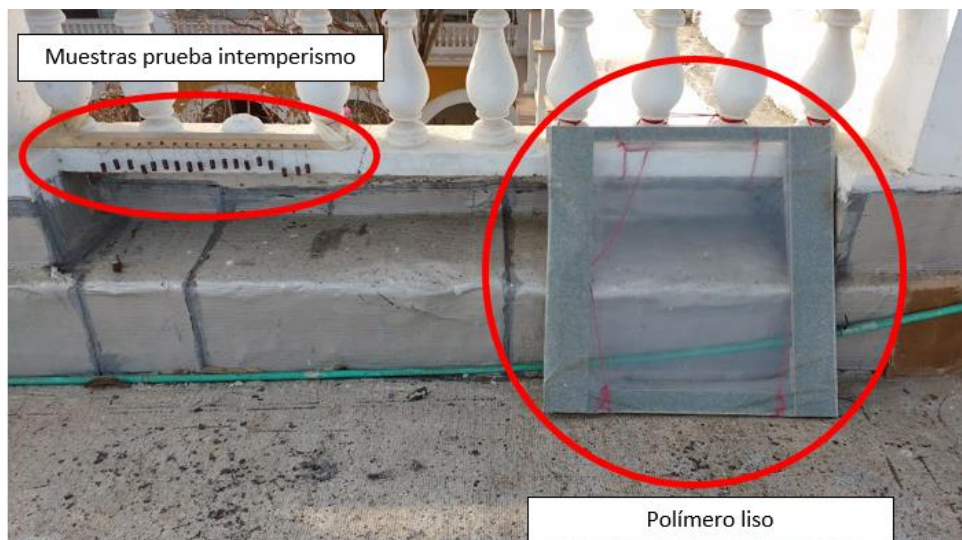


Figura 16. Montaje de polímero liso.

#### 5.1.7.1 Cálculos

La tasa de deposición de cloruros se determinó con la siguiente ecuación:

Ecuación 1

$$C_{cl}^- = \frac{[Cl^-] V_{H_2O}}{A_r t_r}$$

Donde:

$C_{cl}^-$  = Cantidad de cloruros depositados ( $g/m^2 \times año$ )

$[Cl^-]$  = Concentración de cloruros (g/L)

$V_{H_2O}$  = Volumen de agua. Se toma como 1 L puesto que los resultados se darán en g/L.

$A_r$  = Área de la lámina que correspondería a  $0.63\text{m}^2$ .

$t_r$  = Tiempo de exposición de la lámina en años que para un mes correspondería a 0.0822 años.

La salinidad depositada se calculó de acuerdo a la ecuación:

Ecuación 2

$$C_s = \frac{\text{Salinidad } V_{H_2O}}{A_r t_r}$$

Donde la salinidad se aplica en g/L de acuerdo con el análisis químico. Los demás términos corresponden a los mismos que se aplicaron el cálculo de la tasa de deposición de cloruros.

## 5.2 PRUEBA DE INTEMPERISMO

La prueba de intemperismo se realizó para determinar la eficiencia de la inhibición que ejerce el exudado gomoso sobre el acero de refuerzo contrarrestando los efectos de la corrosión atmosférica. Para ello se expusieron al intemperismo 15 muestras impregnadas con diferentes soluciones de exudado gomoso de *C. Odorata L.* al mismo tiempo se tuvieron tres muestras blanco cuyos datos promedio fueron el punto de comparación. Las muestras se dejaron a la intemperie en las instalaciones del Claustro de la Merced de coordenadas  $10^{\circ}25'36.87''\text{N}$  y  $75^{\circ}33'3.58''\text{O}$  al norte de la ciudad de Cartagena de Indias, en el barrio Centro, Plaza de la Artillería No 38-40, como se muestra en la Figura 17.



Figura 17: Ubicación del estudio de intemperismo.

Fuente: Google Earth. Modificada por los autores.

La prueba se llevó a cabo durante 99 días, tiempo en el cual se trasladaron las probetas a los laboratorios de la Universidad de Cartagena sede Piedra de Bolívar para ser pesadas al cumplirse los 8, 38, 76 y 99 días, completando un total de tres ciclos de pesado.

Todo el procedimiento experimental se encuentra basado en la Norma ASTM G1-90 que contiene las instrucciones estandarizadas para la preparación, limpieza y evaluación de los especímenes utilizados en pruebas de corrosión.

### *Etiquetado de los Especímenes*

El marcado se realizó usando etiquetas de acuerdo al numeral 6.2.5 ASTM G1-90 en donde se hacen las consideraciones correspondientes a cuando se está aplicando un material superficial al metal. Teniendo en cuenta lo anterior se etiquetaron los especímenes con una cinta de papel de 0.7 cm x 0.5 cm donde se colocaron las correspondencias a las denominaciones dadas en la **Tabla 6**. Las etiquetas se colocaron sobre el acero dispuestas transversalmente sobre la varilla luego de 2 horas de aplicada la solución de exudado o hasta cuando este se halla adsorbido (**Figura 18**).

*Tabla 6: Denominación de las etiquetas para las muestras de intemperismo.*

<b>NOMBRE DE LA MUESTRA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
iB1	Muestra de intemperismo blanco 1
iB2	Muestra de intemperismo blanco 2
iB3	Muestra de intemperismo blanco 3
i1-2	Muestra de intemperismo uno con 2% de inhibidor
i2-2	Muestra de intemperismo dos con 2% de inhibidor
i3-2	Muestra de intemperismo tres con 2% de inhibidor
i4-5	Muestra de intemperismo cuatro con 5% de inhibidor
i5-5	Muestra de intemperismo cinco con 5% de inhibidor
i6-5	Muestra de intemperismo seis con 5% de inhibidor
i7-10	Muestra de intemperismo siete con 10% de inhibidor
i8-10	Muestra de intemperismo ocho con 10% de inhibidor
i9-10	Muestra de intemperismo nueve con 10% de inhibidor
i10-20	Muestra de intemperismo diez con 20% de inhibidor

i11-20	Muestra de intemperismo uno con 20% de inhibidor
i12-20	Muestra de intemperismo dos con 20% de inhibidor
i13-33.3	Muestra de intemperismo tres con 33.3% de inhibidor
i14-33.3	Muestra de intemperismo cuatro con 33.3% de inhibidor
i15-33.3	Muestra de intemperismo cinco con 33.3% de inhibidor

Fuente: Los autores

### 5.2.1 Pérdida de peso

Las probetas se pesaron en una balanza de precisión 0.00001 al cumplirse aproximadamente 30 días, contados desde el primer pesaje. Al completar el tercer ciclo de pesaje, se removi6 la herrumbre de las muestras aplicando el procedimiento descrito en la norma con papel lija y pulidora. El procedimiento de limpieza se us6 tambi6n en dos varillas de control no corro6das con el prop6sito de observar la posible remoci6n sobre la base del metal debida a la limpieza. La diferencia entre el peso inicial y final de las muestras de control luego de ser limpiadas fue usada para corregir los resultados de p6rdida de peso de las muestras sometidas al ensayo.

Se tomaron fotograf6as de las muestras antes y despu6s de finalizado el ensayo de intemperismo.



*Figura 18. Muestras dispuestas para la prueba de intemperismo.*

### ***Variables respuesta***

Las variables respuesta fueron:

- El peso de las muestras al cumplirse el mes uno dos y tres.
- El peso de los especímenes sin productos de óxido al cumplirse los 99 días.

### **5.2.2 Cálculos Numéricos**

Con los pesos de las muestras de intemperismo se determinó el porcentaje de inhibición como sigue.

### **Eficiencia De Inhibición**

La eficiencia de inhibición se determinó a partir de la siguiente ecuación:

*Ecuación 3*

$$I\% = \left(1 - \frac{P_1}{P_2}\right) \times 100\%$$

Donde  $I\%$  es la eficiencia de inhibición.

$P_1$  Es el porcentaje de peso perdido de la muestra con inhibidor.

$P_2$  Es el porcentaje de peso perdido por la muestra blanco.

### ***Velocidad De Corrosión***

La velocidad de corrosión se da acuerdo a la norma ASTM G1-90 se determina aplicando la ecuación:

*Ecuación 4*

$$V_{cor} = (K \times W_2)/(A \times T \times D)$$

Donde  $V_{cor}$  es la velocidad de corrosión,  $D$  es la densidad del material en  $g/cm^3$   $K$  es una constante de conversión para obtener la velocidad de corrosión en determinadas unidades, para esta investigación se tomó  $K = 1 \times D$  para obtener la velocidad de corrosión en  $g/cm^2 h$  por lo que la ecuación de velocidad de corrosión quedaría:

*Ecuación 5*

$$V_{cor} = W_2/(A \times T)$$



Donde  $A$  es el área superficial de la barra de acero en  $\text{cm}^2$  y  $T$  es el tiempo en horas.

El área de acero se determinará con el perímetro y la longitud más dos veces el área transversal de las barras de acero lisas.

### 5.3 PRUEBA DE MEDIA CELDA ELECTROQUÍMICA

La prueba de media celda electroquímica se realizó para comparar la probabilidad de corrosión de barras de acero embebidas en concreto con cinco porcentajes diferentes de exudado y dos igualmente embebida sin el inhibidor. El concreto utilizado se preparó con agua de mar de Cartagena. Las barras de acero de prueba se impregnaron con las diferentes soluciones de exudado gomoso de *C. Odorata L* mientras que la barra blanco no tenía inhibidor.

La probabilidad de corrosión se determinó a través del monitoreo del potencial electroquímico de las barras de acero cada 10 días aproximadamente, durante 115 días. Estas mediciones iniciaron 3 días después del fraguado del concreto.

El método implementado sigue los lineamientos de la Norma ASTM C 876 – 91 (Re aprobada en 1999) que cubre la estimación del potencial de media celda eléctrica con el fin de determinar la actividad de corrosión del acero embebido en concreto.

#### *Soluciones*

Se tomaron las soluciones indicadas en el diseño experimental (ver Tabla 5); en forma adicional para este procedimiento la esponja del electrodo de prueba requirió de una solución humectante para contacto eléctrico elaborada con detergente y agua.

#### *Denominación De Las barras*

*Las barras de acero se denominaron como se muestra en la*

**Tabla 7** mostrada a continuación.

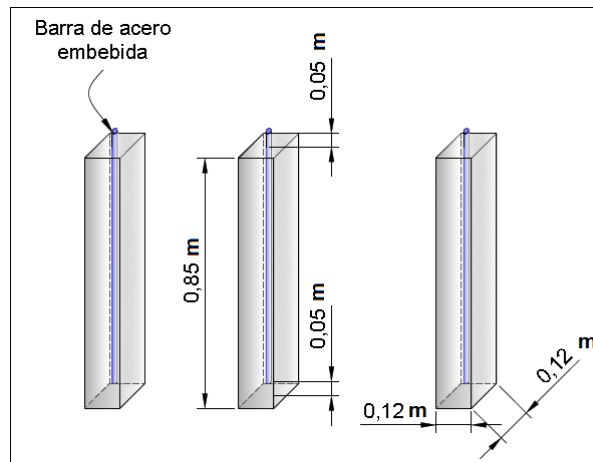
*Tabla 7: Denominación de las barras para las pruebas de celda electroquímica.*

<b>NOMBRE DE LA MUESTRA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
C-B-1	Muestra Blanco 1 de media celda electroquímica
C-B-2	Muestra Blanco 2 de media celda electroquímica
C-1-2	Muestra 1 con 2% de inhibidor
C-2-2	Muestra 2 con 2% de inhibidor
C-3-2	Muestra 2 con 2% de inhibidor
C-4-5	Muestra 4 con 5% de inhibidor
C-5-5	Muestra de 5 con 5% de inhibidor
C-6-5	Muestra 6 con 5% de inhibidor
C-7-10	Muestra 7 con 10% de inhibidor
C-8-10	Muestra 8 con 10% de inhibidor
C-8-10	Muestra 9 con 10% de inhibidor
C-10-20	Muestra 10 con 20% de inhibidor
C-11-20	Muestra 11 con 20% de inhibidor
C-12-20	Muestra 12 con 20% de inhibidor
C-13-33	Muestra 13 con 33.3% de inhibido
C-14-33	Muestra 14 con 33.3% de inhibido
C-15-33	Muestra 14 con 33.3% de inhibido

Fuente: los Autores

### **5.3.1 Especímenes**

Se elaboraron tres bloques de concreto por cada solución de exudado proyectada a evaluar, con materiales tradicionales de la zona trabajando bajo la norma ACI 211.1. Los especímenes se dejaron en las instalaciones del laboratorio de geotecnia de la Universidad de Cartagena sede piedra de Bolívar. Sus dimensiones serán de 12x12x85cm (**Figura 19 y Figura 20**).



**Figura 19: Dimensiones de muestras para ensayo de media celda electroquímica.**

Fuente: Los autores.



**Figura 20. Construcción de probetas para monitoreo con celda electroquímica.**

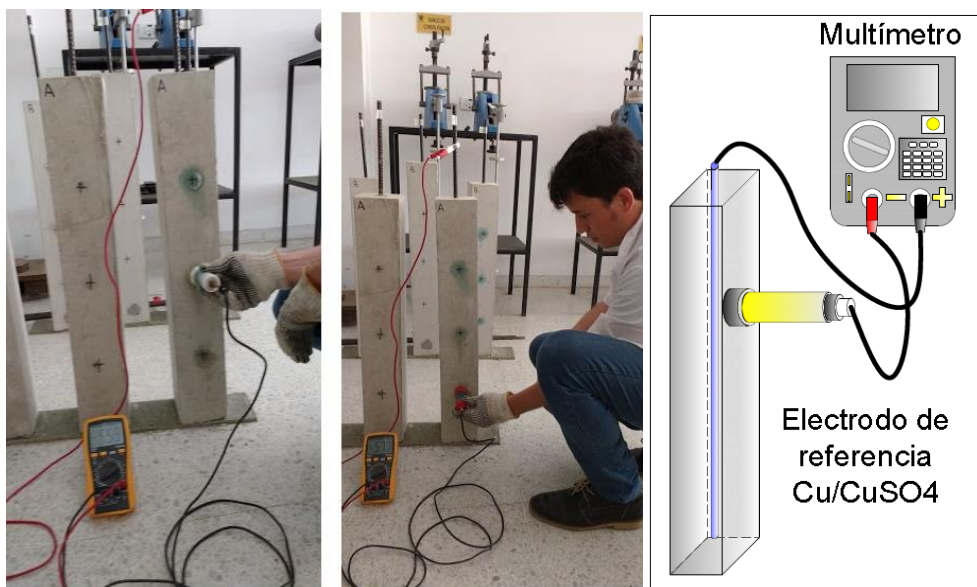
Fuente: Los autores.

Los especímenes monitoreados se marcaron de tal manera que se identificara una cara “A” y una cara opuesta “B”, y para cada una se definieron tres puntos sobre los cuales se tomarían todas las medidas de diferencia de potencial. En los estudios consultados, en donde se usó esta medida de probabilidad de corrosión, no se encontró una metodología definida en cuanto a dicha ubicación de puntos.



### 5.3.2 Procedimiento de medición

Para la medición con la celda se agregó la solución saturada de sulfato de cobre hasta llenar el contenedor hasta el tope y se cierró con la tapa que contiene la barra de cobre. Posteriormente se retiró el protector de la base porosa en la parte inferior de la celda. La conexión se hizo conectando la celda al polo negativo del voltímetro, mientras que la barra de acero a inspeccionar se conectó al polo positivo. Previamente se limpió de óxido la barra a analizar en cada medición. Se marcó la superficie de la muestra de concreto cada 20 cm dejando un recubrimiento inferior de 5 cm como se mostró en la **Figura 19**. Se usó una celda construida y calibrada por los autores según la norma ASTM C 876 – 91; el error de medición se encontró por debajo del 1% con respecto a una celda comercial sin embargo se volvió a medir periódicamente con la celda comercial para verificar el correcto funcionamiento de la fabricada y el porcentaje la diferencia nunca superó el 1%.



**Figura 21. Medición con celda electroquímica.**

Fuente: Los autores.

Se recortó una esponja de dimensiones mayores a las de la base de la celda y una vez humedecida en la solución de agua y detergente, se tomó la medición en el voltímetro ubicando la esponja sobre la marca y presionando la celda sobre el centro de la esponja para completar el circuito.

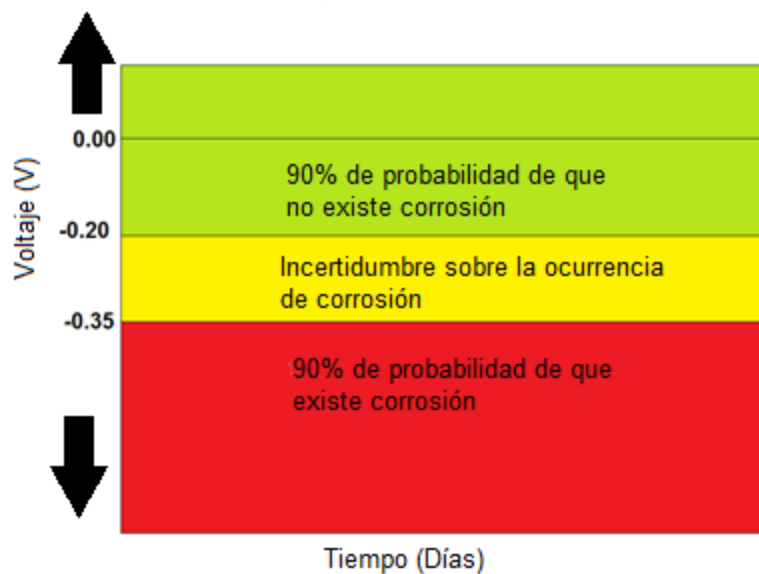
## VARIABLES RESPUESTA

Las variables respuesta obtenidas:

- El potencial eléctrico en voltios.

### 5.3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la presentación de los datos se realizó una gráfica de voltaje en voltios con respecto al tiempo en días. Según la interpretación que la norma ASTM C 876 – 91 sugiere para estos datos, para los voltajes más positivos que -0.20 V se asume un 90% de probabilidad de que no esté ocurriendo corrosión, mientras que el rango entre -0,20 V a -0.35 V sugiere una incertidumbre ante la ocurrencia del proceso corrosivo y valores más negativos que -0.35 V indican una probabilidad del 90% de que exista corrosión (ASTM, 1999).



**Figura 22: Interpretación de datos de voltaje para la prueba de media celda electroquímica.**

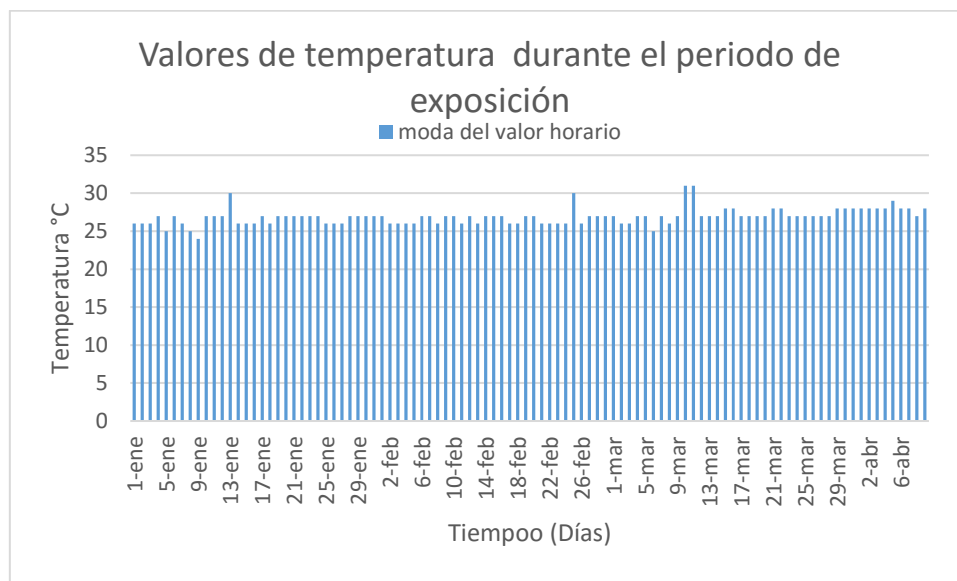
Fuente: Los autores con base en la norma ASTM C 876 – 91

## 6 RESULTADOS ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Los ensayos fueron ejecutados durante 120 días obteniendo datos multi-temporales del avance del proceso corrosivo para cada uno de los procedimientos. La información fue depurada en gráficos y tablas para facilitar su análisis.

