

TRABAJO DE GRADO  
Para optar por el título de  
Ingeniero civil



## EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL EXUDADO DE *CEDRELA ODORATA LINNAEUS* (CEDRO) ADICIONADO EN LA MATRIZ DEL CONCRETO REFORZADO, EN LA PENETRACIÓN DE LOS CLORUROS Y EN EL PROCESO DE CORROSIÓN DEL ACERO

Castillo Mercado F. & Ramírez Arenilla B.



**Universidad  
de Cartagena**  
Fundada en 1827



Acreditación institucional de alta calidad

Resolución 2583 del 26 de febrero de 2014. Ministerio de Educación Nacional

Facultad de ingeniería - Programa de Ingeniería Civil | Cartagena de Indias 2018

**NOTA DE ACEPTACION**

*Felicitaciones!!*

---

---

---

---

---

---

---



Firma del director  
**MODESTO BARRIOS FONTALVO**



Firma del jurado  
**EDGARE QUIÑONEZ BOLAÑOS**



Firma del jurado  
**WALBERTO RIVERA MARTINEZ**

**EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL EXUDADO DE *CEDRELA ODORATA*  
*LINNAEUS* (*CEDRO*) ADICIONADO EN LA MATRIZ DEL CONCRETO  
REFORZADO EN LA PENETRACIÓN DE LOS CLORUROS Y EN EL PROCESO  
DE CORROSIÓN DEL ACERO.**

**FIDEL ELIAS CASTILLO MERCADO  
BREINER RAMIREZ ARENILLA**



**Universidad  
de Cartagena**  
Fundada en 1827



Acreditación institucional de alta calidad  
Resolución 2583 del 26 de febrero de 2014. Ministerio de Educación Nacional

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
CARTAGENA DE INDIAS, 2018**

**EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL EXUDADO DE *CEDRELA ODORATA*  
*LINNAEUS (CEDRO)* ADICIONADO EN LA MATRIZ DEL CONCRETO  
REFORZADO EN LA PENETRACIÓN DE LOS CLORUROS Y EN EL PROCESO  
DE CORROSIÓN DEL ACERO.**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL



**FIDEL ELIAS CASTILLO MERCADO  
BREINER RAMIREZ ARENILLA**  
Autores

**MODESTO BARRIOS FONTALVO**  
Director

**CANDELARIA TEJADA TOVAR**  
Co-directora

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
CARTAGENA DE INDIAS, 2018**

## DEDICATORIA

*Gracias a mis padres por dejarme frases como aquellas que revolotean aun por mi mente, por su amor incondicional y por todos los momentos vividos. Este triunfo es gracias a ustedes.*

- *Castillo Mercado F.*

*Dedicado a mis padres y hermanos. Porque sus manos jamás me mostrarán egoísmo, y su amor nunca será parte de mis carencias.*

*Los amo.*

- *Ramírez Arenilla B.*

## AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial al señor *Juan de Jesús Montenegro*, laboratorista de geotecnia y materiales, y una de las mejores personas que existe, de las que mueven el mundo con su amabilidad y empatía. Gracias por su ayuda, que en tiempos difíciles fue enorme.

Agradecimiento a nuestro evaluador *Edgar Quiñonez Bolaños*, por sus buenos consejos y correcciones que ayudaron a mejorar este trabajo. A nuestro amigo y colega Ingeniero *Jose Faustino España Moratto*, por toda su ayuda incondicional. Igualmente a nuestro director *Modesto Barrios Fontalvo*

Gracias a nuestra alma mater, la Universidad de Cartagena, por acogernos y formarnos como profesionales íntegros, especialmente al programa de ingeniería civil y la planta de ingenieros que fueron nuestra guía y modelos a seguir, a través de su labor de docencia.