### 6.1 PARAMETROS CLIMATOLÓGICOS

Con base en los Registros de históricos METAR en la estación meteorológica Icao (OACI): SKCG del aeropuerto Rafael Núñez y datos del Boletín Mensual del CIOH se determinaron las modas de los valores horarios por día de la temperatura, la humedad, la velocidad del viento, precipitación y la presión para hallar los valores de mayor frecuencia. Con dichos datos se estableció que en el periodo comprendido entre el 19 de enero y el 27 de abril de 2016 se registró una de Temperatura promedio de 26.93°C, una velocidad del viento de 14.05 Km/hora principalmente en sentido Norte- Noreste, una humedad del 83.93%, una presión de 1009.52 hPa y un total de 13 días con lluvias de 0.14 mm en promedio.



**Figura 23: Grafico de valores de Temperatura durante la ejecución de la prueba de intemperismo de las muestras de intemperismo.**

Fuente: Registro de históricos METAR en la estación Icao (OACI): SKCG aeropuerto Rafael Núñez, sintetizado por los autores.

Los valores de temperatura no presentaron grandes fluctuaciones con respecto al promedio dado pero los valores máximos y mínimos fueron 24 y 31°C respectivamente. A estas temperaturas la inhibición de los extractos vegetales tiene un buen

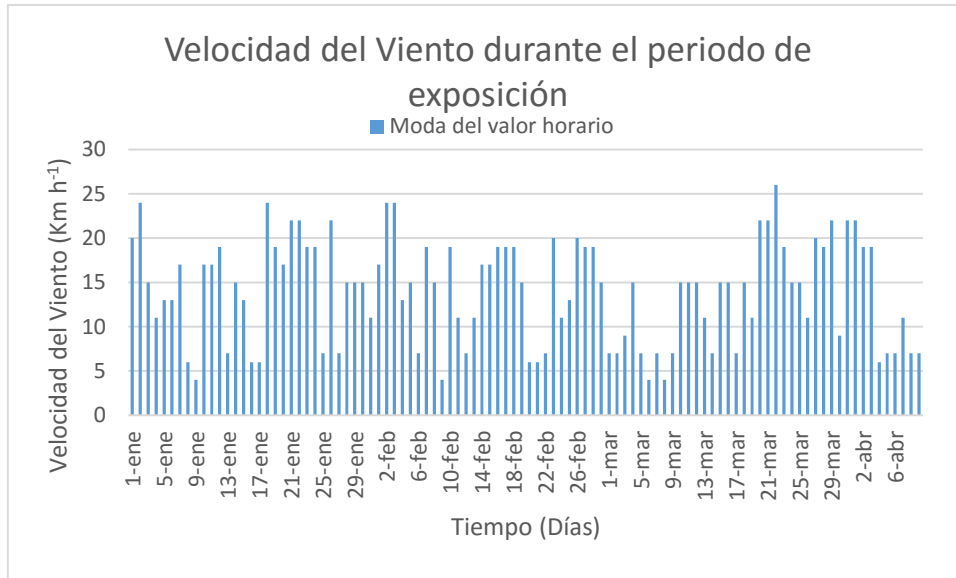
comportamiento ya que no sobrepasa los 121°C (Meza, Altamiranda, Berrocal, & Tejada, 2014). En la Figura 23 se pueden observar las variaciones de la temperatura.

Hay que considerar que un aumento de la temperatura acelera las velocidades de los diversos procesos físicos y químicos involucrados en la corrosión metálica, incluyendo reacciones químicas, electroquímicas y procesos de difusión, sin embargo, un aumento de la temperatura también conduce a velocidades más altas de desorción de la película acuosa, reduciendo, por tanto, el tiempo de humectación de la superficie metálica.

Un aumento de la temperatura reduce, así mismo, la solubilidad de los gases en la película de humedad y, por tanto, del contenido de oxígeno disuelto, fundamental para el desarrollo del proceso catódico en el mecanismo de corrosión electroquímica de los metales en la atmósfera. El efecto resultante de un aumento de la temperatura suele ser un incremento de la velocidad de corrosión bajo condiciones de humectación permanente de la superficie metálica, tales como las que ocurren durante la precipitación.

Sin embargo, bajo condiciones de humectación variable, la velocidad de corrosión aumenta con la temperatura hasta un cierto valor máximo y, posteriormente, decrece (Rivero, Chico, De la Fuente, & Morcillo, 2007).

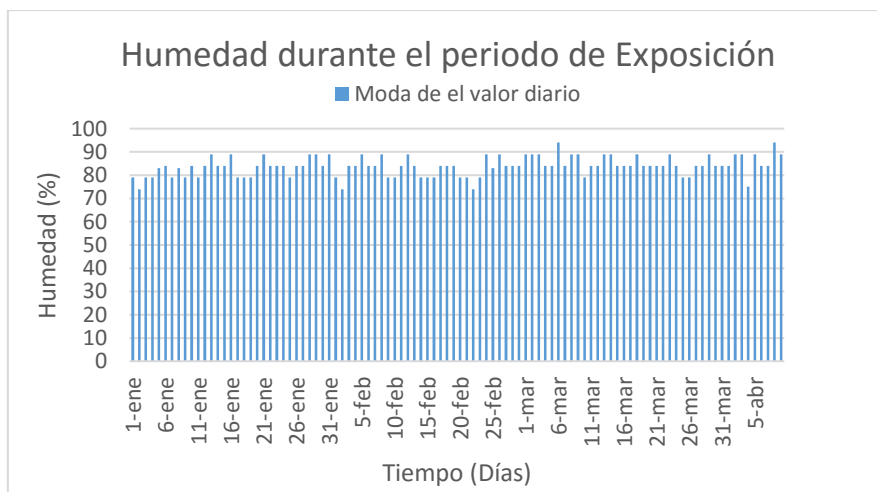
La velocidad del viento fluctuó significativamente con velocidades entre 4 y 26 km h<sup>-1</sup> presentándose dentro de un mismo mes éste tipo de variaciones. El depósito de iones cloruro entre 0 y 300 mg Cl<sup>-</sup> m<sup>-2</sup>·d se da con velocidades en el intervalo 1-40 km/h y para éste rango es característica la ocurrencia de vientos lejanos oceánicos y vientos costeros; por otro lado se ha determinado que con velocidades del viento superiores a 10 m/s, tiene lugar, en alta mar, la formación de una ola de altura considerable, que conlleva un barrido mecánico de sus crestas por la acción del flujer del viento a su través, dando lugar a una formación secundaria de partículas salinas mediante la formación de espuma y producción de ciertas gotas de tamaño considerable, conocidas como “spray” (Rivero, Chico, De la Fuente, & Morcillo, 2007).



**Figura 24:** Velocidad del Viento durante el periodo de exposición de las muestras de intemperismo.

Fuente: Registro de históricos METAR en la estación Icao (OACI): SKCG aeropuerto Rafael Núñez, sintetizado por los autores.

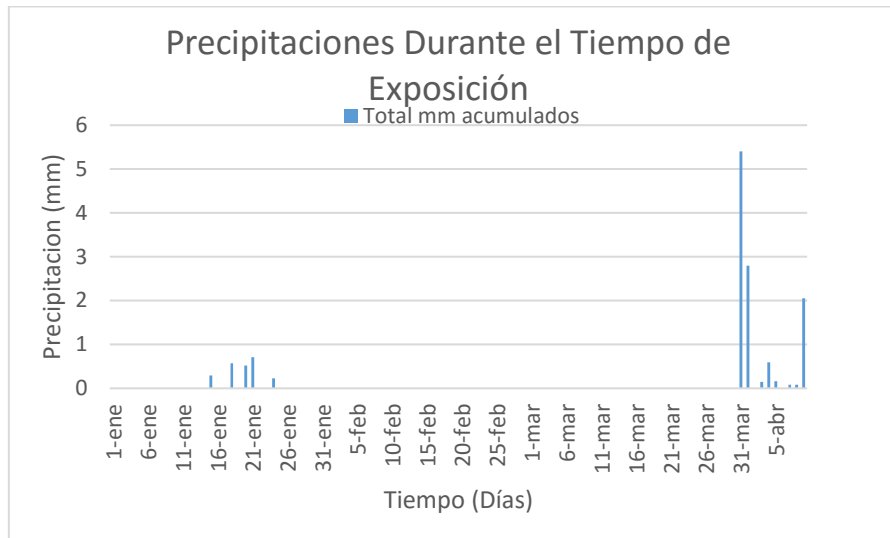
La humedad relativa (HR) ejerce un papel importante en la corrosión atmosférica debido a que la corrosión del hierro y otros metales cuando la humedad sobrepasa el 78%, en presencia de aguas saturadas de NaCl, coincide con una fuerte aceleración de la corrosión del acero al carbono (Rivero, Chico, De la Fuente, & Morcillo, 2007) y los valores de HR estuvieron entre 74% y 94%. En la Figura 25 se pueden observar las variaciones de la humedad registradas.



**Figura 25:** Humedad durante el periodo de Exposición de las muestras de intemperismo.

Fuente: Registro de históricos METAR en la estación Icao (OACI): SKCG aeropuerto Rafael Núñez, sintetizado por los autores.

Durante el tiempo de exposición las lluvias fueron escasas presentándose principalmente en el último mes de exposición. Se considera que las precipitaciones por si solas fueron de bajo impacto sin embargo es importante anotar que las precipitaciones en conjunto con la condensación de la humedad con la presencia de partículas depositadas en la superficie metálica, si contribuyen de forma importante a la corrosión del metal.



**Figura 26: Precipitaciones Durante el Tiempo de Exposición de las muestras de intemperismo.**

Fuente: Boletín Mensual Meteorológico del Caribe Colombiano del CIOH para los meses de Enero, Febrero, Marzo y Abril de 2016.

## 6.2 PRUEBA DE INTEMPERISMO

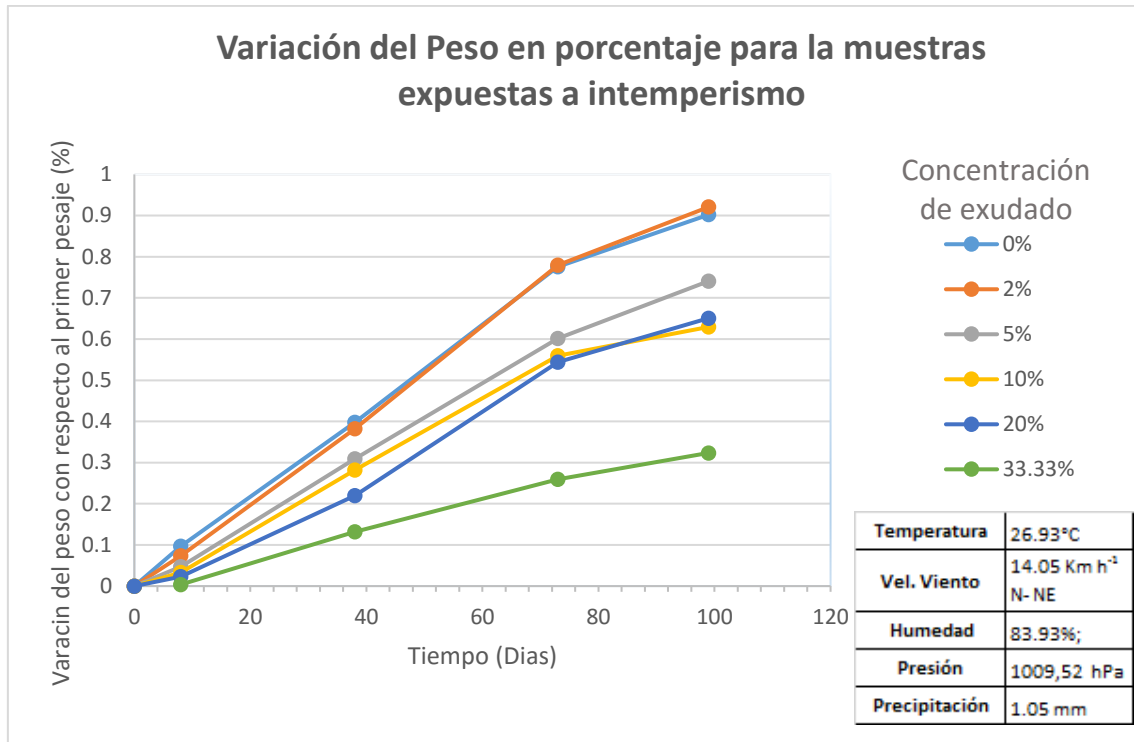
Las muestras fueron expuestas al ambiente salino y las condiciones de intemperie durante 99 días, para el periodo comprendido entre el 19 de enero y el 27 de abril de 2016 (Figura 27).



**Figura 27. Muestras sometidas al ambiente salino de la ciudad de Cartagena.**

Fuente: Los autores.

Durante el periodo de pesaje sin remoción de óxido se encontró un aumento porcentual de la masa de las muestras de entre 0.3% y 0.9%, siendo las muestras con menores porcentajes de exudado las que mayor aumento de peso presentaron, como se observa en la Figura 28.



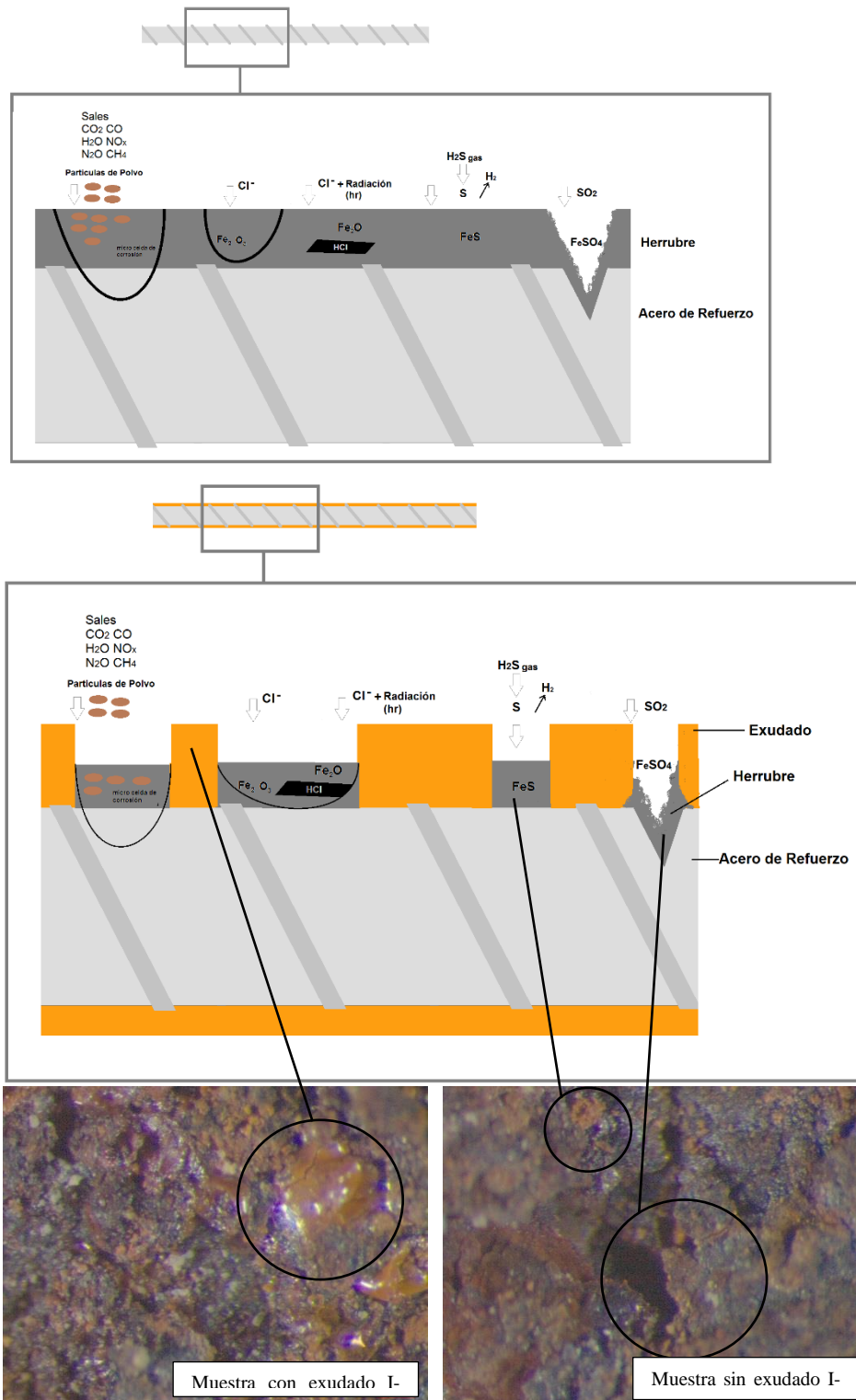
**Figura 28. Variación del peso en porcentaje de las muestras expuestas al intemperismo.**

Fuente: Los autores.

Según los resultados presentados los cambios de pendientes entre pesajes son variables. La pendiente que se obtiene al registrar el primer día de pesaje (día 8) fue menor que la obtenida con el segundo y tercer intervalo de pesaje, lo que indica que el proceso de aumento de peso durante los primeros 8 días fue menor que durante el mes siguiente; con el registro del pesaje a los 99 días se observa un nuevo cambio de pendiente lo que indica que los porcentajes perdidos durante el último mes fueron menores, lo que puede deberse al inicio de la pasivación del acero o a la remoción de parte del material por las lluvias presentadas durante los últimos días. El proceso de aumento de peso es debido principalmente a la incorporación de agua en forma de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  en el acero, esto dentro de los espacios no cubiertos por el exudado, generando una reacción del tipo  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3$  siendo este el mecanismo por el cual se produce la herrumbre del hierro (Cuesta. 2009).



Algunos procesos generadores de aumento de masa durante la exposición atmosférica pueden ser los mostrados en la **Figura 29**.



**Figura 29:** Esquema comparativo de los mecanismos de incorporación de componentes en el acero de refuerzo frente a corrosión atmosférica y comparación del proceso con y sin exudado.

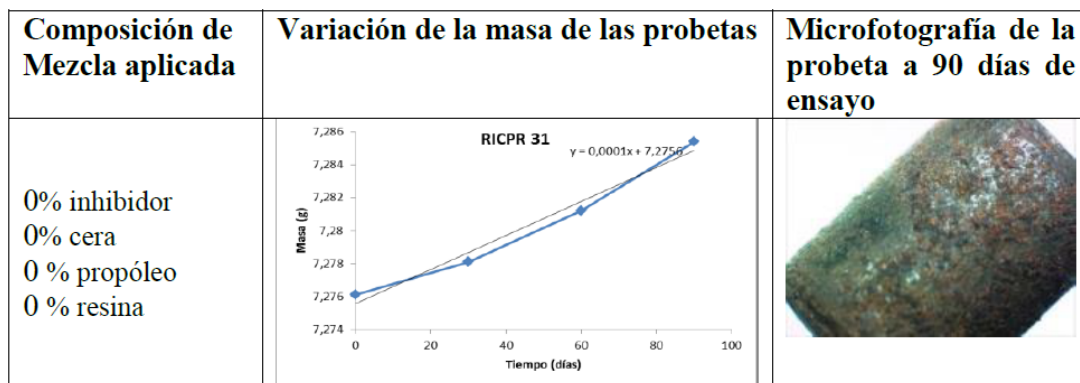


Fuente: Los autores con base en (Ahmad, Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control , 2006) y microfotografías tomadas.

En la figura **Figura 29** se ilustra el hecho de que cuando se aplica la capa de exudado ésta actúa como una barrera física contra los compuestos atmosféricos, así mismo se muestra como los productos de las reacciones se depositan en las áreas no cubiertas por el exudado.

Si se hubiera dado la condición contraria, es decir, si se hubiese presentado una pérdida de peso sin haber hecho la remoción del material corroído, hubiese significado una pérdida temprana del recubrimiento con el arrastre de los productos de corrosión, tal como se obtuvo investigaciones similares (Jiménez, 2015).

En otras investigaciones del proceso corrosivo para hierro de elementos históricos se detectó un aumento de masa de alrededor de 0,14% en los 90 días de exposición, con inhibidores sintetizados.




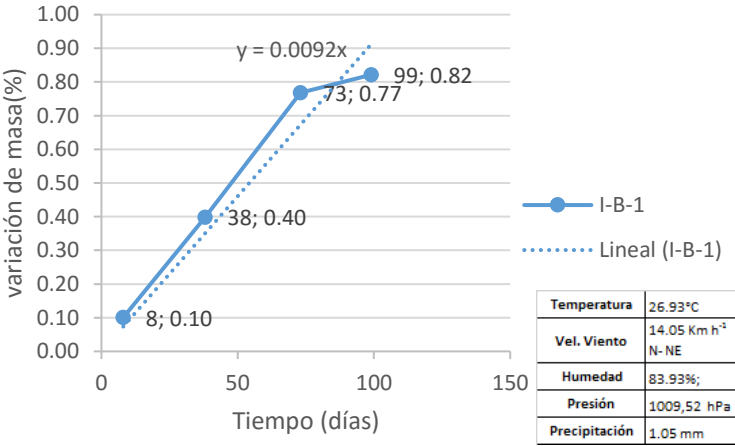

**Figura 30:** Aumento de peso durante exposición atmosférica durante 90 días de una muestra de hierro de artefacto histórico.

Fuente: (Jiménez, 2015)

Para el caso de la presente investigación se llevó un registro con microfotográficas que incluye el registro del estado superficial de los especímenes que fueron sometidos a la prueba de intemperismo. Se tienen imágenes del estado inicial de los especímenes y del estado pasados los 99 días de prueba. La **Tabla 8** detalla los resultados para algunas de las muestras.

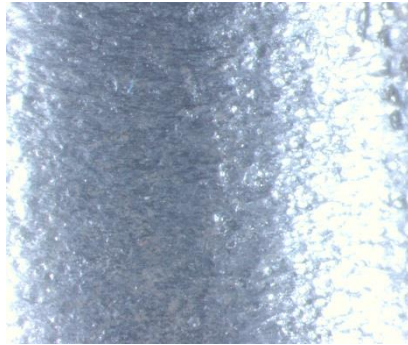
Tabla 8: Cambios en la superficie del metal para los 18 especímenes apreciados en fotografías 16x.

Fuente: Los autores.

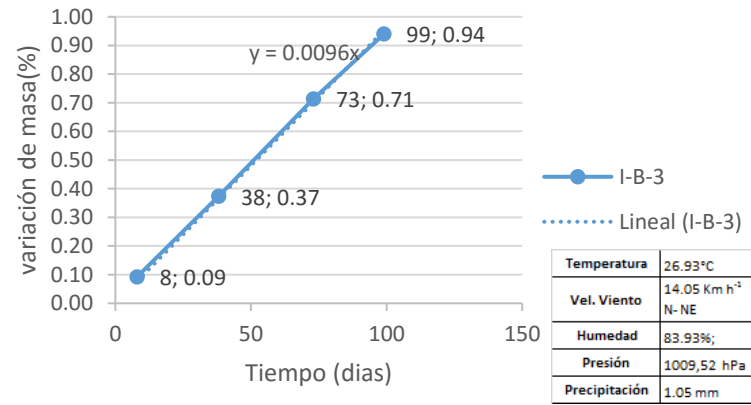
Fecha Muestra	19-01-2016	Gráfica variación de la masa	12-05-2016										
I-B-1		<p>Variación de Masa muestra: I-B-1</p>  <table border="1" data-bbox="1355 893 1556 1050"> <tr> <td>Temperatura</td> <td>26.93°C</td> </tr> <tr> <td>Vel. Viento</td> <td>14.05 Km h<sup>-1</sup> N-NE</td> </tr> <tr> <td>Humedad</td> <td>83.93%</td> </tr> <tr> <td>Presión</td> <td>1009,52 hPa</td> </tr> <tr> <td>Precipitación</td> <td>1.05 mm</td> </tr> </table>	Temperatura	26.93°C	Vel. Viento	14.05 Km h <sup>-1</sup> N-NE	Humedad	83.93%	Presión	1009,52 hPa	Precipitación	1.05 mm	
Temperatura	26.93°C												
Vel. Viento	14.05 Km h <sup>-1</sup> N-NE												
Humedad	83.93%												
Presión	1009,52 hPa												
Precipitación	1.05 mm												