Gracias a todas esas personas que lo hicieron posible, a nuestros familiares y amigos, los cuales fueron nuestra base para alcanzar esta meta. El apoyo que recibimos es simplemente inmejorable.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	5
ABSTRACT .....	6
INTRODUCCIÓN .....	7
1. MARCO REFERENCIAL.....	11
1.1. ANTECEDENTES .....	11
1.2. ESTADO DEL ARTE .....	17
1.3. MARCO TEORICO .....	22
1.3.1. Concreto simple .....	22
1.3.2. Concreto reforzado .....	24
1.3.3. Características de los materiales del concreto .....	25
1.3.4. Corrosión .....	30
1.3.5. Corrosión en el acero del concreto reforzado .....	31
1.3.6. Ingreso de los cloruros en el hormigón.....	32
1.3.7. Ciclos de humectación – secado .....	34
1.3.8. Mecanismos de protección contra la corrosión del acero en el concreto reforzado ..	35
1.3.9. Exudados Gomosos.....	35
1.3.10. Cedrela Odorata Linnaeus .....	36
1.3.11. Acoplamiento cromatografía de gases- espectrometría de masas (GC-MS) .....	41
1.4. NORMATIVA .....	42
2. OBJETIVOS .....	44
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	44
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	44
3. ALCANCE.....	45
4. METODOLOGÍA.....	48
4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	48
4.2. VARIABLES .....	50
4.3. EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS.....	50
4.3.1. Obtención del exudado de C. Odorata L.....	52
4.4. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	52
4.4.1. Muestras.....	53
4.4.2. Pruebas preliminares.....	54
4.4.3. Diseño experimental definitivo.....	59



4.4.4.	Cantidad de muestras y montajes experimentales .....	59
4.5.	MÉTODOS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	64
4.5.1.	Composición química y característica reológicas del exudado .....	64
4.5.2.	Profundidad de penetración de cloruros .....	66
4.5.3.	Probabilidad de corrosión del acero.....	69
4.5.4.	Pruebas de asentamiento de mezcla de concreto .....	71
4.5.5.	Ensayos de resistencia a la compresión .....	72
5.	RESULTADOS ANÁLISIS Y DISCUSIÓN .....	74
5.1.	COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CARACTERÍSTICAS REOLOGICAS DEL EXUDADO DEL CEDRO .....	75
5.2.	PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN DE CLORUROS .....	79
5.3.	PROBABILIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO.....	83
5.4.	ASENTAMIENTO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO.....	87
5.5.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO .....	88
6.	CONCLUSIONES .....	93
7.	RECOMENDACIONES.....	95
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	96
	ANEXOS .....	104



## TABLAS

<b>Tabla 1</b> Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación .....	23
<b>Tabla 2</b> Ventajas y desventajas del concreto. ....	24
<b>Tabla 3</b> Límites de Iones cloruro para construcciones nuevas según norma NSR-10.....	25
<b>Tabla 4</b> Tipos de cementos Portland más comunes .....	26
<b>Tabla 5</b> Granulometría para agregado fino - (NTC 174) .....	27
<b>Tabla 6.</b> Granulometría del agregado grueso - (NTC 174) .....	28
<b>Tabla 7</b> Tolerancias de concentraciones de impurezas en el agua de mezclado.....	29
<b>Tabla 8</b> Relación de variables involucradas, con sus respectivas unidades de medida. ....	50
<b>Tabla 9</b> Herramientas y equipos a emplear en el proyecto.....	51
<b>Tabla 10</b> Materiales necesarios para ejecutar el proyecto.....	51
<b>Tabla 11</b> Relación de factores con su respectiva cantidad de niveles adoptados inicialmente .....	52
<b>Tabla 12</b> Asentamiento de la mezcla de concretos preliminares.....	56
<b>Tabla 13</b> Tiempo de fraguado de la pasta de cemento bajo las distintas adiciones de exudado .....	58
<b>Tabla 14</b> Cantidad definitiva de niveles de los factores involucrados en el proyecto .....	59
<b>Tabla 15</b> Número de muestras para las pruebas de penetración de cloruros y potencial eléctrico. ..	60
<b>Tabla 16</b> Volumen de concreto requerido para las pruebas de asentamientos del concreto .....	63
<b>Tabla 17</b> Número de Probetas para pruebas de resistencia a la compresión del concreto a 28 días .	63
<b>Tabla 18</b> Condiciones y parámetros del análisis cromatográfico .....	65
<b>Tabla 19</b> Concentraciones de exudado en agua para pruebas de viscosidad .....	66
<b>Tabla 20</b> Potencial eléctrico de corrosión en voltios y su relación con los criterios de probabilidad de desarrollo de corrosión en el acero, según la norma ASTM C876. ....	70
<b>Tabla 21</b> Resultados prueba preliminar, ensayo del fraguado de la pasta de cemento .....	74
<b>Tabla 22</b> Información relativa al cronograma obtenido por GC-MS para el exudado C. Olorata L. ....	76
<b>Tabla 23</b> Características de los compuestos: Solubilidad, Olor, Viscosidad.....	77
<b>Tabla 24</b> Porcentaje de Cloruros solubles en agua por peso de concreto de relación a/c=0.55 .....	80
<b>Tabla 25</b> Porcentaje de cloruros solubles en agua por peso de concreto de relación a/c=0.60 .....	82
<b>Tabla 26</b> Potenciales eléctricos de corrosión en Voltios.....	83
<b>Tabla 27</b> Asentamiento del concreto fresco, consistencias de acuerdo a la Tabla 1.....	87
<b>Tabla 28</b> Datos de carga de falla y diámetros de los cilindros en el ensayo de resistencia .....	89
<b>Tabla 29</b> Resultados de resistencia a la compresión del concreto.....	89