I-B-3



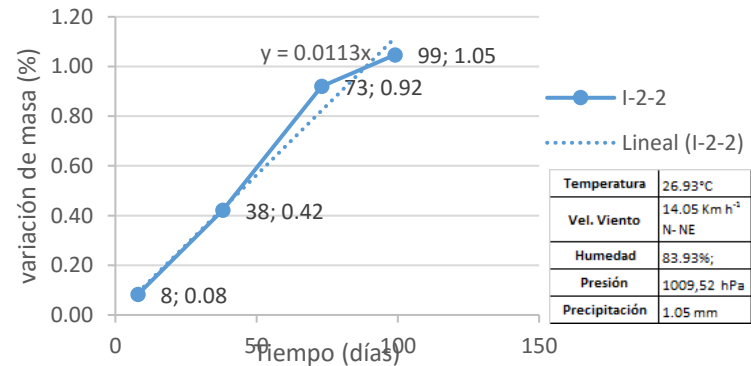
Variación de Masa muestra: I-B-3

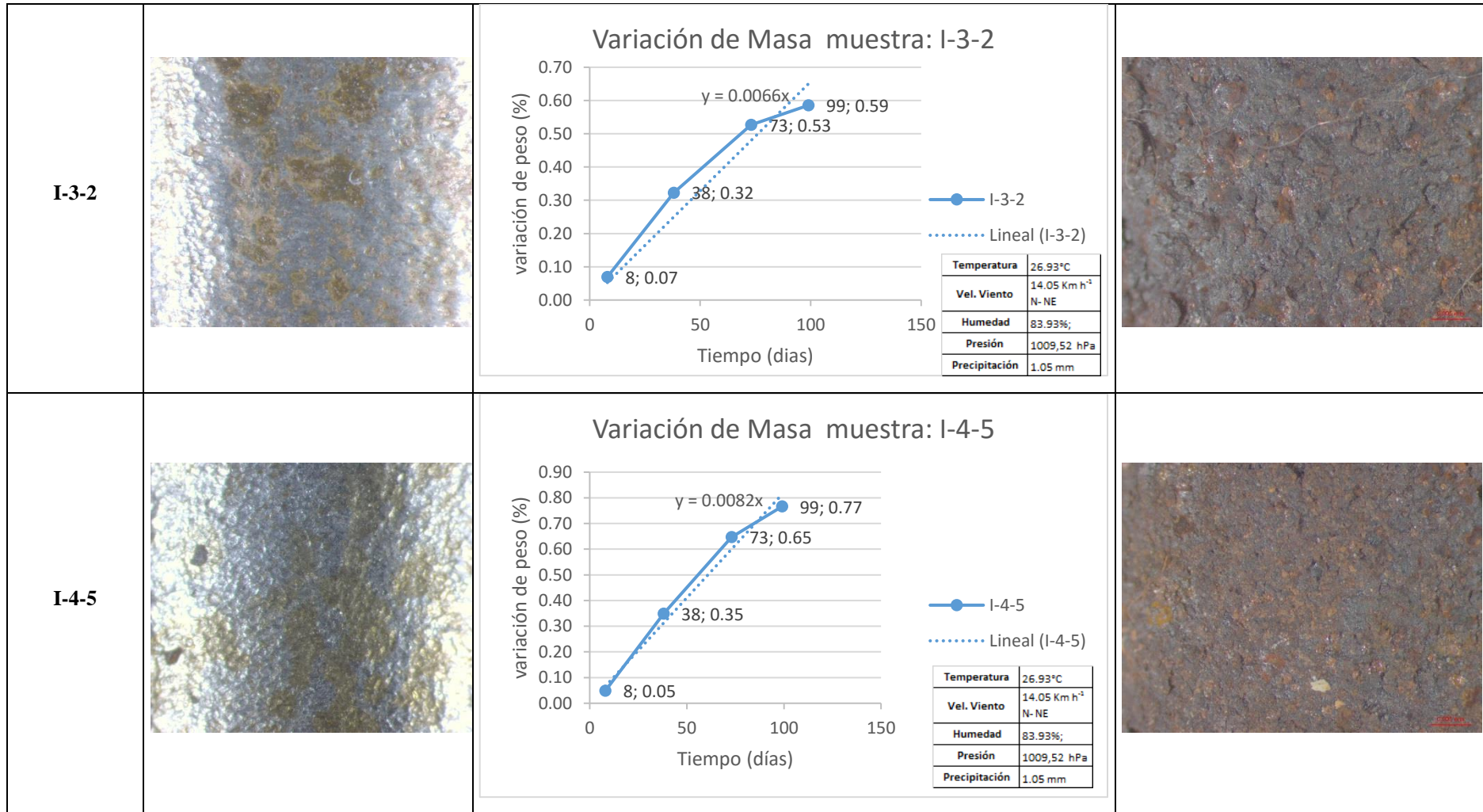


I-2-2

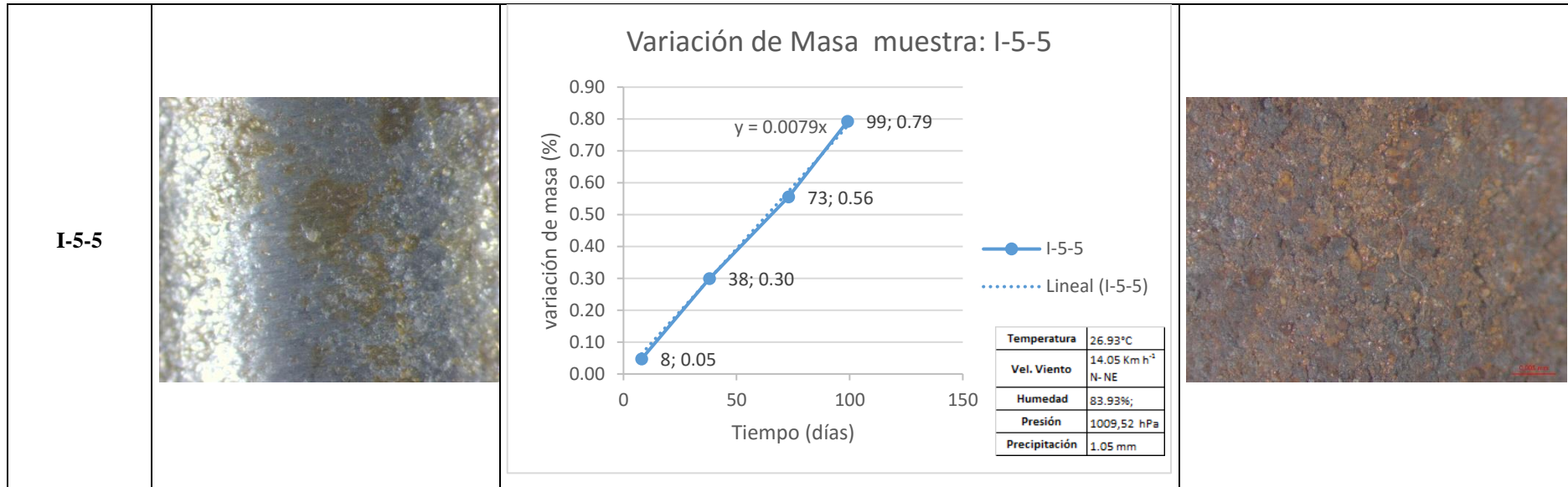


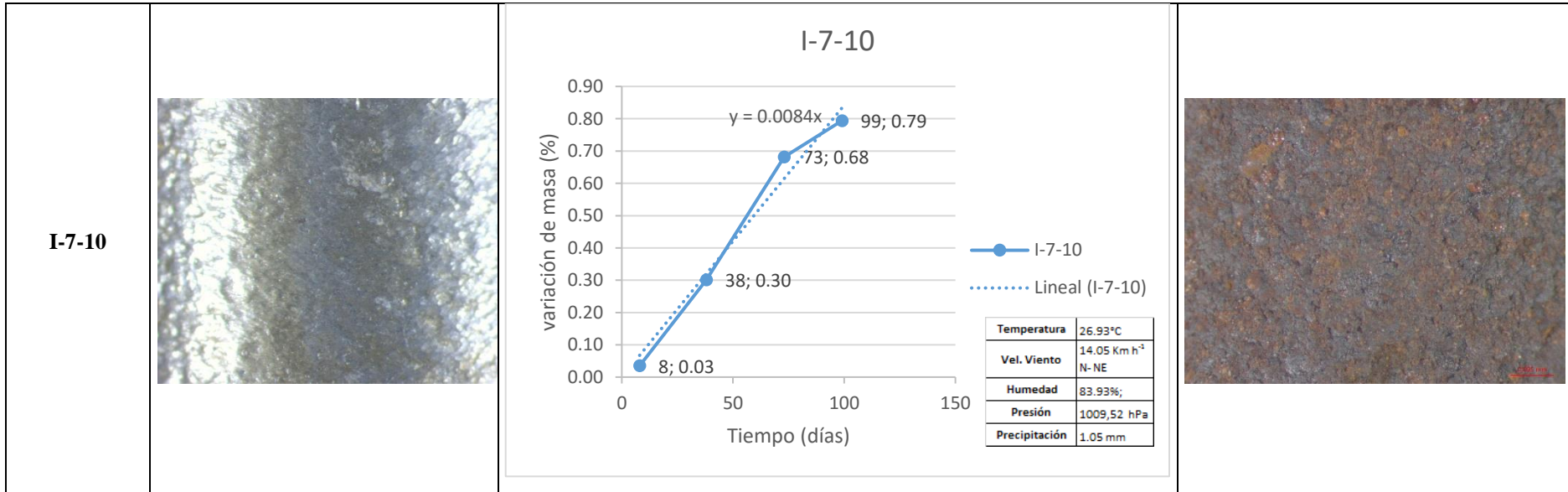
Variación de Masa muestra: I-2-2

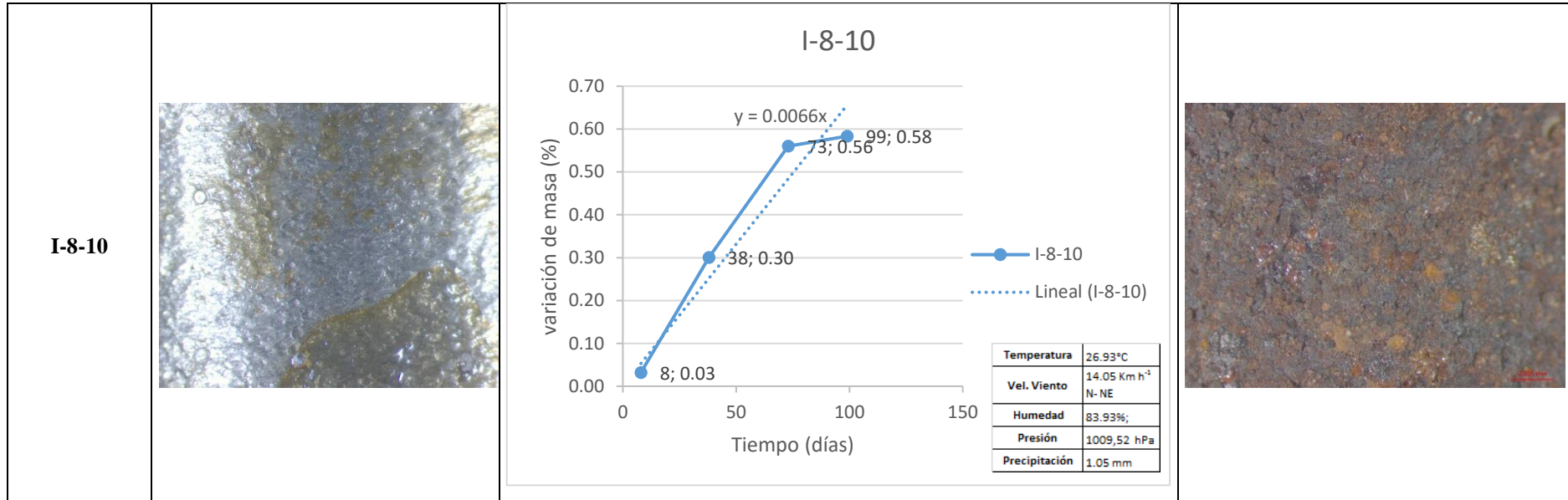


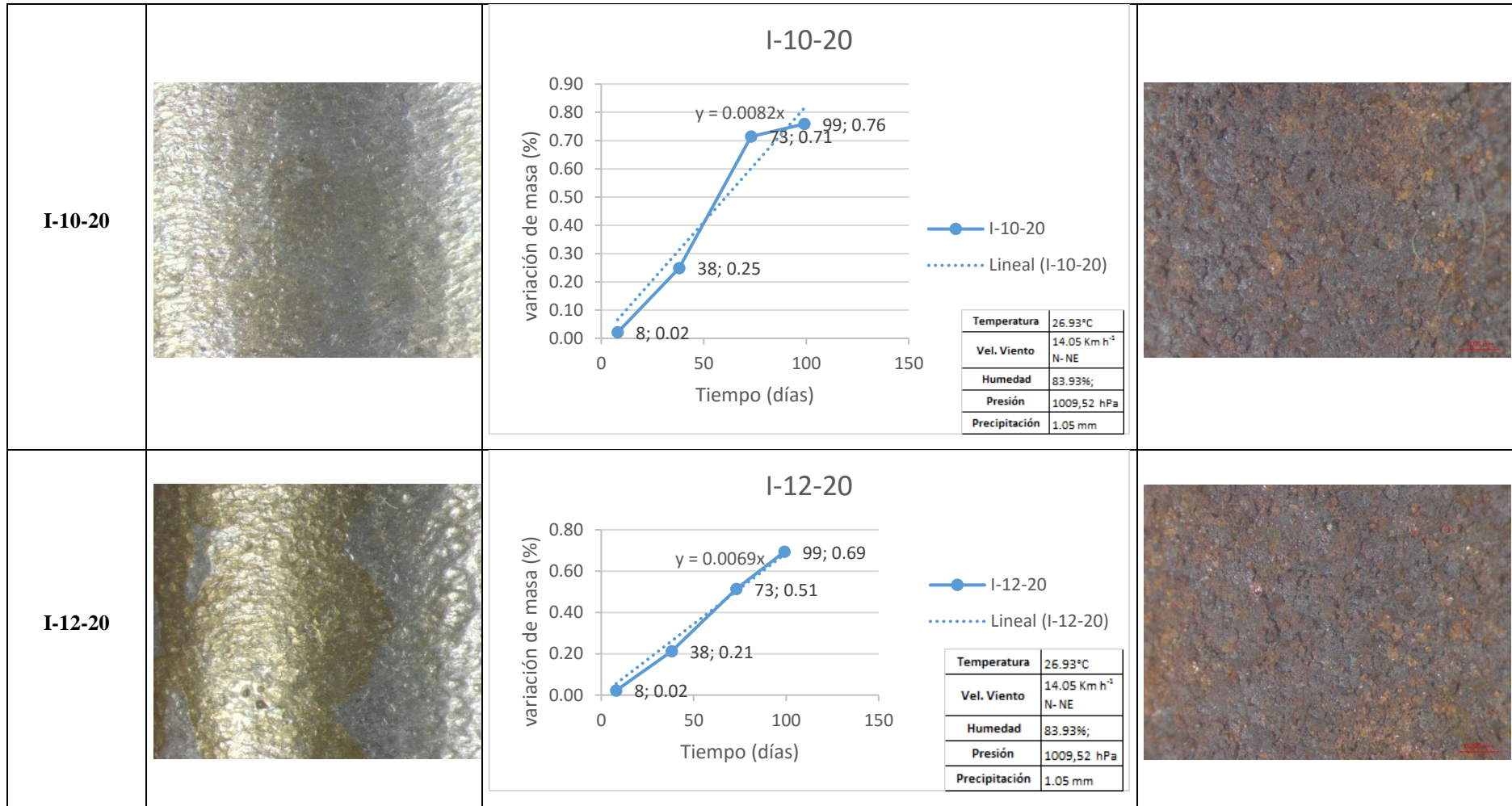




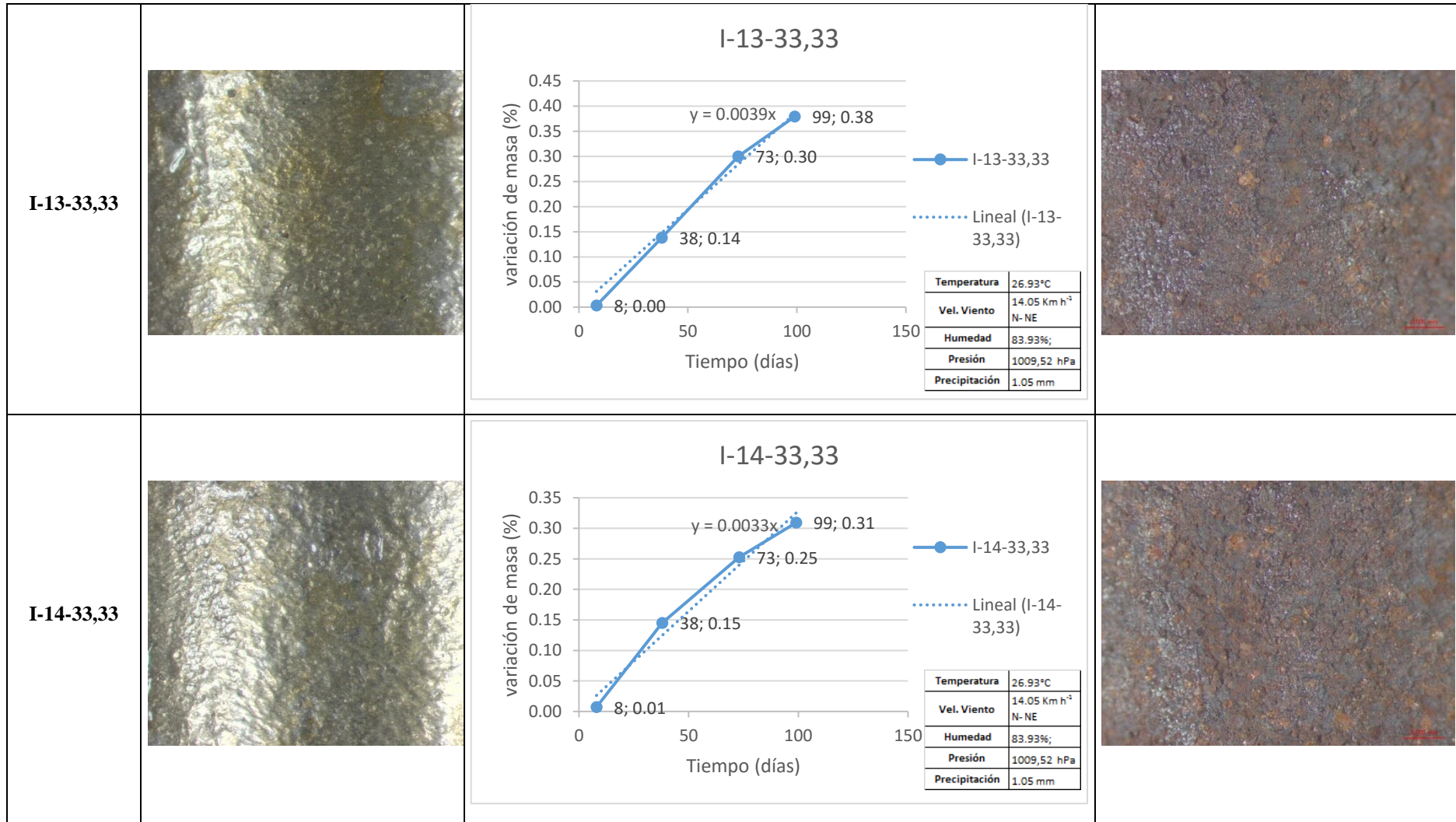












Observando las gráficas anteriores y determinando los promedios de las pendientes se puede decir que las muestras blanco y las de 2% de concentración, presentaron valores de pendiente cercanos a 0,009; para las muestras con concentraciones del 5 % las pendientes están alrededor del 0,008; para las muestras con concentraciones de 10 y 20% las pendientes rodean el valor de 0,007 y para una concentración del 33% de exudado la pendiente tiene un valor promedio de 0,003 lo que indica que el ritmo de ganancia de peso por interacción con la atmosfera es casi tres veces mayor para las muestras sin exudado que para las muestras con mayor concentración utilizada. En las fotografías 16x se puede observar corrosión principalmente generalizada y localizada (descritas en la Tabla 1) en los pequeños agujeros que quedaron en la superficie del acero.

El porcentaje de aumento de masa siempre es menor que la pérdida final, incluso en algunos casos la pérdida es el triple del peso ganado, pero en forma general se mantiene el principio de que a mayor concentración de exudado existe un menor aumento de peso en la muestra y ésta presenta menor pérdida de peso. Las muestras blanco tuvieron un peso adicional del 0.9% durante los 99 días.

**Tabla 9: Comparación de la ganancia y la pérdida de peso de las muestras.**

<b>Concentración (%p/p)</b>	<b>Aumento de peso a los 99 días (%)</b>	<b>Pérdida de peso promedio (%)</b>
0	0.90	2.43
2	0.92	1.82
5	0.74	1.56
10	0.63	1.43
20	0.65	1.41
33.33	0.32	1.30

Fuente: Los autores.

Teniendo en cuenta la concentración aplicada a los especímenes y la pérdida porcentual de peso obtenida para cada uno, es posible observar la relación inversa entre estas variables (Figura 31).

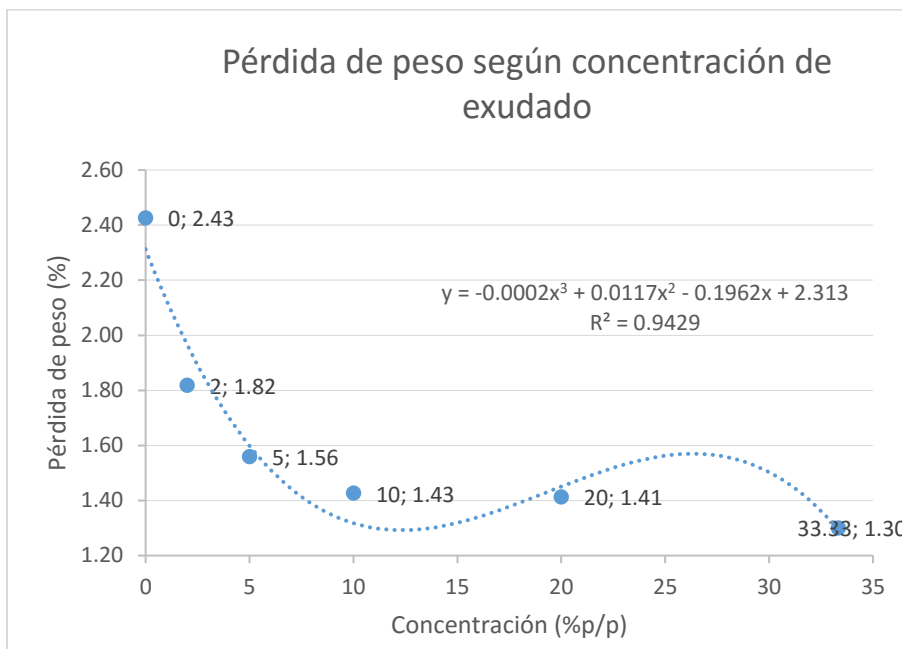


Figura 31. Pérdida de peso de acuerdo a la concentración de exudado.

Fuente: Los autores.

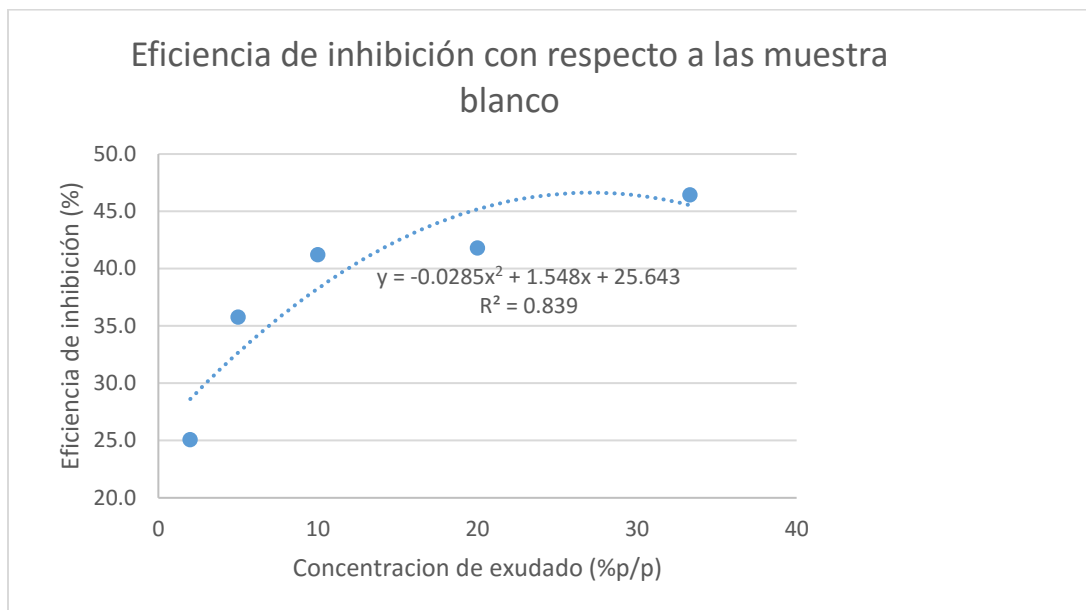
### 6.2.1 Eficiencia de Inhibición

Para evaluar la eficiencia de inhibición del exudado respecto a las muestras blanco se aplicó la Ecuación 3, los resultados evidencian que la eficiencia de inhibición del exudado para esta prueba está entre el 25% y el 46%, como se muestra en la Tabla 10, y gráficamente en la Figura 32.

Tabla 10. Tabla de eficiencia de inhibición.

Concentración (%p/p)	Eficiencia de inhibición con respecto a la muestra blanco (%)
0	N.A.
2	25.1
5	35.8
10	41.2
20	41.8
33.33	46.4

Fuente: Los autores.



**Figura 32. Eficiencia de inhibición con respecto a las muestras en blanco.**

Fuente: Los autores.

En cuanto a la eficiencia de inhibición para corrosión atmosférica se puede decir que es baja con respecto a otros extractos vegetales como la Sábila y el Neem los cuales arrojan porcentajes de inhibición entre el 78 y el 95% (Loaiza & Vidales, 2013) (Meza Castellar, 2013). Sin embargo, es importante destacar que el extracto de *C. Odorata L.* fue aplicado sin ningún proceso de sintetización. Por otro lado, es importante que al momento de comparar se deben hacer diferencias entre las condiciones experimentales empleadas para la evaluación de otros exudados similares, por ejemplo, con el extracto de *Bifurcaria Bifurcata* se obtiene una inhibición del 81% pero con concentraciones de 50% v/v (Abboud, Abdelmjid, Tanane, & Hammouti, 2009) lo que implica mayores volúmenes de extracto para lograr una inhibición importante. Además, la mayoría de los ensayos de pérdida de peso en pruebas en los que se usaron extractos vegetales se realizan en laboratorio bajo pruebas de inmersión con simulación de las condiciones salinas, mientras que en el presente trabajo se expusieron las muestras a condiciones reales de ambiente salino, tal como lo hizo Jiménez en 2015 en donde se obtuvieron eficiencias hasta del 98% usando un sintetizado compuesto de cera, propóleo, inhibidor y resina (Jiménez, 2015).

## 6.2.2 Velocidad de corrosión

La velocidad de corrosión de las muestras sometidas al intemperismo se determinó aplicando la Ecuación 1. La velocidad presenta variaciones entre 0.0127 y 0.0237 mg/cm<sup>2</sup>\*h, como se muestra en la Tabla 11.

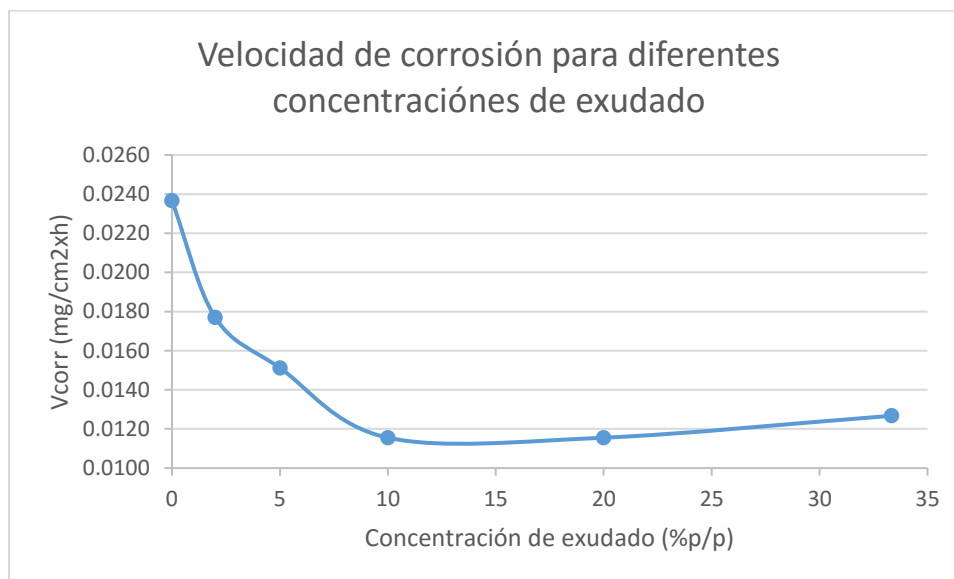
*Tabla 11. Velocidad de corrosión en las muestras sometidas a la prueba de intemperismo.*

Concentración (%p/p)	Velocidad de corrosión (mg/cm <sup>2</sup> *h)
0	0.0237
2	0.0177
5	0.0151
10	0.0116
20	0.0116
33.33	0.0127

Fuente: Los autores.

Estos resultados de velocidad de corrosión mostraron valores más bajos que los registrados en muchos de los ensayos de pérdida de peso para evaluar la corrosión con extractos vegetales, lo cual concuerda con el hecho de que las velocidad de corrosión en este tipo de estudios se determina por lo general en ensayos de laboratorio en periodos de tiempo cortos entre (24 y 500 horas) sumergiendo las muestras en medio acuoso con concentraciones determinadas de sales o ácidos, lo que acelera artificialmente el proceso, por lo tanto a pesar de presentarse unas velocidades de corrosión menores en el presente estudio y de ser un ambiente menos agresivo que el simulado es un escenario más real. Para estudios anteriores, en la Universidad de Cartagena relacionados con la evaluación de la velocidad de corrosión con procedimientos de muestras sumergidas en ácido y sales, se han encontrado velocidades de 0.133 mg cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> para muestras blanco y de 0.0125 mg cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> para eficiencias de inhibición de 90.6% (Loaiza & Vidales, 2013), lo que muestra que el uso del exudado puede llegar casi a igualar la velocidad de corrosión de muestras sumergidas en medio ácido.

En la Figura 33 se observa cómo la velocidad en la corrosión de las muestras sin exudado (muestras blanco) es mayor que la velocidad de corrosión en las muestras con concentraciones de exudado.

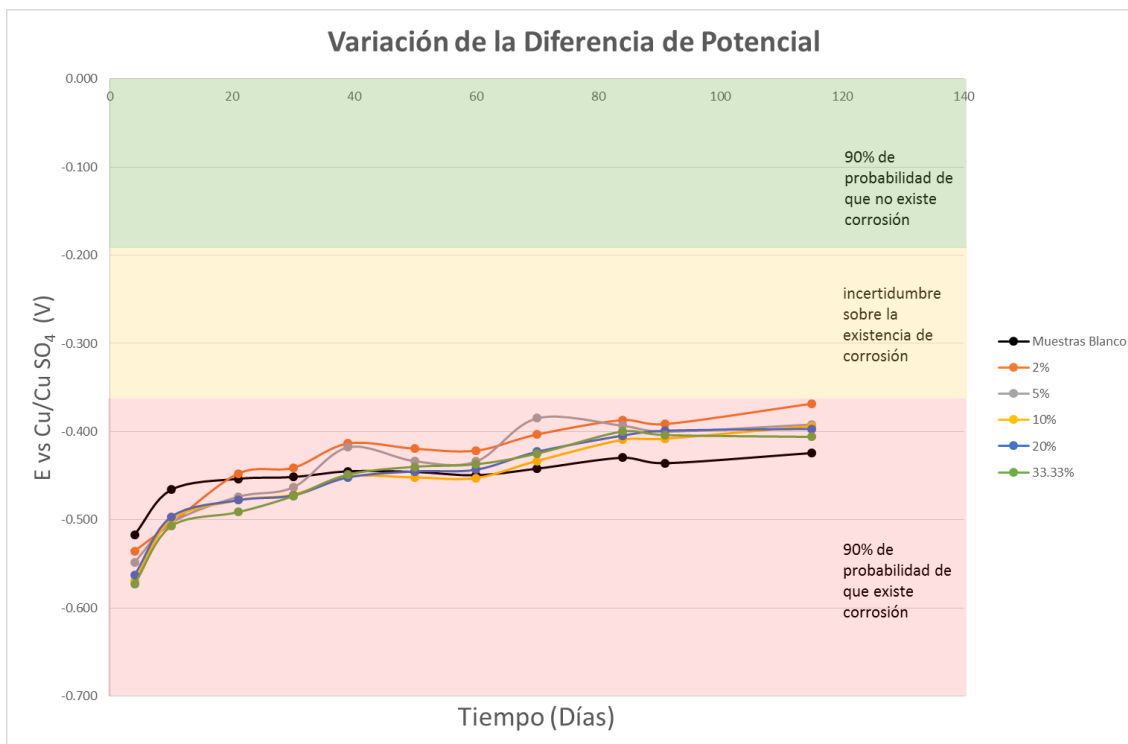


**Figura 33. Velocidad de corrosión para las diferentes concentraciones de exudado.**

Fuente: Los autores.

### 6.3 PRUEBA DE CELDA ELECTROQUIMICA

los rangos de variación del potencial medidos desde el 22 de enero hasta el 12 de mayo de 2016, variaron entre -0.573V y -0.368 V. Es notable como estas diferencias de potencial, en general para las muestras a las que se les aplicó el exudado, van en aumento (acercándose a 0) a medida que pasa el tiempo, distinto a lo observado con las muestras blanco (línea negra de **Figura 34**).



Fuente: Los autores.

**Figura 34.** Variación de la diferencia de potencial durante el monitoreo con la celda electroquímica.

Para el presente estudio se detectó en general una disminución de la diferencia de potencial en los primeros 20 días, presentando valores negativos casi directamente proporcionales a la concentración de exudado, y entre los 40 y 60 días todos los especímenes con exudado comenzaron a registrar valores más positivos que los de las muestras blanco. Pasados los 115 días de la investigación todos los especímenes registraron una probabilidad de actividad corrosiva del 90%, siendo las muestras con 2% de inhibidor las de menores diferencias de potencial y las muestras blanco las que registraron mayores diferencias, como se observa en la **Tabla 12**.

**Tabla 12.** Valores de diferencia de potencial registrados durante el monitoreo con la celda electroquímica.

Fecha	Días	Blanco	2%	5%	10%	20%	33.33%
18/01/16	0						
22/01/16	4	-0.517	-0.535	-0.548	-0.569	-0.563	-0.573



28/01/16	10	-0.466	-0.504	-0.503	-0.500	-0.497	-0.507
08/02/16	21	-0.453	-0.448	-0.474	-0.478	-0.478	-0.491
17/02/16	30	-0.451	-0.441	-0.463	-0.471	-0.472	-0.473
26/02/16	39	-0.445	-0.413	-0.418	-0.451	-0.452	-0.449
08/03/16	50	-0.446	-0.419	-0.433	-0.452	-0.445	-0.440
18/03/16	60	-0.449	-0.421	-0.434	-0.452	-0.443	-0.437
28/03/16	70	-0.442	-0.403	-0.385	-0.433	-0.423	-0.425
11/04/16	84	-0.430	-0.387	-0.393	-0.409	-0.404	-0.400
18/04/16	91	-0.436	-0.391	-0.400	-0.408	-0.399	-0.404
12/05/16	115	-0.424	-0.368	-0.392	-0.394	-0.397	-0.406

Fuente: Los autores.

Pasados sesenta días las mediciones oscilan entre -0.421V y -0.451V, para los ciento quince días los valores registrados son -0.368V y -0.424V. Cabe anotar, que variaciones sobre las distintas interfaces hormigón/acero originan gradientes de potencial, con flujo de corrientes eléctricas dando lugar a la formación de las áreas catódicas y anódicas presentes en las celdas de corrosión. Por lo anterior se debe considerar el ajuste de los valores registrados por la presente investigación respecto a los rangos de probabilidad de corrosión que menciona la norma, debido a que ésta no contempla el uso de agua de mar en la mezcla para el concreto, para ello se presentan a continuación algunos resultados en pruebas similares.

Barragán y Arciniegas en 2012 usaron barras sin recubrimiento y barras galvanizadas, sometidas a concentraciones del 65% de CO<sub>2</sub>, y a un curado en soluciones de NaCl, ninguna de las pruebas presentó un nivel de menos del 90% de corrosión, según la escala recomendada por la norma ASTM C 876-91.

En la evaluación hecha por Rivero Monterrey en 2010 las muestras monitoreadas se sometieron a inmersión en agua de mar y se evidenció un incremento del potencial (más electronegativo), variando desde -0.196V (día 1) hasta -0.704V (día 8), lo que muestra que

pasados los días de inmersión hay un cambio notable del potencial de corrosión, que lo ubica según la norma en la región de alto riesgo.

El estudio ejecutado por Masadeh, Al-Robaidi, & Anagreh en 2014 se estudiaron muestras de concreto mezcladas con agua de mar y los potenciales monitoreados con la celda electroquímica presentaron una disminución de la diferencia de potencial hasta los 120 días registrando valores inferiores a  $-0.6V$ , lo cual fue atribuido a la alta concentración de iones cloruro y a los cambios de pH en el concreto. La adición de cloruros a la mezcla ubica el pH entre 6 y 7 favoreciendo la corrosión del acero.

Rodríguez en 2009 realizó un estudio en donde se sometieron al mismo tiempo, pero en contenedores diferentes, acero con inhibidor embebido en concreto con similares características geométricas a los usados en el presente trabajo. Se sometieron los especímenes a la acción de una solución de NaCl al 3% y otros a la acción del agua potable. Para las muestras inmersas en agua potable pasados los dos meses se obtuvieron medidas pico entre  $0.232V$  y  $-0.256V$  y para las muestras sometidas a la solución de cloruro de sodio, medidas que varían entre  $-0.338V$  y  $-0.777V$ . Pasados los cuatro meses las medidas para las muestras en agua fluctúan entre  $0.162V$  y  $-0.093V$ , y para las muestras sometidas a la acción del cloruro de sodio se registraron valores entre  $-0.350V$  y  $-0.575V$ .

En el proceso de diseño del sistema de monitoreo de Roa, Aperador, & Delgado en 2015, se compararon valores de diferencia de potencial medidos durante un año, los cuales los primeros 140 días se mantuvieron por debajo de  $-0.20V$ , para luego ubicarse entre los  $-0.60V$  y  $-0.70V$  cuando las muestras monitoreadas se sometieron a inmersión en soluciones de NaCl al 3.5% simulando condiciones marinas.

Comparando lo registrado para muestras de similares características inmersas en cloruro de sodio con las empleadas para el presente estudio, la diferencia de potencial de las primeras es más negativa ( $-0.338V$  y  $-0.575V$ ) que las registradas en el presente estudio ( $-0.368V$  y  $-0.424V$ ), mostrando ventaja en cuanto a la disminución de probabilidad de existencia del proceso corrosivo.

Las diferencias de potencial registradas para presente investigación y para estudios similares se resumen en la **Tabla 13**.

**Tabla 13. Resumen de diferencias de potencial detectadas para el presente estudio y para estudios similares.**

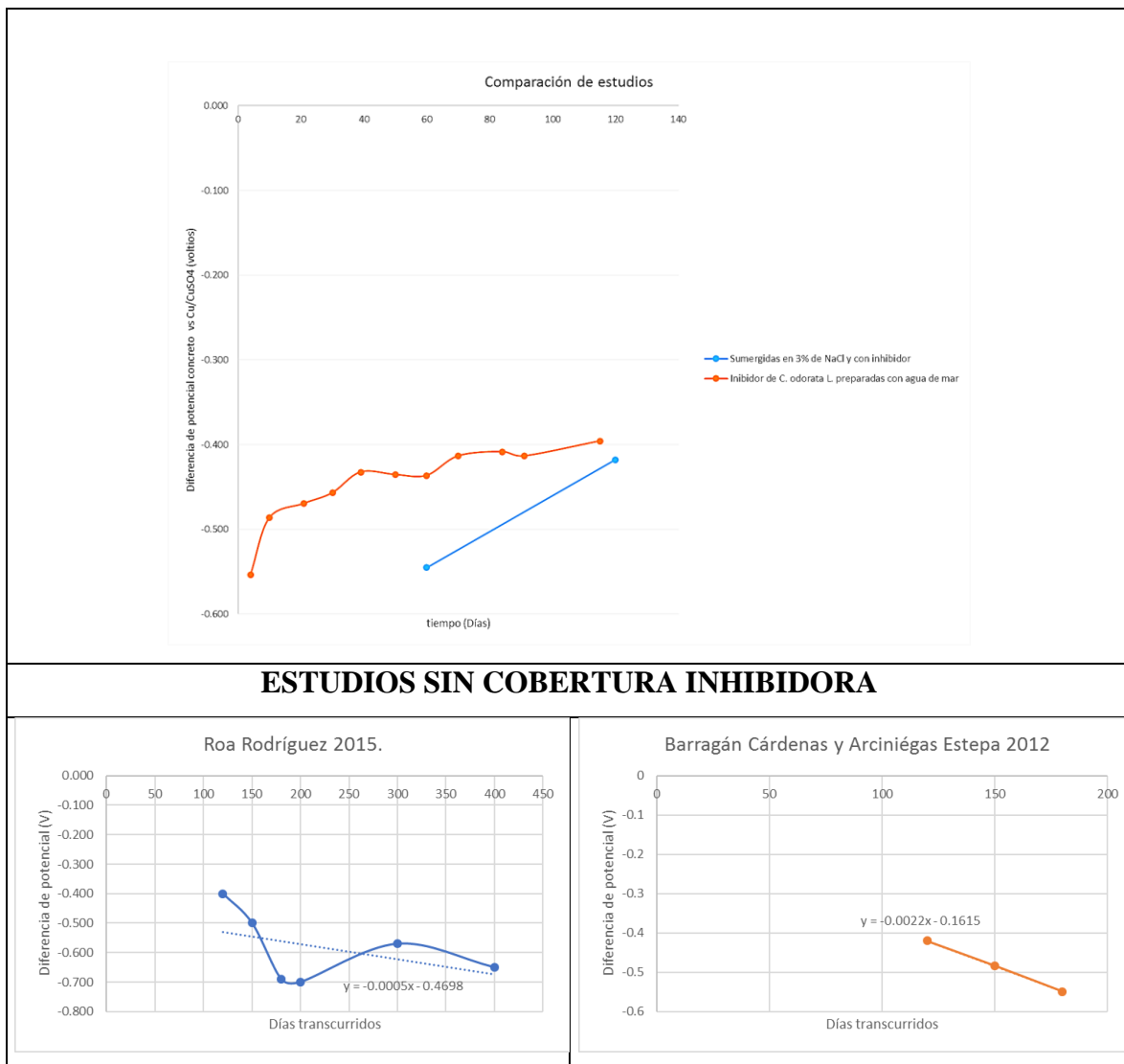
	Estudio en ejecución 2016.
	Barragán Cárdenas y Arciniégas Estepa 2012
	Rivero Monterrey 2010.
	Masadeh, Al-Robaidi y Anagreh, 2014.
	Roa Rodríguez 2015.
	Rodríguez 2009

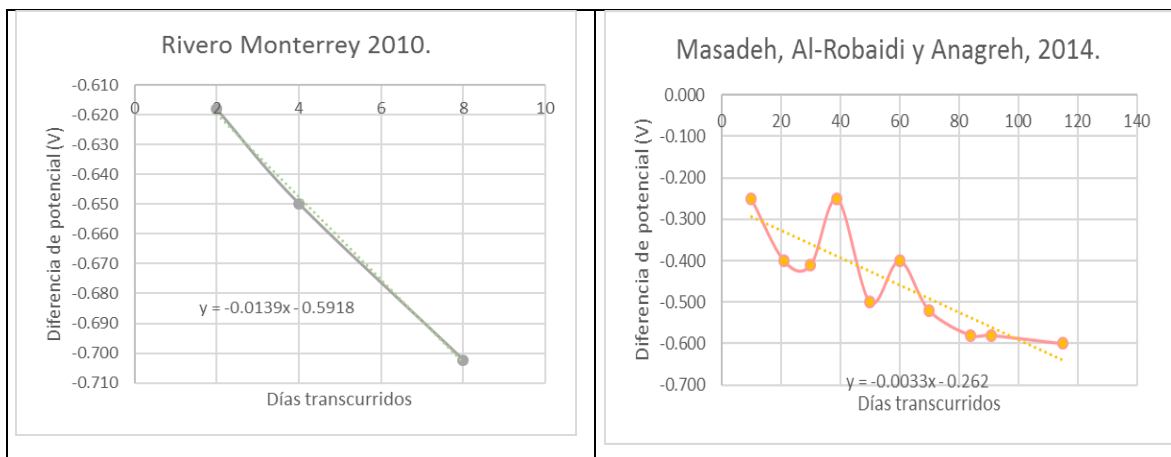
Número de días	Diferencias de potencial registrado (V)					
	Más positivo	Más negativo	Más positivo	Más negativo	Más positivo	Más negativo
1			-0.197			
2			-0.618	-0.625		
4	-0.535	-0.573	-0.650	-0.658		
8			-0.702	-0.706		
10	-0.466	-0.507				
21	-0.448	-0.491	-0.400	-0.450		
30	-0.441	-0.473	-0.410	-0.420		
39	-0.413	-0.452				
50	-0.419	-0.452	-0.500	-0.550		
60	-0.421	-0.452		-0.600	-0.385	-0.705
70	-0.385	-0.442	-0.520	-0.530		
84	-0.387	-0.43	-0.580	-0.600		
91	-0.391	-0.436	-0.580	-0.600		
115	-0.368	-0.424	-0.600	-0.610		
120	-0.4	-0.42	-0.400	-0.420	-0.373	-0.463
150	-0.473	-0.483	-0.500	-0.600		
180	-0.538	-0.549	-0.690	-0.700		
200			-0.700	-0.710		
300			-0.570	-0.580		
400			-0.650	-0.670		

Para los estudios sin inhibidor referenciados se obtuvieron las pendientes de los potenciales obteniéndose valores de -0.0003 (Barragán Cárdenas & Arciniegas Estepa, 2012), -0.0033

(Rivero Monterrey 2010.), -0.0139 (Masadeh, Al-Robaidi y Anagreh, 2014) y -0.0005 (Roa Rodríguez 2015.) , lo que indica como los potenciales tienden a hacerse más negativos. En cambio, los valores detectados para el presente estudio evidencian una pendiente positiva de 0.0009 la cual muestra tendencia a que los valores de diferencia de potencial se acerquen a cero lo que concuerda con estudios donde se ha aplicado inhibidor (Rodríguez Sánchez, 2009) como se puede observar en la **Tabla 14**.

**Tabla 14. Gráficas de estudios con presencia de cloruros y medición con celda de Cu/CuSO4.**





Las diferentes fuentes consultadas y los resultados obtenidos, muestran que para condiciones en donde el concreto no se somete a contaminación o inmersión, estos potenciales no superan los  $-0.20V$  y se mantienen en la franja de la norma para porcentajes poco probables de corrosión del acero de refuerzo y que el sometimiento del concreto a condiciones de exposición severa a cloruros, pueden llegar generar diferencias de potencial de hasta  $-0.70V$ .

Es notable como los valores registrados hasta los 115 días superan (son más positivos) a los valores de potencial obtenidos para concreto sometida inmersión en agua salada incluso para las muestras en las que se usó agua de mar para el mezclado ( $-0.60V$ ). Lo anterior puede ser un indicio del potencial de inhibición del exudado, esto considerando que la contaminación al concreto para el presente caso de estudio fue más agresiva.

## 6.4 ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS

A continuación se muestran ensayos adicionales que complementaron la investigación.

### 6.4.1 Deposición de cloruros en el área de prueba de intemperismo

Uno de los propósitos de la presente investigación era evaluar la eficiencia del exudado como inhibidor de corrosión en el ambiente salino de la ciudad de Cartagena, por lo cual calcular la deposición de cloruros en el área de influencia donde se ejecutó la prueba de intemperismo, era de suma importancia.

La tasa de deposición de cloruros se determinó con la Ecuación 6 y la salinidad depositada se calculó de acuerdo a la Ecuación 7. Para obtener los parámetros de concentración de cloruros y salinidad necesarios para aplicar las ecuaciones anteriores, se contrataron los servicios del laboratorio de la Universidad de Cartagena, y se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 15 para la caracterización del agua de lavado del ensayo de deposición de cloruros.

**Tabla 15. Deposición de cloruros y salinidad.**

Parámetro	Magnitud	Unidad
Cloruros	266.12	mg/L
Salinidad	0.53	g/L

Fuente: Los Autores.



**Figura 35. Estado final del polímero liso sometido al ambiente salino del área de influencia para las muestras de la prueba de intemperismo.**

Fuente: Los Autores.

Aplicando los valores expuestos en la Tabla 15 se obtuvo una tasa de deposición de cloruros de  $5.06 \text{ g m}^{-2} \text{ año}$ , y una salinidad de  $10.08 \text{ g m}^{-2} \text{ año}$ . Estos valores se encuentran muy por encima de los encontrados con anterioridad en la ciudad; en 2009 se determinó que el grado de salinidad en la ciudad de Cartagena era de  $3.97 \text{ g x m}^2 \text{ }^{-1}$  por año y  $2.3210 \text{ g x m}^2 \text{ }^{-1}$  de deposición de cloruros al año (Bolaños, Batista, & Gómez, 2009).

La diferencia con el estudio de 2009 puede estar sustentada en el hecho de que las láminas expuestas en dicho estudio se ubicaron en el costado derecho del lienzo de muralla de la Torre del Reloj, mientras que las muestras del presente estudio se ubicaron en la azotea del Claustro de La Merced, la cual está en contacto directo con la brisa marina.

#### 6.4.2 Ensayo de esclerómetro



*Figura 36. Ensayo con esclerómetro análogo.*

Fuente: Los Autores.

Cada espécimen fue ensayado con la prueba de esclerómetro para determinar su resistencia a la compresión. En la **Figura 37** se observan los resultados obtenidos para la resistencia de las probetas destacando cómo las del 2% registran una mayor resistencia a la compresión simple, probetas que son precisamente las que están registrando menor probabilidad de corrosión del acero embebido. Esto se corrobora al observar que las muestras C-2-2 y C-3-3 son las que presentan mayor resistencia y tienen los valores más positivos de diferencia de potencial.



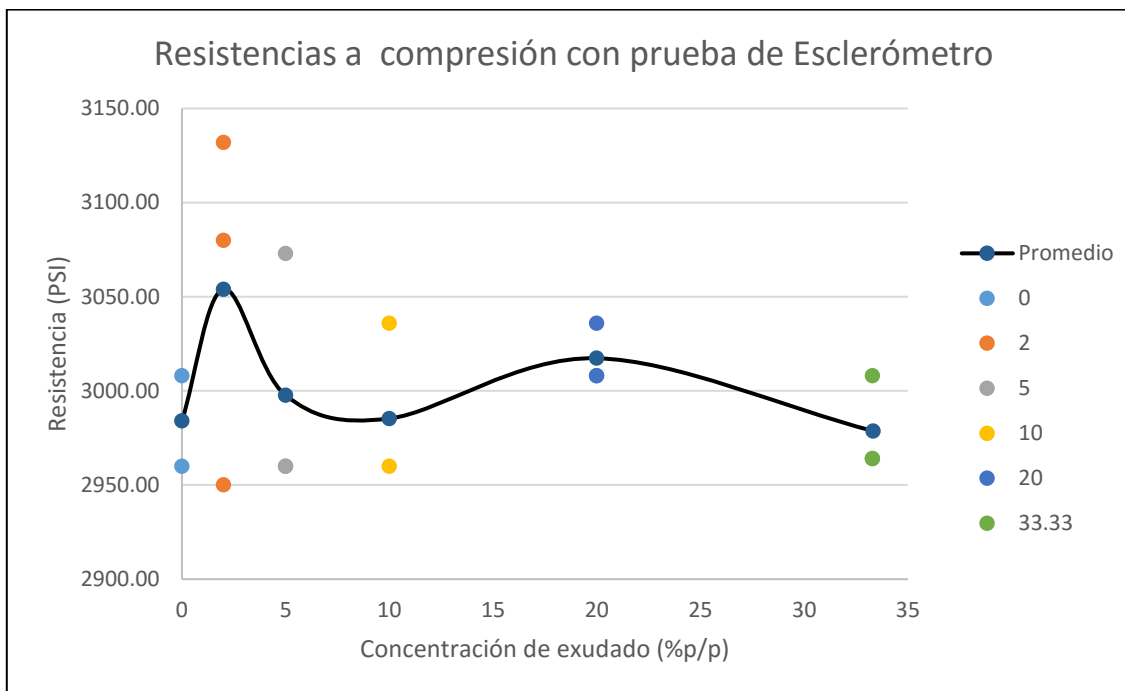


Figura 37. Resistencia a la compresión, ensayo con el esclerómetro.

Fuente: Los Autores.

Tabla 16. Resistencia a la compresión de las probetas monitoreadas.

Concentración (%p/p)	Resistencia a la compresión promedio (PSI)
0	2984
2	3054
5	2997
10	2985
20	3017
33.33	2978

Fuente: Los Autores.

En general como se observa en la **Tabla 16** los datos obtenidos para la resistencia a la compresión simple varían entre 2978psi y 3054psi.

Cuando se utiliza agua de amasado con cloruros, como fue el caso para los especímenes de la presente investigación, cierta cantidad reacciona con los compuestos hidratados del concreto para formar las sales de Friedel, otra cantidad se adsorbe en la superficie de las

paredes de los poros y sólo una parte queda disuelta, además de que esta distribución depende del tipo y la cantidad de cemento con que se dosifique el concreto (Rodríguez Sánchez, 2009), será importante tener en cuenta para la continuación de este trabajo investigativo, cómo esto pudo influir en la toma de datos a través del monitoreo con la media celda.

### 6.4.3 Calorimetría diferencial de Barrido (DSC)



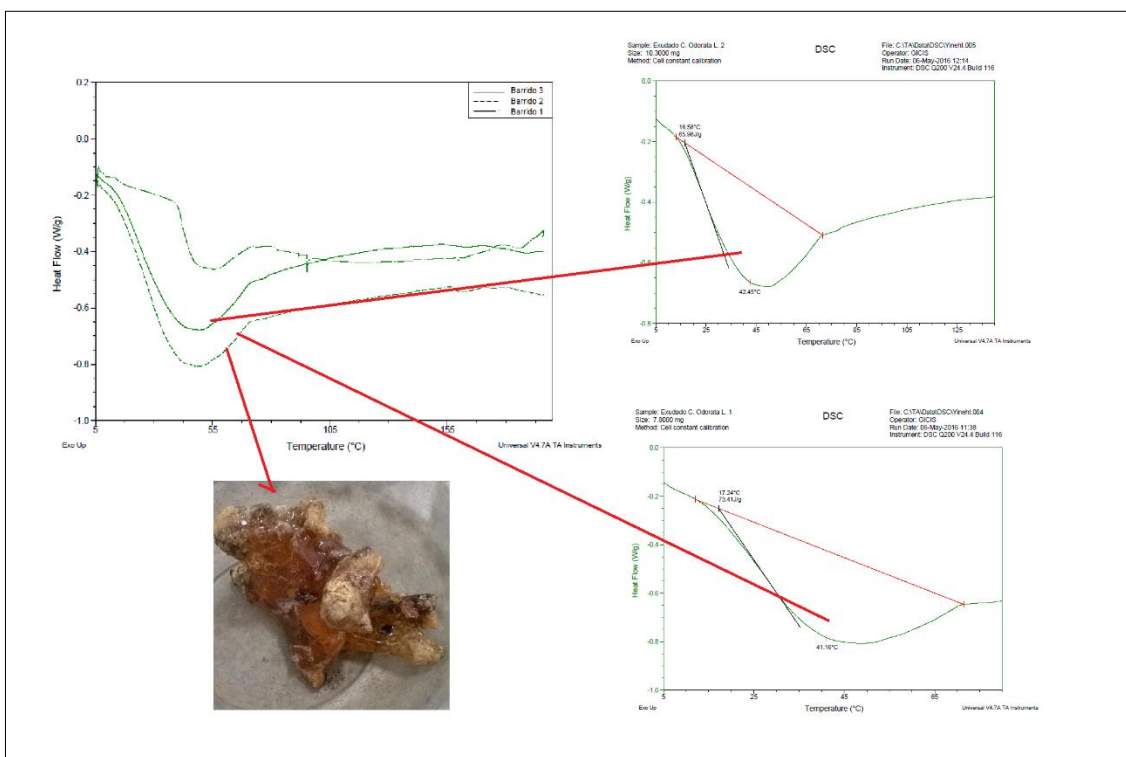
*Figura 38. Ejecución de barridos para la prueba de DSC.*

Fuente: Los Autores

Entre las caracterizaciones necesarias para hacer una evaluación integral del comportamiento del exudado gomoso, se aplicó el procedimiento correspondiente a la prueba de DSC, mediante tres barridos se estableció que, pese a ser un material impuro, el exudado gomoso se comporta bastante regular debido a la poca presencia de ruido en la curva calorimétrica. Este análisis térmico ha consistido en una calorimetría diferencial de barrido (DSC), entre 5°C y 200°C en atmósfera inerte, con un primer calentamiento (1st Heat Flow). En la gráfica obtenida durante el ensayo solo se registran un proceso endotérmico marcando en un máximo hacia abajo lo cual representa una transición vítrea o un proceso de fusión (Montoro, 2013) con cambio de pendiente entre los 16°C y los 70°C, lo cual se ajusta a lo observado en el laboratorio de geotecnia, en donde se calentó una muestra del exudado en el horno y se

observó un cambio del material alrededor de los 50°C dando una apariencia más seca y vidriosa.