## FIGURAS

<b>Figura 1</b> Oxidación del acero en el hormigón por formación de una pila .....	30
<b>Figura 2</b> Tipos de corrosión frecuentes en metales. ....	31
<b>Figura 3.</b> Esquema del fenómeno de la difusión de los iones cloruros .....	33
<b>Figura 4</b> Árbol Cedrela Odorata Lennous (Cedro).....	37
<b>Figura 5</b> Distribución de C. Odorata L. a nivel mundial. ....	37
<b>Figura 6</b> Distribución de C. Odorata L. en Colombia .....	38
<b>Figura 7</b> Características físicas del exudado gomoso de C. Odorata L. ....	39
<b>Figura 8</b> Ubicación finca manzanares en Turbaco - Bolívar. ....	45
<b>Figura 9</b> Proceso metodológico experimental .....	49
<b>Figura 10</b> Proceso de obtención del exudado del Cedro .....	52
<b>Figura 11</b> Probetas con adiciones de exudado Cedro y relación a/c 0.55 después de 24 horas de endurecimiento y 48 horas de curado en agua .....	55
<b>Figura 12</b> Muestras huecas superficialmente de relación a/c 0.50 .....	55
<b>Figura 13</b> Asentamiento Vs % exudado de cedro adicionado en la mezcla .....	56
<b>Figura 14</b> Esquema de las probetas reforzadas para pruebas de potencial eléctrico .....	61
<b>Figura 15</b> Montaje experimental para la humectación de las probetas en solución salina..	61
<b>Figura 16</b> Ciclos de humectación-secado de las probetas de concreto.....	62
<b>Figura 17</b> Sistema de equipos empleados en el análisis cromatográfico.....	65
<b>Figura 18</b> procedimientos del ensayo para determinar la viscosidad .....	66
<b>Figura 19</b> Esquema de la muestra objeto de análisis.....	67
<b>Figura 20</b> Obtención de las muestras pulverizadas de hormigón en las diferentes profundidades .....	68
<b>Figura 21</b> Esquema de medición de potencial eléctrico de corrosión según ASTM C876 .	70
<b>Figura 22</b> Ensayo de asentamiento de las distintas mezclas de concreto .....	71
<b>Figura 23</b> Procedimientos del ensayo de resistencia a la compresión de las probetas de concreto .....	73
<b>Figura 24</b> Picos cromatográficos: abundancias y tiempo de retención .....	75
<b>Figura 25</b> Viscosidad aparente (en cP) en el rango de 0 a 10 (1/s) de la Tasa corte .....	78
<b>Figura 26</b> Viscosidad aparente (en cP) en el rango de 10 a 1000 (1/s) de la Tasa corte .....	79
<b>Figura 27</b> Perfil de penetración de cloruros (relación a/c = 0.55).....	81