Los resultados de este ensayo indican que es posible que a temperatura ambiente el exudado llegue a experimentar algún tipo de reacción endotérmica que implique la liberación de algún tipo de compuesto en forma de gas. Si este compuesto es agua el exudado podría disminuir su potencial inhibidor o por el contrario si durante esta reacción se libera otro tipo de elemento con propiedades inhibidoras favorecería su uso.



**Figura 39. Información gráfica del ensayo de DSC.**

Por otro lado, la ausencia de ruido en los tres barridos indica un comportamiento térmico estable lo que puede sugerir que la adherencia al metal es igualmente estable.

## 7 CONCLUSIONES

Se ha encontrado una relación inversa entre la pérdida de peso y la concentración del porcentaje de exudado de *C. Odorata L.*, lo cual indica que la aplicación de un porcentaje mayor de exudado evita la pérdida de peso en el acero por corrosión atmosférica. Con los resultados de la presente investigación ha sido posible determinar una eficiencia de inhibición del exudado entre el 25% y 46% con respecto a las muestras blanco, siendo las muestras con un 33.33% de exudado las que presentan mayor inhibición, sin embargo se observa una tendencia de inhibición menos creciente desde la concentración de 10% en donde la eficiencia es de 41.1%. La inhibición del exudado supera a la de la goma arábiga pero se encuentra por debajo de la inhibición de el extracto de aguacate, aloe vera y el sintetizado de extracto de caña de azúcar.

La prueba de intemperismo ha permitido observar una variación del peso de las muestras entre el 0.3% y el 0.9%. Las muestras de intemperismo experimentan un aumento de masa, lo que quiere decir que existen depósitos de elementos producto de las reacciones químicas que corresponden principalmente con la incorporación de agua en la masa del acero en forma de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  conocido como herrumbre. El fenómeno de aumento de peso inicial correspondiente con lo expresado en la norma ASTM G1-90 e investigaciones previas como la del inhibidor de extracto de caña de azúcar. El tipo de corrosión fue generalizada y localizada según la síntesis de investigaciones hechas en la Tabla 1.

La velocidad de corrosión presenta una relación inversa con la concentración del exudado y con variaciones entre  $0.0127$  y  $0.0237 \text{ mg cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , siendo mayor la velocidad calculada para las muestras blanco y menores en las muestras con 10% y 20% de inhibidor. Igualmente las pendientes del aumento de peso durante los meses de exposición muestran tasas que disminuyen hasta tres veces con el aumento de concentración de exudado. La tasa de deposición de cloruros fue mayor que para estudios previos con especímenes sumergidos, esto debido a que la naturaleza de los ensayos atmosféricos es diferente ya que no se induce una corrosión acelerada con adición de sales o ácido; igualmente las tasas de deposición

fueron mayores con respecto a estudios de exposición atmosférica de la ciudad anteriores ya que el lugar de exposición de las muestras estaba en contacto directo con la brisa marina. Las tasas de deposición fueron de  $5.35 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$  y de salinidad  $10.08 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$  lo que concuerda con la velocidad de corrosión y distancia a la costa, según estudios internacionales.

La caracterización por DSC permitió concluir que el exudado gomoso presenta una adherencia favorable con el metal debido a la poca presentación de ruido en los tres barridos y permitió establecer que existe una reacción endotérmica del material entre los  $16$  y los  $75^\circ\text{C}$  aproximadamente, lo que indica que bajo la temperatura ambiente el exudado presenta algún tipo de reacción que puede favorecer o limitar la función inhibidora.

En el monitoreo con celda electroquímica se ha encontrado en general una disminución de la diferencia de potencial en el tiempo para las muestras embebidas. Las variaciones de potencial estuvieron entre  $-0.573$  y  $-0.368 \text{ V}$ .

Dentro del ensayo de celda electroquímica se dio la particularidad de que para los especímenes con exudado, los primeros 20 días mostraron mayor actividad corrosiva que las muestras blanco y los valores de potencial negativos eran casi directamente proporcionales a la concentración de exudado, según el resultado del ensayo DSC y teniendo en cuenta que durante el fraguado del concreto las temperaturas internas aumentan y que se pudieron observar fisuras probablemente por retracción, en los especímenes de concreto, se puede relacionar este comportamiento inicial con la reacción endotérmica del exudado.

Entre los 40 y 60 días todos los especímenes con exudado comenzaron a registrar valores de potencial más positivos que los de las muestras blanco hasta presentar una disminución de la probabilidad de actividad corrosiva considerablemente menor. Hasta el punto de la investigación todos los especímenes registran una probabilidad de actividad corrosiva del 90%, siendo las muestras con 2% de inhibidor las que registran mayor diferencia del potencial lo que indica menor actividad corrosiva y las muestras blanco exhiben un comportamiento contrario.

Cuando se toman valores con celda de  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$  para estudios donde no se aplica inhibidor, el cambio de las diferencias de potencial tiende a hacerse más negativo mientras que cuando

se aplica inhibidor el cambio de las diferencias de potencial tiende a ser mas positivo lo que concuerda con el presente estudio. Lo anterior se traduce en que al aplicar inhibidor y someter el acero a un ambiente con cloruros se encuentra una disminución de la actividad corrosiva mientras que cuando no se aplica tiende a aumentar.

Pese a que según el rango de valores para la norma ASTM C 876 – 91 las muestras aún se encuentran con probabilidad de corrosión, los registros multi-temporales indican una tendencia, que de continuar puede llevar las medidas a la franja de incertidumbre.

## 8 RECOMENDACIONES

- Para el ensayo de pérdida de peso se debían pesar las muestras cada cierto tiempo, lo que demandaba su traslado una distancia considerable hasta el lugar donde se ubica la balanza con la sensibilidad que pedía la norma, por lo cual durante el traslado se debió tener sumo cuidado para no tener pérdida de material. Así pues, las muestras se retiraban e inmediatamente se depositaban en bolsas de plástico individuales usadas durante todo el ensayo, y que al final permitieron que se sumara el óxido de cada muestra a su peso perdido. Adicionalmente durante el traslado las muestras, aun dentro de sus bolsas, se guardaban en estuches individuales para bisutería con esponjilla, que las mantenían estáticas evitando la fricción con el transporte y el desprendimiento de material. Por las dificultades anteriores se recomienda en lo posible ubicar el sitio de pesaje lo más cercano al lugar de exposición o realizar una evaluación de la inhibición con Espectroscopia de Impedancia Electroquímica con cámara de niebla salina para recrear las condiciones de salinidad.
- En la presente investigación se comprobó la acción inhibidora del exudado gomoso de *C. Odorata L.*, sin embargo, los mecanismos que permiten ésta inhibición no se han determinado, por lo que es preciso realizar procedimientos de caracterización del material para determinar componentes químicos y así concluir sobre los componentes activos inhibidores. Lo anterior se puede lograr con la realización de Espectroscopía Laser Raman, Espectroscopia Infrarroja, Difracción de Rayos X, microscopía electrónica de barrido EDX, y aplicación de ensayos DSC adicionales. Éstos ensayos pueden ahondar en los cambios químicos de la reacción endotérmica del exudado en el rango de 16° a 75° para establecer si genera productos que favorezcan o retarden la inhibición y expliquen el comportamiento inicial de las muestras con exudado en la prueba de media celda electroquímica.



- Se recomienda someter a los ensayos planteados varias muestras con diferentes inhibidores bajo las mismas condiciones para comparar las diferencias de potencial y pérdida de peso de forma más directa.
- Dentro de las limitaciones principales se encontró el periodo de evaluación de la corrosión debido a que por cuestiones de calendario académico y tiempos de entrega se estudió el proceso de corrosión en un periodo mínimo para evidenciar resultados. Se recomienda continuar con el monitoreo de celda electroquímica y hacer ensayos de pérdida de peso en periodos más largos para determinar si hay un tiempo de pasivación del acero en el ambiente salino.
- En el análisis de la condición final de las muestras se tuvo el limitante de que no había disponibilidad de un microscopio con capacidad de tomar microfotografías a una resolución adecuada en las muestras de media celda electroquímica, para identificar formaciones importantes con lo que se hubiera podido lograr observar mejor la interfase entre el exudado-metal-concreto para determinar la forma de contacto inicial y final y observar la actividad corrosiva en éstos límites, así como diferenciar los tipos de corrosión localizada.
- En cuanto al exudado se recomienda que la obtención del material se realice en época de verano debido a que en éste periodo es más abundante la exudación del mismo. Por otro lado cabe mencionar que inicialmente se había previsto una concentración del 50% y se bajó a 33.33% por la difícil homogenización de la muestra. Durante el triturado del material se recomienda una granulometría más fina (menor a 1.18mm de diámetro) puesto que la mezcla a concentración de 33.33% tiene una consistencia aún muy difícil de homogenizar lo que pudo incidir en la adsorción sobre el metal lo que puede tener relación con el hecho de que hay un poco de aumento de la eficiencia de inhibición desde la concentración del 10%.
- Por último se recomienda buscar una metodología que garantice que los materiales del ambiente circundante al árbol no se adhieran al exudado puesto que en el tamizado

se observaron pequeños residuos de madera y otros elementos. Lo ideal sería poder obtener un exudado puro para evitar la formación de microceldas de corrosión por partículas inmersas en el exudado.

## 9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abboud, Y., Abdelmjid, A., Tanane, O., & Hammouti, B. (2009). Corrosion inhibition of carbon steel in acid media by *Bifurcaria Bifurcata* extract. *Chemical engineering communications*, 788-800.
- Acosta, F. J. (2013). Propiedades fisicoquímica, reológica y funcionalidad de la goma de semilla de *Prosopis Juliflora* "cuji". Córdoba, Esp.: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.
- Adeuwuyi, A., Andrea, G., & Wolff, T. (2014). Succinyl amide gemini surfactant from *Adenopus breviflorus* seed oil: A potential corrosion inhibitor of mild steel in acidic medium. *Industrial Crops and Products*, 439–449.
- Ahmad, Z. (2006). *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Ahmad, Z. (2006). Types of Corrosion: Materials and Environments. En Z. Ahmad, *Types of Corrosion: Materials and Environments* (págs. 120–270). Arabia Saudita: Butterworth Heinemann.
- Ahmed, N., Mohamed, M., Mabrouk, M., & ELShami, A. (2015). Novel anticorrosive pigments based on waste material for corrosion protection of reinforced concrete steel. *Construction and Building Materials*, 388–396.
- Al-Amoudi, O. S., Maslehuddin, M., Lashari, A., & Almusallam, A. A. (2003). Effectiveness of corrosion inhibitors in contaminated concrete. *Cement & Concrete Composites*, 439–449.
- Alderete Chávez, Á., & Márquez Ramírez, J. (s.f.).
- Alter, L. B., & Mestres, F. L. (2003). *Corrosión y protección*. Barcelona: Edicions UPC.
- Anzola, E., Malavé, R., contreras, A., rivero, M., Bolognini, H., rojas, M., & Reyes, I. (2005). Influencia del estado superficial del acero en la corrosión del acero de refuerzo del hormigón expuesto a ambientes marinos. *Master construcc. Vol. 55*, 17-24.

- Asipita, S. A., Ismail, M., Majid, M. Z., Majid, Z. A., Abdullah, C., & Mirza, J. (2014). Green Bambusa Arundinacea leaves extract as a sustainable corrosion inhibitor in steel reinforced concrete. *Journal of Cleaner Production*, 139–146.
- ASTM. (1983). ASTM G1193-77. *Standart Specification for reagent water*. Federal test method standart.
- ASTM. (1999). ASTM C 876 – 91. *Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in concrete*.
- ASTM. (junio de 1999). Standart practice for preparing, cleaning and evaluating corrosion test specimens. *ASTM G1-90*.
- Barragán Cárdenas, A. Y., & Arciniegas Estepa, Y. A. (2012). *Evaluación del comportamiento a la corrosión de una varilla de acero galvanizado en concreto reforzado con diferentes concentraciones de cloruros y carbonatos*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Becker, E. (2015). *Durabilidad del hormigón*. Buenos Aires: Loma Negra.
- Behpour, M., Ghoreishi, S., Khayat Kashani, M., & Soltani, N. (2011). The effect of two oleo-gum resin exudate from *Ferula assa-foetida* and *Dorema*. *Corrosion Science*, 2489–2501.
- Benítez, L. P., Meza, P., Percy, E. D., & Berrocal, M. (2014). Uso de extractos de plantas como inhibidores de corrosión. *Informador técnico, ISSN 0122-056X, N° 78, 2*, 155-164.
- Bentrah, H., Y. R., & Chala, A. (2014). Gum Arabic as an eco-friendly inhibitor for API 5L X42 pipeline steel in HCl medium. *Corrosion Science*, 426–431.
- Bermudez, M. (2007). *Corrosion de las armaduras de hormigón armado en ambiente marino: Zona de Carrera de Mareas y Zonas sumergidas*. Madrid: Repositorio niversidad Politecnica de Madrid.

- Bolaños, E. Q., Batista, H. M., & Gómez, K. B. (2009). *convenio interadministrativo No. 197059 Fonade y el Ministerio de cultura*. Cartagena de Indias: Ministerio de cultura.
- Bouknana, D., Hammoutia, B., Messalid, M., Aounitia, A., & Sbaab, M. (2014). Olive pomace extract (OPE) as corrosion inhibitor for steel in HCl medium. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, S963–S974.
- Bribri, A. E., Tabyaouia, M., Tabyaoui, B., Attari, H. E., & Bentiss, F. (2013). The use of *Euphorbia falcata* extract as eco-friendly corrosion inhibitor of carbon steel in hydrochloric acid solution. *Materials Chemistry and Physics*, 240–247.
- Briceño, O. (2014). *Evaluación de las transformaciones de la franja costera y las implicaciones asociadas a procesos de planeación urbanística. Estudio de caso: Zona costera entre bocana estabilizada y Manzanillo Del Mar (Cartagena-Bolívar)*. Bogotá: Repositorio Universidad Javeriana.
- Buelvas, C. A., & González, D. A. (2015). *Estudio patológico y de vulnerabilidad sísmica del Claustro De La Merced De Cartagena de Indias*. Cartagena De Indias: Reositorio Universidad de Cartagena.
- C Clamens, G. L. (1998). Exudados gomosos de plantas localizadas en Maracaibo, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía.*, 103(2), 119-125.
- C Cuevas Arteaga, J. P. (2003). Corrosión del INCOLOY-800H por sales fundidas a alta temperatura. *Revsta Mexicana de Ingeniería Química*, 2, 135-142.
- Cárdenas López, D., Castaño Arboleda, N., Sua Tunjano, S. M., Montero González, M. I., & Ruiz Bohórquez, L. K. (2011). *Evaluación de la distribución potencial actual en Colombia del Cedro (Cedrela Odorata) y el Cocobolo (Dalbergia Retusa), especies incluidas en apéndices cites y recomendaciones para el manejo in situ de sus poblaciones*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Castro B Uribe, S. M.-J. (2002). Cinética de permeación de hidrógeno en un acero implantado con iones de nitrógeno. *Revista Colombiana de Física*, 34(1), 362-365.

- Chevalier, M., Robert, F., Amusant, N., Traisnel, M., Roos, C., & Lebrini, M. (2014). Enhanced corrosion resistance of mild steel in 1 M hydrochloric acid solution by alkaloids extract from *Aniba rosaeodora* plant: Electrochemical, phytochemical and XPS studies. *Electrochimica Acta*, 96–105.
- Coppen, J. (1995). *Gums, resins and latexes of plant origin*. Roma: Food and Agriculture organization of the United Nations.
- DANE. (8 de Septiembre de 2015). [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co). Obtenido de <http://www.dane.gov.co/index.php/construccion-alias/censo-de-edificaciones-ceed>
- El-Etre, A. (2003). Inhibition of aluminum corrosion using *Opuntia* extract. *Corrosion Science*, 2485–2495.
- El-Etre, A. (2007). Inhibition of acid corrosion of carbon steel using aqueous extract of olive leaves. *Journal of Colloid and Interface Science*, 578–583.
- Fernández, S. P., & Manrique, A. V. (19 de Septiembre de 2013). Evaluación de la capacidad inhibidora de la corrosión de los extractos del árbol de Neem (*Azadirachta Indica*) en medio salino. *Trabajo de Grado para optar al título como Ingeniero Químico*. Cartagena, Colombia: Universidad de Cartagena.
- Gonzales Fernandez, J. A., & Miranda Vidales, J. (2007). *Corrosión en las estructuras de hormigón armado: Fundamentos, medida, diagnosis y prevención*. Barcelona-España: Concejo superior de Investigaciones Científicas.
- Goyenola, G. (Junio de 2007). Determinación de la alcalinidad total. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos.
- Gunasekaran, G., & Chauhan, L. (2004). Eco friendly inhibitor for corrosion inhibition of mild steel in phosphoric acid medium. *Electrochimica Acta*, 4387–4395.
- Hamdania, N. E., Fdil, R., Tourabib, M., Jama, C., & Bentiss, F. (2015). Alkaloids extract of *Retama monosperma* (L.) Boiss. seeds used as novel eco-friendly inhibitor for carbon



- steel corrosion in 1 M HCl solution: Electrochemical and surface studies. *Applied Surface Science*, 1294–1305.
- Hamed, M., & Bahareh, T. A. (2012). A review study on chemical composition and molecular structure of newly plant gum. *Food Research International*, 387–398.
- Instituto Mexicano de transporte Secretaria de Comunicaciones y Transporte. (2000). *Sistemas de proteccion contra corrosion en puentes. Investigaciones recientes*. Querétaro: Instituto Mexicano de transporte.
- Instituto mexicano del transporte. (2006). *Estudio de la corrosión en barras de acero inoxidable en concreto contaminado por cloruros cuando se le aplican esfuerzos residuales*. Sanfandila- Queretaro: SCT.
- Invasive Species Specialist Group. (13 de agosto de 2015). *discoverlife*. Obtenido de discoverlife: <http://www.discoverlife.org/mp/20q?search=Cedrela+odorata>
- INVEMAR. (2003). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (Aguas, Sedimentos y Organismos)*. Santa Marta: Precolombi - David Reyes.
- Iriarte, M. F., & Pertuz, L. M. (2014). *Evaluación, diagnóstico, patología y propuesta de Intervención del Puente Sobre El Caño El Zapatero a la entrada de la Escuela Naval Almirante Padilla*. Cartagena de Indias: Repositorio Universidad de Cartagena.
- Izquierdo, J., Cunill, F., Tajero, J., Iborra, M., & Fité, C. (2004). *Cinética de las reacciones químicas*. Barcelona: Ediciones de la Universidad De Barcelona.
- Ji, G., Anjum, S., S. S., & Prakash, R. (2015). Musa paradisisca peel extract as green corrosion inhibitor for mild steel in HCl solution. *corrosion science*, 107–117.
- Jiménez, C. (22 de Mayo de 2015). Síntesis y evaluación de un ecoinhibidor para mitigar los efecto de corrosión y minimizar la generación de residuos sólidos de tipo metálico en el medio ambiente. Cartagena: Universidad de Cartagena.

- Juan Delgado, J. G. (2009). Clasificación de la agresividad atmosférica en Colombia mediante métodos estadísticos multivariados. *Revista Facultad de Ingeniería de Antioquia*, 41-50.
- Kamal, C., & Sethuraman, M. (2012). Spirulina platensis – A novel green inhibitor for acid corrosion of mild steel. *Arabian Journal of Chemistry*, 155–161.
- Krishanaveni, K., & Ravichandran, J. (2014). Effect of aqueous extract of leaves of Morinda tinctoria on corrosion inhibition of aluminium surface in HCl medium. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2704–2712.
- Lloret, P., Moina, C., & Ybarra, G. (2007). Síntesis, funcionalización y caracterización de nanopartículas magnéticas con estructura nucleo- cáscara. *Congreso SAM / CONAMET* (págs. 1421-1425). San Nicolás - Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Industrial.
- Loaiza, S., & Vidales, A. (2013). *Evaluación de la capacidad inhibidora de la corrosión de los extractos del árbol de Neem (Azadirachta Indica) en medio salino*. Cartagena de Indias: Repositorio Universidad de Cartagena.
- López Camacho, R. (2008). Productos forestales no maderables: Importancia e impacto de su aprovechamiento. *11(215-231)*. Bogotá.
- María Isabel Bozo de González, M. M. (2008). Caracterización estructural de los oligosacáridos y del núcleo del polisacárido de la goma de Cedrela Odorata. *Afinidad*, 65(538), 6.
- Martelo, G. L., & Brieva, J. L. (2012). *Evaluación y diagnóstico patológico de La Iglesia Santo Toribio De Mogrovejo De Cartagena De Indias*. Cartagena de Indias: Repositorio Universidad de Cartagena.
- Martín, J. G. (1999). La pintura como inhibidor de corrosion en las estructuras de acero especialmente expuestas y su rendimiento. *Informes de la Construcción*, 51(461), 9-17.

- Masadeh, S., Al-Robaidi, A., & Anagreh, N. (2014). Electrochemical chloride extraction from concrete structure exposed to dead sea water . *Bulleting of engineering*, 87-92.
- Mehdipoura, M., Ramezanzadeh, B., & Armana, S. (2015). Electrochemical noise investigation of Aloe plant extract as green inhibitor on the corrosion of stainless steel in 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 318–327.
- Meza Castellar, P. (2013). *Estudio comparativo de la eficiencia de inhibidores de corrosión ambientalmente amigables en medio ácido y salino*. Cartagena de Indias: Universidad de Cartagena.
- Meza, P., Altamiranda, E., Berrocal, M., & Tejada, L. (2014). Uso de extractos de plantas como inhibidores de corrosión . *Informador técnico*, 155-164.
- Min. de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (Marzo de 2010). Título C-Concreto estructural. *NSR-10 titulo C* . Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- Montoro, Ó. R. (2013). *ESTUDIO ESPECTROSCÓPICO DE LA FORMACIÓN DE ANÁLOGOS DE RESINAS FÓSILES*. Madrid: Repositorio Universidad Politecnica de Madrid.
- Moreno, A. d., López, T. P., & Madrid, M. M. (2001). *El fenomeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado*. Sanfandila: Instituto Mexicano del Transporte.
- National Ready Mixed Association. (s.f.). CIP 25 - Corrosión del acero en el concreto. *Hormigón, el concreto en la práctica. ¿Qué, por qué y cómo?* National Ready Mixed Association.
- Navarro, C., Montagnini, F., & Hernández, G. (2004). Genetic variability of *Cedrela odorata* Linnaeus: results of early performance of provenances and families from Mesoamerica grown in association with coffee. *Forest Ecology and Management*, 217–227.

- Noor, E. A. (2011). The impact of some factors on the inhibitory action of Radish seeds aqueous extract for mild steel corrosion in 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution. *Materials Chemistry and Physics*, 160–169.
- Nussinovitch, A. (2009). *Plant Gum Exudates of the World: Sources, Distribution, Properties, and Applications*. Boca Raton: CRC press.
- Odrizola, M. Á. (Octubre de 2007). Tesis Doctoral. *Corrosión de las armaduras del hormigón armado en ambiente marino: Zona de carrera de mareas y zona sumergida*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Okeniyi, J. O., Loto, C. A., & Popoola, A. P. (2014). Rhizophora mangle L. effects on steel-reinforced concrete in 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: Implications for corrosion-degradation of wind-energy structures in industrial environments. *The International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES14*, 429 – 436.
- Okeniyi, J. O., Loto, C. A., & Popoola, A. P. (2014). Rhizophora mangle L. effects on steel-reinforced concrete in 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: Implications for corrosion-degradation of wind-energy structures in industrial environments. *Energy Procedia* 50, 429 – 436.
- Okeniyi, J. O., Omotosho, O. A., Ogunlana, O. O., Okeniyi, E. T., Owoeye, T. F., Ogbiye, A. S., & Ogunlana, E. O. (2015). Investigating Prospects of Phyllanthus Muellierianus as Eco-friendly/Sustainable Material for Reducing Concrete Steel-reinforcement Corrosion in Industrial/Microbial Environment. *The International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability –TMREES15*, 1274–1281.
- Orubite, K., & Oforka, N. (2004). Inhibition of the corrosion of mild steel in hydrochloric acid solutions by the extracts of leaves of Nypa fruticans Wurm. *Materials Letters*, 1768 – 1772.
- Ospina, J. A. (2008). *Rehabilitación de una maravilla colombiana del*. Bogotá: Notocreto.

- Pardo, D., & Pérez del Río, A. L. (2014). *Diagnóstico Patológico y de vulnerabilidad sísmica del antiguo club Cartagena*. Cartagena de Indias: Repositorio Universidad de Cartagena.
- Paredes, J., Prieto, J., & Santos, E. (2013). *Corrosion del acero en elementos de hormigón armado*. Guayaquil- Ecuador: Repositorio Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Peña, C. A., & Morales, D. A. (2014). *Evaluación, diagnóstico y propuesta de intervención para la patología del Puente Román ubicado en el barrio Manga*. Cartagena De Indias: Repositorio Universidad de Cartagena.
- Peña, D., Estupiñán, H., Vásquez, C., & Mejía, E. (2011). Determinación de la despasivación en varillas de acero de refuerzo en solución poro de agua de mar por medio de técnicas electroquímicas. *Prospect*. Vol. 9, 13-20.
- Péres, D., & Pérez, A. (2014). *Diagnostico patológico y de vulnerabilidad sísmica del antiguo club Cartagena*. Cartagena De Indias: Repositorio Universidad de Cartagena.
- Radojčić, I., Berkovic, K., Kovac, S., & Vorkapic´-Furac, J. (2008). Natural honey and black radish juice as tin corrosion inhibitors. *Corrosion Science*, 1498–1504.
- Raja, P. B., & Sethuraman, M. G. (2008). Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media — A review. *Materials Letters* 62, 113–116.
- Rincon, F., Muñoz, J., Pinto, G. L., Alfaro, M., & Calero, N. (2009). Rheological properties of Cedrela odorata gum exudate aqueous dispersions. *Food Hydrocolloids*, 1031–1037.
- Rivero Monterrey, M. A. (2010). *Evaluación del sistema concreto-refuerzo de acero utilizado en el equipo GECOR 8 TM*. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar.
- Rivero, S., Chico, B., De la Fuente, D., & Morcillo, N. (2007). Corrosión atmosférica del acero bajo en carbono en un ambiente marino polar. Estudio del efecto del régimen de vientos. *METALURGIA*, 43, 370-383.

- Roa Rodríguez, G., Aperador Chaparro, W., & Delgado Tobón, E. (2015). Diseño de sistema de monitoreo remoto para la evaluación de la corrosión en estructuras de concreto reforzado sometidas a ion cloruro. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 565-572.
- Robles, G. J. (2012). *Diagnosis de los patrones de deterioro en el material pétreo de la muralla influenciado por el ambiente húmedo y salino en la ciudad de Cartagena*. Cartagena de Indias: Repositorio Universidad de Cartagena.
- Rodríguez Montoro, Ó. (2013). *Estudio espectrocópico de la formación de análogos de resinas fósiles*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Rodríguez Sánchez, W. A. (2009). *Evaluación de la resistencia a la flexión de vigas de concreto afectada por la acción de la corrosión en el refuerzo*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander - Escuela de Ingeniería Civil.
- Roy, P., Karfa, P., Adhikari, U., & Sukul, D. (2014). Corrosion inhibition of mild steel in acidic medium by polyacrylamide grafted Guar gum with various grafting percentage: Effect of intramolecular. *Corrosion Science*, 246–253.
- Saleh, R., Ismail, A., & Hosary, A. E. (1983). Corrosion inhibition by naturally occurring substances-IX. The effect of the aqueous extracts of some seeds, leaves, fruits and fruit-peels on the corrosion of Al in NaOH. *Corrosion Science*, 1239-1241.
- Sánchez, J. A., & López, C. A. (2009). Evaluación de la corrosión de un acero ASTM A335 P92 en sales fundidas por medio del método gravimétrico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Santos, J., Nunes, C., Fernandes, C., & Varum, H. (2007). Common pathologies in RC bridge structures: a statistical analysis . *Electronic Journal of Structural Engineering*, 19-26.
- Saricimen, H., Mohammad, M., Quddus, A., Shameem, M., & Barry, M. (2002). Effectiveness of concrete inhibitors in retarding rebar corrosion. *Cement & Concrete Composites*, 89-100.



- Serpa, M., & Serpa, L. (2014). *Evaluación, diagnóstico, patología y propuesta de intervención del puente sobre el caño el zapatero a la entrada de la escuela naval almirante padilla*. Cartagena: Repositorio Institucional.
- Soltani, N., Tavakkoli, N., Kashani, M. K., Mosavizadeh, A., Oguzie, E., & Jalali, M. (2014). Silybum marianum extract as a natural source inhibitor for 304 stainless steel corrosion in 1.0 M HCl. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 3217–3227.
- Suarez, M. (2012). *Interaprendizaje de Probabilidades y estadística inferencial con Excel, Win STATS y GRAPH*. Ibarra-Ecuador: Imprenta offsced M&B .
- Tae, S.-H. (2012). Corrosion inhibition of steel in concrete with natural inorganic minerals in corrosive environments due to chloride attack. *Construction and Building Materials*, 270–280.
- Tan, K. W., Kassim, M. J., & Oo, C. W. (2012). Possible improvement of catechin as corrosion inhibitor in acidic medium. *Corrosion Science*, 152–162.
- Tang, S., Yao, Y., andrade, C., & Li, Z. (2015). Recent durability studies on concrete structure. *Cement and Concrete Research*, 143-154.
- Tejada, C., Villabona, A., & Villabona, Y. P. (2012). Modelo de difusión de cloruros en probetas cilíndricas de hormigón armado sumergidas en agua sintética. *rev.ion.* 26(1), 55-62.
- Torres Acosta, A. (Julio de 2007). Consecuencias estructurales de la corrosión en el acero de refuerzo del concreto. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería del Zulia*. Maracaibo, Venezuela.
- Umoren, S., Obot, I., Ebenso, E., & Obi-Egbedi, N. (2009). The Inhibition of aluminium corrosion in hydrochloric acid solution by exudate gum from *Raphia hookeri*. *Desalination*, 561–572.

- Umoren, S., Ogbobe, O., Igwe, I., & Ebenso, E. (2008). Inhibition of mild steel corrosion in acidic medium using synthetic and naturally occurring polymers and synergistic halide additives. *Corrosion Science*, 1998–2006.
- Universia Colombia. (29 de Agosto de 2013). *noticias.universia*. Obtenido de *noticias.universia*:  
<http://noticias.universia.net.co/actualidad/noticia/2013/08/29/1045848/mas-26-mil-millones-pesos-pierde-industria-colombiana-debido-corrosion-materiales.html>
- Universidad Nacional de Colombia. (Agosto de 2011). *virtual.unal*. Obtenido de *virtual.unal*:  
[http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2023293/und\\_2/pdf/afiche\\_corrosion.pdf](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2023293/und_2/pdf/afiche_corrosion.pdf)
- Vaamonde, A. J., & González, J. J. (2001). *Ciencia e ingeniería de la superficie de los materiales metálicos*. España: CSIC.
- valdez, A. C., & Rodriguez, M. R. (2014). Las pérdidas económicas causadas por el fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado. *CENIC Ciencias Químicas*, 52-59.
- Valek, L., & Martinez, S. (2007). Copper corrosion inhibition by Azadirachta indica leaves extract in 0.5 M sulphuric acid. *Materials Letters*, 148–151.
- Vilela, A., & Ravetta, D. (2005). Gum exudation in South-American species of Prosopis L.(Mimosaceae). *Journal of Arid Environments*, 389–395.
- Yaro, A. S., Khadom, A. A., & Wael, R. K. (2013). Apricot juice as green corrosion inhibitor of mild steel in phosphoric acid. *Alexandria Engineering Journal*, 129–135.
- Zaferani, S. H., Sharifi, M., Zaarei, D., & Shishesaz, M. R. (2013). Application of eco-friendly products as corrosion inhibitors for metals in acid pickling processes – A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 652–657.
- Zucchi, F. (1985). Plant extracts as corrosion inhibitors of mild steel in HCl solutions. *Surface Technology*, 391-399.

## ANEXOS

### ANEXO 1

#### PARÁMETROS CLIMATOLÓGICOS REGISTRADOS DURANTE EL TIEMPO DE EXPOSICIÓN DE LAS MUESTRAS DE INTEMPERISMO

<b>Día</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Viento (km/h)</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Presión (hPa)</b>	<b>Lluvia (mm)</b>
19-ene	26	20	79	1011	
20-ene	26	24	74	1010	
21-ene	26	15	79	1010	
22-ene	27	11	79	1010	
23-ene	25	13	83	1010	
24-ene	27	13	84	1012	
25-ene	26	17	79	1012	
26-ene	25	6	83	1010	
27-ene	24	4	79	1010	
28-ene	27	17	84	1009	
29-ene	27	17	79	1012	
30-ene	27	19	84	1011	
31-ene	30	7	89	1010	
01-feb	26	15	84	1010	
02-feb	26	13	84	1010	0,29
03-feb	26	6	89	1009	
04-feb	27	6	79	1008	
05-feb	26	24	79	1012	0,57
06-feb	27	19	79	1011	
07-feb	27	17	84	1011	0,52
08-feb	27	22	89	1010	0,71
09-feb	27	22	84	1011	
10-feb	27	19	84	1011	
11-feb	27	19	84	1010	0,23
12-feb	26	7	79	1009	
13-feb	26	22	84	1008	
14-feb	26	7	84	1007	
15-feb	27	15	89	1006	
16-feb	27	15	89	1006	



17-feb	27	15	84	1007	
18-feb	27	11	89	1008	
19-feb	27	17	79	1010	
20-feb	26	24	74	1010	
21-feb	26	24	84	1006	
22-feb	26	13	84	1008	
23-feb	26	15	89	1006	
24-feb	27	7	84	1008	
25-feb	27	19	84	1011	
26-feb	26	15	89	1011	
27-feb	27	4	79	1008	
28-feb	27	19	79	1008	
29-feb	26	11	84	1009	
01-mar	27	7	89	1009	
02-mar	26	11	84	1010	
03-mar	27	17	79	1009	
04-mar	27	17	79	1010	
05-mar	27	19	79	1012	
06-mar	26	19	84	1012	
07-mar	26	19	84	1012	
08-mar	27	15	84	1012	
09-mar	27	6	79	1009	
10-mar	26	6	79	1009	
11-mar	26	7	74	1011	
12-mar	26	20	79	1010	
13-mar	26	11	89	1011	
14-mar	30	13	83	1010	
15-mar	26	20	89	1010	
16-mar	27	19	84	1010	
17-mar	27	19	84	1008	
18-mar	27	15	84	1009	
19-mar	27	7	89	1009	
20-mar	26	7	89	1009	
21-mar	26	9	89	1009	
22-mar	27	15	84	1010	
23-mar	27	7	84	1009	
24-mar	25	4	94	1008	
25-mar	27	7	84	1008	
26-mar	26	4	89	1007	

27-mar	27	7	89	1009	
28-mar	31	15	79	1011	
29-mar	31	15	84	1011	
30-mar	27	15	84	1009	
31-mar	27	11	89	1011	
01-abr	27	7	89	1012	
02-abr	28	15	84	1010	
03-abr	28	15	84	1011	
04-abr	27	7	84	1010	
05-abr	27	15	89	1011	
06-abr	27	11	84	1010	
07-abr	27	22	84	1009	
08-abr	28	22	84	1009	
09-abr	28	26	84	1009	
10-abr	27	19	89	1008	
11-abr	27	15	84	1010	
12-abr	27	15	79	1010	
13-abr	27	11	79	1012	
14-abr	27	20	84	1011	
15-abr	27	19	84	1007	
16-abr	28	22	89	1008	
17-abr	28	9	84	1009	
18-abr	28	22	84	1009	5,4
19-abr	28	22	84	1010	2,8
20-abr	28	19	89	1008	
21-abr	28	19	89	1009	0,15
22-abr	28	6	75	1008	0,59
23-abr	29	7	89	1009	0,16
24-abr	28	7	84	1009	
25-abr	28	11	84	1009	0,08
26-abr	27	7	94	1008	0,08
27-abr	28	7	89	1008	2,05
<b>Promedio</b>	26,93	14,05	83,93	1009,52	-

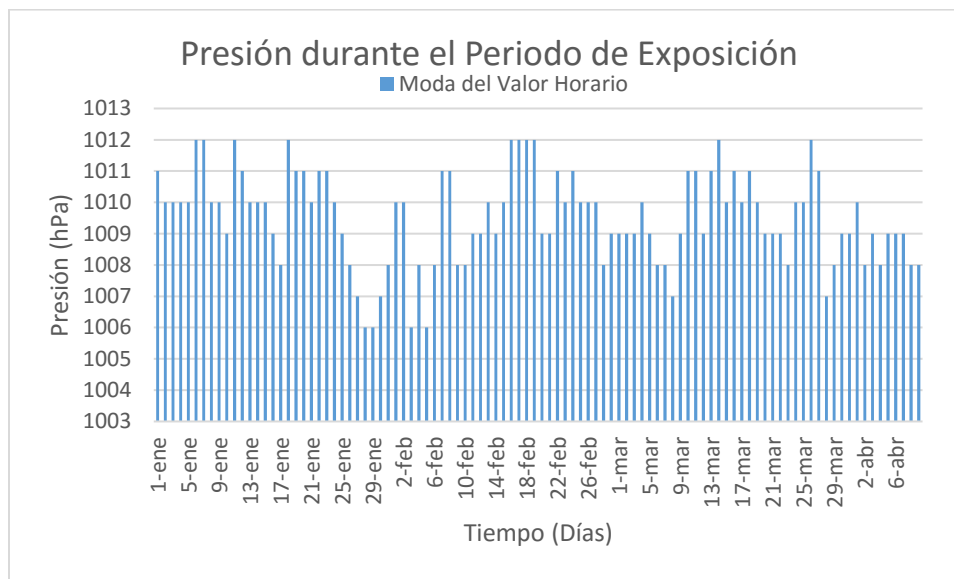
Registro de históricos METAR en la estación meteorológica:

Icao (OACI): **SKCG**

Nombre estación: **Cartagena / Rafael Nuñez**

Latitud: **10.45**

Longitud: **-75.51667**



ANEXO 2: REGISTRO DE PESO DE LAS MUESTRAS.