<b>Figura 28</b> Perfil de penetración de cloruros (relación a/c = 0.60).....	82
<b>Figura 29</b> Potenciales eléctricos de las muestras según ASTM C876 (Relación a/c = 0.55) .....	85
<b>Figura 30</b> Potenciales eléctricos de las muestras según ASTM C876 (Relación a/c = 0.60) .....	86
<b>Figura 31</b> Asentamiento de las mezclas vs % de exudado adicionado.....	88
<b>Figura 32</b> Resistencia del concreto en psi por adición de exudado .....	90
<b>Figura 33</b> Eficiencia del exudado de Cedro sobre la resistencia a la compresión del concreto .....	91

## RESUMEN

En el presente trabajo, se evaluó la incidencia del exudado gomoso del árbol *Cedrela Odorata Linnaeus (Cedro)* en la penetración de los cloruros y el proceso de corrosión del acero en el concreto reforzado, al adicionar la sustancia en el agua de mezclado en cantidades de 0.3, 0.5, 0.7 y 0.9 % por peso de cemento, bajo relaciones agua/cemento 0.55 y 0.6. Con estas condiciones, se evaluó la manejabilidad de la mezcla con el ensayo de asentamiento y la resistencia a la compresión del concreto a 28 días, como un monitoreo de la preservación de las especificaciones de calidad. A demás, se determinó la composición química y la viscosidad del exudado de *Cedro*, para identificar en este los componentes químicos y propiedades físicas que, según la revisión bibliográfica, actúan contra la corrosión y la penetración de los cloruros en el hormigón. Donde no fue posible encontrar los compuestos a los que se atribuyen mejoras en la corrosión del acero. Dentro de la metodología se realizaron pruebas preliminares para monitorear el fraguado de las muestras de concreto, que en este caso fueron cilindros de 4 pulgadas de diámetro y 8 de altura. La penetración de los cloruros se determinó a través del análisis químico de la cantidad de cloruros solubles en agua del polvillo de concreto extraído a 0.5, 1.0 y 2.0 cm de profundidad de la probeta de acuerdo a ASTM C1218/C1218M, mientras que la probabilidad de corrosión se determinó a través de potenciales eléctricos de acuerdo a ASTM C876. Con todo esto, hubo una favorabilidad en todos los parámetros estudiados al emplear el 0.7 % del exudado para una relación a/c 0.55; con estas condiciones, el contenido de cloruros a la profundidad más cercana al acero fue 0.46 % por peso de concreto contra 0.55 % de la muestra blanco, la probabilidad de corrosión del acero fue del 10% con potenciales mayores a -0.2 Voltios con mayor tiempo de exposición a los cloruros, la manejabilidad de la mezcla aumentó de 3.15 cm de asentamiento en la mezcla blanco a 7.9 cm y la resistencia a la compresión fue mayor en 33.48 % respecto a la muestra blanco.

**PALABRAS CLAVE:** Exudado gomoso, cloruros, relación agua/cemento.

## **ABSTRACT**

In the present work, the incidence of the gummy exudate of the *Cedrela Odorata* Linnaeus tree (Cedro) on the penetration of the chlorides and the steel corrosion process in the reinforced concrete was evaluated, by adding the substance in the mixing water in quantities of 0.3, 0.5, 0.7 and 0.9% by weight of cement, under water / cement ratios 0.55 and 0.6. With these conditions, the manageability of the mixture was evaluated with the settlement test and the compressive strength of the concrete at 28 days, as a monitoring of the preservation of the quality specifications. In addition, the chemical composition and viscosity of the Cedro exudate was determined, in order to identify the chemical components and physical properties that, according to the literature review, act against corrosion and the penetration of chlorides into concrete. Within the methodology, preliminary tests were carried out to monitor the setting of the concrete samples, which in this case were cylinders of 4 inches in diameter and 8 inches in height. Penetration of chlorides was determined through the chemical analysis of the amount of water soluble chlorides of the extracted concrete dust at 0.5, 1.0 and 2.0 cm depth of the specimen according to ASTM C1218 / C1218M, while the probability of Corrosion was determined through electrical potentials according to ASTM C876. The compounds to which improvements in steel corrosion are attributed are not identified. There was a favorability in all the parameters studied when 0.7% of the exudate was used under a / c ratio of 0.55; with these conditions, the chloride content at the depth closest to the steel was 0.46% by weight of concrete against 0.55% of the target sample, the probability of corrosion of the steel was 10% with potentials greater than -0.2 V with greater time of exposure to chlorides, the manageability of the mixture increased from 3.15 cm of settling in the white mixture to 7.9 cm, the compressive strength was higher in 33.48% with respect to the white sample.

**KEY WORDS:** Gummy exudate, chlorides, water / cement ratio.



## INTRODUCCIÓN

El hormigón ha sido un material idóneo a través de la historia en el sector de la construcción gracias a su versatilidad, bajo costo y el buen comportamiento al trabajar de manera eficiente soportando esfuerzos a compresión, a diferencia de cuando es sometido a sollicitaciones de flexión, tracción, cortante y torsión, en dichas condiciones comienza a presentar fisuras y otras fallas mecánicas (Shi, Xie, Fortune, & Gong, 2012) . Por esta razón surgió el material compuesto que es el concreto armado, combinación de hormigón con acero estructural, para hacerle frente a las fallas producidas por las sollicitaciones mecánicas que el concreto por sí solo no podría resistir. Sin embargo, además de sus propiedades mecánicas, hay otros factores importantes como la durabilidad, con la cual se asocia la vida útil de la estructura construida con este material compuesto, en relación con la ubicación y con el nivel de exposición de esta contra agentes contaminantes, donde los fenómenos que primordialmente afectan la durabilidad del concreto por medio de la corrosión del acero y la contaminación del concreto, se deben al ataque de sulfatos, iones cloruros, oxígeno, etc., los cuales se manifiestan con los procesos de deterioro físicos, químicos, biológicos y estructurales, afectando la estética y el servicio de la estructura (Aguirre, Ana; Mejía de Gutiérrez, 2013)

En relación con lo anterior, en términos económicos, se demostró que en los Estados Unidos se pierden 276 billones de dólares anualmente debido a la corrosión, lo cual representa el 4 % del PIB de ese país. En cuanto a Colombia, las pérdidas superan los 26 mil millones de pesos (Universia-Colombia, 2013). Por otro lado, el 18 % del total de los daños por corrosión se producen en la industria de la construcción, teniendo en cuenta que el acero es altamente utilizado tanto como perfiles estructurales de acero, como barras de refuerzo embebido en el hormigón (Paredes, Prieto, & Santos, 2013).

A nivel de Cartagena y de la Región Atlántica, se han hecho numerosos estudios a diferentes estructuras patrimoniales y puentes, evaluando dentro de estos, las afectaciones producidas y la vulnerabilidad de las mismas, a partir de los cuales se han encontrado problemas relacionados con la corrosión y otros procesos patológicos; tal es el caso de estructuras como el claustro de la merced (Limas & Rodríguez, 2015), la iglesia Santo Toribio de Mogrovejo (Bustamante Martelo & Castillo Brieva, 2012), el antiguo club de Cartagena (Pérez del Río & Pardo Pérez, 2014), el puente Román (Bustamante & Gonzales, 2014), entre otras.



En cuanto a los ataques por acción de cloruros, este se presenta generalmente en zonas de cercanía al mar o ambientes marinos, los iones cloruros que se encuentran en el ambiente penetran en el hormigón destruyendo la capa protectora que cubre el acero provocando la interacción electroquímica que genera el proceso de corrosión en el metal (Paredes et al., 2013). Con respecto a los distintos agentes corrosivos, incluyendo los anteriormente mencionados, para prevenir el avance de los daños tanto en la estructura del concreto como en el acero de refuerzo embebido, se debe tener en cuenta que la matriz del hormigón esté libre de cloruros y otros contaminantes, que el recubrimiento de los elementos estructurales tenga el espesor adecuado y que el hormigón tenga una estructura de poros adecuada que favorezca la obtención de una baja permeabilidad (Paredes et al., 2013). En ese sentido, es de tanta importancia y de gran relevancia para la construcción en zonas costeras, la protección de las estructuras contra la corrosión del acero. De modo que, dentro de la rama de la ingeniería es un reto conocer más acerca de los materiales e investigar sustancias amigables con el medio ambiente que inhiban el proceso de corrosión en el concreto reforzado.