Tiempo (días)/ # Muestra	Variación de la masa (%)					Pérdida de peso (%)
	0	8	38	73	99	100
	Fecha	19/01/16	27/01/16	26/02/16	01/04/16	pérdida de peso
	Fecha	27/01/16	26/02/16	01/04/16	27/04/16	28/04/16
<b>I-B-1</b>		0.10	0.40	0.77	0.82	-2.48
<b>I-B-2</b>		0.10	0.42	0.85	0.95	-2.40
<b>I-B-3</b>		0.09	0.37	0.71	0.94	-2.40
<b>Promedio</b>	<b>0</b>	<b>0.10</b>	<b>0.40</b>	<b>0.78</b>	<b>0.90</b>	<b>-2.43</b>
<b>I-1-2</b>		0.07	0.40	0.89	1.13	-2.24
<b>I-2-2</b>		0.08	0.42	0.92	1.05	-2.21
<b>I-3-2</b>		0.07	0.32	0.53	0.59	-1.00
<b>Promedio</b>	<b>0</b>	<b>0.07</b>	<b>0.38</b>	<b>0.78</b>	<b>0.92</b>	<b>-1.82</b>
<b>I-4-5</b>		0.05	0.35	0.65	0.77	-1.87
<b>I-5-5</b>		0.05	0.30	0.56	0.79	-1.22
<b>I-6-5</b>		0.05	0.28	2.19	0.66	-1.58
<b>Promedio</b>	<b>0</b>	<b>0.05</b>	<b>0.31</b>	<b>0.60</b>	<b>0.74</b>	<b>-1.56</b>
<b>I-7-10</b>		0.03	0.30	0.68	0.79	-1.55
<b>I-8-10</b>		0.03	0.30	0.56	0.58	-1.25
<b>I-9-10</b>		0.03	0.24	0.44	0.51	-1.47





<b>Promedio</b>	<b>0</b>	<b>0.03</b>	<b>0.28</b>	<b>0.56</b>	<b>0.63</b>	<b>-1.43</b>
<b>I-10-20</b>		0.02	0.25	0.71	0.76	-1.76
<b>I-11-20</b>		0.03	0.20	0.40	0.50	-0.74
<b>I-12-20</b>		0.02	0.21	0.51	0.69	-1.07
<b>Promedio</b>	<b>0</b>	<b>0.02</b>	<b>0.22</b>	<b>0.54</b>	<b>0.65</b>	<b>-1.41</b>
<b>I-13-33,33</b>		0.00	0.14	0.30	0.38	-1.35
<b>I-14-33,33</b>		0.01	0.15	0.25	0.31	-1.19
<b>I-15-33,33</b>		0.00	0.11	0.22	0.28	-1.36
<b>Promedio</b>		<b>0.00</b>	<b>0.13</b>	<b>0.26</b>	<b>0.32</b>	<b>-1.30</b>
Valores eliminados por presentar una desviación elevada con respecto al promedio						

# Muestra	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Pérdida de peso (g)	Pérdida de peso (%)
I-B-1	24.89770	24.27973	0.618	2.48%
I-B-2	25.05326	24.45189	0.601	2.40%
I-B-3	25.32237	24.71574	0.607	2.40%
I-1-2	25.17309	24.60854	0.565	2.24%
I-2-2	24.81605	24.26640	0.550	2.21%
I-3-2	25.28818	25.03650	0.252	1.00%
I-4-5	25.88310	25.39964	0.483	1.87%
I-5-5	25.56904	25.25627	0.313	1.22%
I-6-5	24.59562	24.20587	0.390	1.58%
I-7-10	24.77150	24.38715	0.384	1.55%
I-8-10	26.83642	26.49998	0.336	1.25%
I-9-10	26.34124	25.95325	0.388	1.47%
I-10-20	26.16604	25.70649	0.460	1.76%
I-11-20	25.26070	25.07255	0.188	0.74%
I-12-20	25.01551	24.74839	0.267	1.07%
I-13-33,33	26.43037	26.07425	0.356	1.35%
I-14-33,33	26.83414	26.51425	0.320	1.19%
I-15-33,33	24.57617	24.24192	0.334	1.36%

ANEXO 3: CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN

Muestra	Longitud (mm)	Área superficial (cm <sup>2</sup> )	Tiempo (horas)	Velocidad de corrosión (mg/cm <sup>2</sup> *h)
I-B-1	25	10.767	2400	0.0239
I-B-2	25.1	10.802	2400	0.0232
I-B-3	24.5	10.591	2400	0.0239
Promedio				0.0237
I-1-2	25.03	10.779	2400	0.0218
I-2-2	24.50	10.591	2400	0.0216
I-3-2	25.23	10.849	2400	0.0097
Promedio				0.0177
I-4-5	25.90	11.084	2400	0.0182
I-5-5	25.57	10.966	2400	0.0119
I-6-5	24.57	10.614	2400	0.0153
Promedio				0.0151
I-7-10	24.90	10.732	2400	0.0149
I-8-10	26.87	11.424	2400	0.0123
I-9-10	26.43	11.271	2400	0.0143
Promedio				0.0138
I-10-20	26.27	11.213	2400	0.0171
I-11-20	25.07	10.790	2400	0.0073
I-12-20	25.07	10.790	2400	0.0103
Promedio				0.0116
I-13-33,33	26.20	11.189	2400	0.0133
I-14-33,33	26.97	11.459	2400	0.0116
I-15-33,33	24.57	10.614	2400	0.0131
Promedio				0.0127



ANEXO 4: MEDICIONES CON MEDIA CELDA DE CU/CUSO<sub>4</sub>

Distancia desde la parte superior	Fecha:	22 de Enero		28 de enero		8 de febrero		17 de Febrero		26 de Febrero		8 de Marzo	
	Probeta	Voltaje		Voltaje		Voltaje		Voltaje		Voltaje		Voltaje	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
20cm	C-B-1	-0,508	-0,5	-0,469	-0,462	-0,46	-0,451	-0,455	-0,451	-0,447	-0,433	-0,446	-0,441
40cm		-0,51	-0,496	-0,454	-0,453	-0,452	-0,445	-0,449	-0,445	-0,446	-0,429	-0,445	-0,432
60 cm		-0,499	-0,502	-0,461	-0,459	-0,452	-0,446	-0,449	-0,444	-0,446	-0,429	-0,447	-0,436
20cm	C-B-2	-0,553	-0,538	-0,481	-0,471	-0,467	-0,453	-0,463	-0,451	-0,46	-0,446	-0,457	-0,445
40cm		-0,541	-0,524	-0,482	-0,477	-0,463	-0,459	-0,459	-0,459	-0,461	-0,442	-0,457	-0,45
60 cm		-0,531	-0,498	-0,47	-0,451	-0,456	-0,437	-0,453	-0,439	-0,455	-0,445	-0,453	-0,438
20cm	C-1-2	-0,556	-0,551	-0,494	-0,489	-0,477	-0,471	-0,469	-0,462	-0,472	-0,461	-0,46	-0,447
40cm		-0,536	-0,522	-0,476	-0,471	-0,466	-0,458	-0,463	-0,46	-0,467	-0,463	-0,468	-0,459
60 cm		-0,543	-0,531	-0,478	-0,475	-0,467	-0,458	-0,466	-0,459	-0,466	-0,458	-0,467	-0,455
20cm	C-2-2	-0,532	-0,51	-0,473	-0,449	-0,436	-0,412	-0,434	-0,407	-0,44	-0,393	-0,427	-0,385
40cm		-0,552	-0,546	-0,48	-0,464	-0,45	-0,426	-0,438	-0,413	-0,426	-0,383	-0,411	-0,373
60 cm		-0,534	-0,514	-0,474	-0,457	-0,445	-0,419	-0,438	-0,408	-0,427	-0,386	-0,416	-0,376
20cm	C-3-2	-0,53	-0,521	-0,471	-0,463	-0,455	-0,429	-0,452	-0,418	-0,322	-0,409	-0,422	-0,384
40cm		-0,544	-0,537	-0,482	-0,468	-0,459	-0,434	-0,454	-0,423	-0,323	-0,41	-0,423	-0,387
60 cm		-0,542	-0,532	-0,484	-0,471	-0,458	-0,435	-0,451	-0,422	-0,326	-0,408	-0,415	-0,373
20cm	C-4-5	-0,552	-0,558	-0,511	-0,525	-0,483	-0,484	-0,475	-0,468	-0,444	-0,317	-0,455	-0,451
40cm		-0,538	-0,539	-0,508	-0,51	-0,48	-0,482	-0,483	-0,48	-0,454	-0,319	-0,449	-0,452
60 cm		-0,54	-0,541	-0,505	-0,508	-0,487	-0,486	-0,474	-0,474	-0,44	-0,314	-0,45	-0,445
20cm	C-5-5	-0,555	-0,548	-0,522	-0,505	-0,488	-0,472	-0,479	-0,465	-0,458	-0,443	-0,456	-0,444
40cm		-0,554	-0,541	-0,516	-0,504	-0,49	-0,48	-0,478	-0,468	-0,458	-0,443	-0,459	-0,445
60 cm		-0,564	-0,557	-0,521	-0,512	-0,488	-0,473	-0,475	-0,459	-0,458	-0,438	-0,461	-0,445
20cm	C-6-5	-0,568	-0,555	-0,507	-0,492	-0,467	-0,455	-0,452	-0,442	-0,413	-0,402	-0,395	-0,394
40cm		-0,536	-0,516	-0,49	-0,482	-0,461	-0,456	-0,452	-0,45	-0,419	-0,415	-0,409	-0,42
60 cm		-0,551	-0,547	-0,479	-0,465	-0,462	-0,433	-0,445	-0,416	-0,413	-0,471	-0,402	-0,37
20cm	C-7-10	-0,585	-0,575	-0,502	-0,492	-0,479	-0,472	-0,473	-0,465	-0,46	-0,44	-0,46	-0,44
40cm		-0,587	-0,574	-0,505	-0,49	-0,482	-0,471	-0,476	-0,468	-0,46	-0,444	-0,459	-0,447
60 cm		-0,577	-0,556	-0,499	-0,486	-0,481	-0,469	-0,477	-0,467	-0,455	-0,446	-0,464	-0,456
20cm	C-8-10	-0,578	-0,556	-0,521	-0,497	-0,491	-0,476	-0,48	-0,467	-0,46	-0,446	-0,456	-0,438
40cm		-0,587	-0,572	-0,517	-0,502	-0,487	-0,468	-0,479	-0,459	-0,453	-0,433	-0,449	-0,432
60 cm		-0,589	-0,567	-0,504	-0,481	-0,49	-0,467	-0,482	-0,461	-0,462	-0,449	-0,459	-0,439
20cm	C-9-10	-0,552	-0,544	-0,511	-0,504	-0,487	-0,469	-0,479	-0,461	-0,461	-0,44	-0,462	-0,442



40cm		-0,559	-0,546	-0,505	-0,496	-0,482	-0,471	-0,478	-0,467	-0,455	-0,45	-0,468	-0,455
60 cm		-0,582	-0,564	-0,5	-0,489	-0,485	-0,471	-0,48	-0,465	-0,457	-0,445	-0,464	-0,443
20cm	C-10-20	-0,569	-0,562	-0,506	-0,497	-0,486	-0,476	-0,483	-0,473	-0,468	-0,451	-0,45	-0,44
40cm		-0,584	-0,569	-0,512	-0,495	-0,49	-0,477	-0,485	-0,469	-0,464	-0,45	-0,456	-0,441
60 cm		-0,584	-0,562	-0,518	-0,496	-0,494	-0,474	-0,488	-0,47	-0,465	-0,45	-0,465	-0,449
20cm	C-11-20	-0,577	-0,56	-0,504	-0,49	-0,485	-0,474	-0,477	-0,466	-0,452	-0,444	-0,453	-0,438
40cm		-0,573	-0,56	-0,501	-0,483	-0,486	-0,475	-0,479	-0,465	-0,456	-0,444	-0,453	-0,436
60 cm		-0,565	-0,548	-0,49	-0,483	-0,477	-0,467	-0,472	-0,464	-0,453	-0,446	-0,451	-0,441
20cm	C-12-20	-0,565	-0,545	-0,507	-0,481	-0,48	-0,463	-0,473	-0,454	-0,451	-0,437	-0,443	-0,42
40cm		-0,564	-0,539	-0,504	-0,486	-0,481	-0,47	-0,475	-0,465	-0,454	-0,448	-0,452	-0,436
60 cm		-0,561	-0,541	-0,5	-0,485	-0,479	-0,464	-0,476	-0,466	-0,454	-0,445	-0,452	-0,434
20cm	C-13-33.3	-0,585	-0,574	-0,52	-0,508	-0,511	-0,498	-0,49	-0,478	-0,475	-0,452	-0,45	-0,44
40cm		-0,58	-0,57	-0,519	-0,508	-0,504	-0,493	-0,494	-0,484	-0,46	-0,459	-0,454	-0,445
60 cm		-0,584	-0,573	-0,521	-0,515	-0,498	-0,488	-0,491	-0,481	-0,461	-0,447	-0,451	-0,435
20cm	C-14-33.3	-0,592	-0,577	-0,511	-0,496	-0,501	-0,49	-0,48	-0,47	-0,453	-0,443	-0,448	-0,44
40cm		-0,591	-0,579	-0,522	-0,51	-0,496	-0,486	-0,471	-0,461	-0,449	-0,435	-0,443	-0,431
60 cm		-0,585	-0,565	-0,516	-0,502	-0,494	-0,485	-0,471	-0,465	-0,446	-0,439	-0,438	-0,432
20cm	C-15-33.3	-0,56	-0,547	-0,502	-0,485	-0,472	-0,459	-0,454	-0,44	-0,422	-0,417	-0,417	-0,403
40cm		-0,561	-0,544	-0,506	-0,485	-0,493	-0,474	-0,476	-0,455	-0,454	-0,445	-0,448	-0,436
60 cm		-0,584	-0,554	-0,511	-0,492	-0,505	-0,494	-0,484	-0,47	-0,463	-0,454	-0,46	-0,444

Distancia desde la parte superior	Fecha:	18 de Marzo		28 de Marzo		11 de Abril		18 de abril		12 de mayo	
	Probeta	Voltaje		Voltaje		Voltaje		Voltaje		Voltaje	
	Lado	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
20cm	C-B-1	-0,453	-0,443	-0,45	-0,426	-0,438	-0,422	-0,446	-0,425	-0,429	-0,412
40cm		-0,453	-0,44	-0,454	-0,424	-0,442	-0,413	-0,449	-0,417	-0,448	-0,413
60 cm		-0,452	-0,447	-0,452	-0,419	-0,436	-0,412	-0,444	-0,417	-0,436	-0,406
20cm	C-B-2	-0,46	-0,443	-0,455	-0,428	-0,435	-0,422	-0,444	-0,425	-0,424	-0,409
40cm		-0,46	-0,45	-0,463	-0,439	-0,44	-0,423	-0,451	-0,423	-0,432	-0,411
60 cm		-0,449	-0,442	-0,459	-0,433	-0,439	-0,432	-0,451	-0,436	-0,438	-0,433
20cm	C-1-2	-0,467	-0,462	-0,456	-0,396	-0,433	-0,418	-0,432	-0,416	-0,404	-0,388
40cm		-0,462	-0,452	-0,461	-0,405	-0,452	-0,431	-0,447	-0,43	-0,428	-0,41
60 cm		-0,468	-0,457	-0,458	-0,41	-0,451	-0,433	-0,442	-0,433	-0,431	-0,419
20cm	C-2-2	-0,428	-0,382	-0,443	-0,364	-0,39	-0,332	-0,396	-0,34	-0,374	-0,316
40cm		-0,415	-0,385	-0,415	-0,361	-0,398	-0,343	-0,402	-0,353	-0,379	-0,326
60 cm		-0,42	-0,382	-0,41	-0,362	-0,378	-0,328	-0,378	-0,325	-0,353	-0,303
20cm	C-3-2	-0,428	-0,381	-0,424	-0,366	-0,396	-0,343	-0,411	-0,357	-0,377	-0,331
40cm		-0,426	-0,383	-0,413	-0,358	-0,393	-0,342	-0,406	-0,357	-0,382	-0,34



60 cm		-0,417	-0,371	-0,406	-0,348	-0,379	-0,323	-0,384	-0,335	-0,358	-0,311
20cm	C-4-5	-0,457	-0,451	-0,445	-0,328	-0,427	-0,392	-0,427	-0,42	-0,416	-0,411
40cm		-0,447	-0,448	-0,432	-0,324	-0,417	-0,403	-0,42	-0,419	-0,411	-0,41
60 cm		-0,45	-0,456	-0,434	-0,33	-0,4423	-0,416	-0,428	-0,427	-0,422	-0,423
20cm	C-5-5	-0,459	-0,445	-0,452	-0,328	-0,4	-0,416	-0,427	-0,41	-0,414	-0,404
40cm		-0,463	-0,447	-0,456	-0,332	-0,405	-0,419	-0,43	-0,416	-0,426	-0,409
60 cm		-0,466	-0,449	-0,46	-0,334	-0,408	-0,425	-0,435	-0,422	-0,426	-0,414
20cm	C-6-5	-0,397	-0,39	-0,383	-0,373	-0,348	-0,349	-0,349	-0,349	-0,321	-0,326
40cm		-0,403	-0,41	-0,387	-0,388	-0,363	-0,38	-0,363	-0,376	-0,354	-0,378
60 cm		-0,401	-0,368	-0,387	-0,354	-0,362	-0,306	-0,364	-0,317	-0,397	-0,292
20cm	C-7-10	-0,465	-0,441	-0,441	-0,4	-0,394	-0,371	-0,398	-0,373	-0,381	-0,361
40cm		-0,462	-0,446	-0,442	-0,417	-0,405	-0,397	-0,41	-0,389	-0,385	-0,371
60 cm		-0,47	-0,459	-0,46	-0,432	-0,429	-0,421	-0,431	-0,42	-0,407	-0,398
20cm	C-8-10	-0,46	-0,437	-0,432	-0,406	-0,407	-0,389	-0,409	-0,394	-0,403	-0,393
40cm		-0,448	-0,427	-0,429	-0,402	-0,406	-0,391	-0,408	-0,392	-0,396	-0,385
60 cm		-0,456	-0,434	-0,438	-0,408	-0,409	-0,388	-0,405	-0,383	-0,396	-0,382
20cm	C-9-10	-0,462	-0,446	-0,452	-0,431	-0,428	-0,409	-0,424	-0,409	-0,411	-0,387
40cm		-0,476	-0,463	-0,467	-0,448	-0,446	-0,434	-0,438	-0,426	-0,421	-0,41
60 cm		-0,461	-0,43	-0,46	-0,43	-0,434	-0,406	-0,425	-0,409	-0,408	-0,389
20cm	C-10-20	-0,436	-0,435	-0,427	-0,421	-0,403	-0,398	-0,404	-0,4	-0,39	-0,38
40cm		-0,452	-0,44	-0,44	-0,437	-0,417	-0,403	-0,408	-0,395	-0,398	-0,39
60 cm		-0,461	-0,45	-0,449	-0,35	-0,423	-0,413	-0,416	-0,402	-0,403	-0,4
20cm	C-11-20	-0,451	-0,437	-0,434	-0,419	-0,408	-0,397	-0,389	-0,383	-0,4	-0,39
40cm		-0,45	-0,435	-0,434	-0,418	-0,415	-0,402	-0,4	-0,391	-0,402	-0,395
60 cm		-0,446	-0,432	-0,432	-0,414	-0,415	-0,398	-0,407	-0,401	-0,403	-0,394
20cm	C-12-20	-0,446	-0,427	-0,426	-0,398	-0,39	-0,376	-0,389	-0,367	-0,388	-0,378
40cm		-0,447	-0,437	-0,436	-0,422	-0,411	-0,396	-0,407	-0,398	-0,41	-0,4
60 cm		-0,451	-0,441	-0,434	-0,419	-0,414	-0,401	-0,418	-0,405	-0,417	-0,405
20cm	C-13-33.3	-0,446	-0,438	-0,431	-0,415	-0,412	-0,396	-0,415	-0,399	-0,416	-0,403
40cm		-0,443	-0,449	-0,441	-0,434	-0,428	-0,422	-0,422	-0,415	-0,431	-0,423
60 cm		-0,445	-0,438	-0,443	-0,422	-0,429	-0,402	-0,424	-0,406	-0,431	-0,408
20cm	C-14-33.3	-0,449	-0,438	-0,442	-0,424	-0,432	-0,35	-0,426	-0,413	-0,431	-0,416
40cm		-0,448	-0,435	-0,444	-0,425	-0,429	-0,356	-0,421	-0,406	-0,423	-0,405
60 cm		-0,446	-0,438	-0,44	-0,428	-0,425	-0,415	-0,418	-0,404	-0,421	-0,412
20cm	C-15-33.3	-0,399	-0,392	-0,386	-0,374	-0,357	-0,354	-0,363	-0,351	-0,362	-0,355
40cm		-0,437	-0,438	-0,424	-0,415	-0,394	-0,392	-0,403	-0,39	-0,397	-0,392
60 cm		-0,45	-0,435	-0,437	-0,421	-0,409	-0,393	-0,407	-0,386	-0,398	-0,383

ANEXO 5 PRUEBA ESCLEROMETRO

Muestra	Resistencia (PSI)
<b>C-B-1</b>	3008.00
<b>C-B-2</b>	2960.00
<b>Promedio</b>	<b>2984.00</b>
<b>C-1-2</b>	2950.00
<b>C-2-2</b>	3132.00
<b>C-3-2</b>	3080.00
<b>Promedio</b>	<b>3054.00</b>
<b>C-4-5</b>	2960.00
<b>C-5-5</b>	2960.00
<b>C-6-5</b>	2960.00
<b>Promedio</b>	<b>2960.00</b>
<b>C-7-10</b>	3073.00
<b>C-8-10</b>	3036.00
<b>C-9-10</b>	2960.00
<b>Promedio</b>	<b>3023.00</b>
<b>C-10-20</b>	3008.00
<b>C-11-20</b>	3036.00
<b>C-12-20</b>	3008.00
<b>Promedio</b>	<b>3017.33</b>
<b>C-13-33,33</b>	2964.00
<b>C-14-33,33</b>	3008.00
<b>C-15-33,33</b>	2964.00
<b>Promedio</b>	<b>2978.67</b>