Haciendo énfasis en la permeabilidad, en el sector existen empresas fabricantes de aditivos mayormente de carácter químico para producir concreto impermeable, al igual que empresas productoras de concreto que ofrecen el producto con estas condiciones especiales para tipos de obras o ambientes que así lo demanden. Tal es el caso de los aditivos inclusores de aire, los cuales dentro de sus usos potenciales se encuentra el de reducir la permeabilidad del concreto y aumentar la durabilidad y resistencia contra ambientes agresivos (Sika-colombia S.A.S, 2014) (Cemex Colombia, 2014). En ocasiones, la implementación de estos aditivos hace que el producto final que es el concreto, aumente su costo de manera considerable. Por tal motivo es conveniente y necesario hacer esfuerzos por crear alternativas menos costosas y amigables con el medio ambiente, de manera que al mismo tiempo se pudiere aprovechar desechos de origen vegetal y de fácil adquisición para ser utilizados como materia prima.

Pero, ¿Cuál sería la incidencia del exudado de *Cedrela Odorata Linnaeus* frente a la penetración de los cloruros y el proceso de la corrosión del acero, al adicionarlo de manera integral a la matriz del concreto reforzado? Pues en el presente trabajo, se evaluó la incidencia de esta sustancia de origen natural diluida en el agua de mezclado del hormigón, a través de diferentes técnicas y métodos de ensayo llevados a cabo en los laboratorios de los programas





de Ingeniería Civil y Química Farmacéutica de la Universidad de Cartagena, en los que se incluyen técnicas electroquímicas para determinar el potencial eléctrico de corrosión bajo la norma ASTM C876 y pruebas según la norma ASTM C1218/C1218M, para determinar el contenido de cloruros solubles en agua de muestras pulverizadas de concreto que fueron extraídas a distintas profundidades de los especímenes fabricados con cantidades diferentes de la sustancia. Además, a este producto de origen natural se le realizaron análisis fisicoquímicos para poder entender la naturaleza de la incidencia en el proceso de corrosión y los problemas patológicos asociados con este parámetro.

En relación con lo anterior, a través de las pruebas realizadas, con los resultados obtenidos se ha podido contribuir de manera significativa, debido a que, por un lado, se identificó una incidencia favorable del exudado en comparación con la muestra blanco, y por el otro, se estudió la composición química y física del exudado a través de pruebas realizadas por analistas químicos profesionales de la universidad de Cartagena, cuyo resultado será de utilidad como fuente bibliográfica para los estudios patológicos que se vienen adelantando desde los programas de ingeniería civil e ingeniería química, para contrarrestar la problemática que enfrenta la industria de la construcción local, debido al ambiente salino y contaminantes de otros orígenes al que está sometida la ciudad de Cartagena por su zona de localización (Acuña Robles, 2012). Todo esto a través de la consecución de los llamados eco-aditivos, por lo que en esta investigación se adoptaron diferentes dosificaciones del exudado en el diseño de las mezclas de concreto, basado en estudios similares que han implementado sustancias de otras plantas y árboles.

En relación con lo anterior, en varias investigaciones se ha evaluado el uso de sustancias gomosas, mucilagos o exudados originados de plantas como Sábila, Captus, Nopal y hojas del árbol de Mangle implementadas en mezclas de concreto reforzado, en los cuales se ha logrado demostrar la incidencia en la reducción de la corrosión del acero embebido, y los consiguientes efectos en la disminución de problemas patológicos en la matriz de este. Pero de manera inconclusa, al implementar las sustancias, la resistencia del concreto ha mostrado resultados desfavorables y favorables en algunos casos, comparando con las muestras patrón (Babilonia Escallon & Urango Rojas, 2015) (E. F. Hernández, Cano-Barrita, & Torres-Acosta, 2016) (Okeniyi, Loto, & Popoola, 2014), a excepción del extracto de Nopal, que



además de presentar resultados favorables de resistividad eléctrica (lo que se relaciona con una baja posibilidad de corrosión en el acero de refuerzo), en varios estudios ha arrojado resultados de resistencia a la compresión mayores que en las muestras blanco o muestras de testigo, bajo concentraciones del 1 al 2 % del extracto en relación al peso del cemento (Torres, Celis, Martínez, & Lomelí, 2010). Por otro lado, con el exudado de *C. Odorata L.* se ha demostrado la incidencia de este en la corrosión del acero, implementándolo como revestimiento directamente sobre el acero de refuerzo, con eficiencias de inhibición entre el 25 y 46,4 % con respecto a la muestra blanco o de testigo, bajo concentraciones de exudado en relación p/p entre el 2 % y el 33.33 % (García Díaz & Méndez Medina, 2016). De acuerdo con los resultados de estos estudios, se adoptaron las concentraciones de exudado de Cedro dentro de los rangos más favorables según la revisión bibliográfica, teniendo en cuenta que el *Cedro* es una planta perteneciente a la misma familia de la goma arábica, la cual posee propiedades similares a las plantas estudiadas.

Por último, *C. Odorata L.* conocido usualmente con el nombre de Cedro, es un árbol que es de común crecimiento en Colombia, se halla ampliamente distribuido a lo largo de todas las regiones bajas y piedemonte andinos por debajo de los 2000 m de altitud (García Díaz & Méndez Medina, 2016) (Cárdenas Lopez, Castaño Arboleda, Sua Tunjano, Montero, & Ruiz Bohórquez, 2011), lo que lo hace de fácil adquisición y un buen indicativo para el caso que se desee cultivar pensando en la producción de un eco-aditivo a escala industrial, lo cual contribuiría a la generación de empleos directos e indirectos en todos los procesos involucrados en su obtención como producto final.



## 1. MARCO REFERENCIAL

El uso del concreto reforzado supera actualmente a otros materiales en el mundo de la construcción, el avance de la química, la tecnología de nuevos instrumentos de medición y el descubrimiento de nuevos materiales ha impulsado a las empresas concreteras a crear laboratorios especializados y enfocados a las investigaciones capaces de aportar soluciones a los problemas patológicos del concreto reforzado existentes, con el fin de aumentar la durabilidad y con ello la vida útil y sostenible de las estructuras con el medio ambiente (ONAC, 2017). El desarrollo de nuevos productos es una tendencia creciente de la industria del concreto, y actualmente los productos especializados y de valor agregado representan entre el 20 y el 35 por ciento de las ventas de la industria a nivel mundial (ARGOS, 2014). El mundo del concreto está en un crecimiento altamente acelerado y los problemas en los países en vía de desarrollo son tan grandes como las malas costumbres en los procesos constructivos de las obras y en la corrupción con materiales de baja calidad, lo que se representa en pérdidas económicas y humanas.

Con respecto a los problemas que se presentan en las estructuras de concreto reforzado por causa del ingreso de agentes agresivos del ambiente como los sulfatos, cloruros, dióxidos de carbono (CO<sub>2</sub>) etc, se han realizado estudios correspondientes a la mitigación del ingreso de estos contaminantes a través de la implementación de extractos vegetales en la dosificación del concreto. En ese orden de ideas es necesario presentar algunas investigaciones que den realmente un verdadero soporte para este proyecto investigativo. Ver (Babilonia Escallon & Urango Rojas, 2015; García Díaz & Méndez Medina, 2016; E. F. Hernández et al., 2016; Tae, 2012)

### 1.1. ANTECEDENTES

- *El uso de aditivos de origen natural integral a masas de concreto para la protección contra la corrosión del acero estructural embebido (Caso de estudio: Sábila)* (Babilonia Escallon & Urango Rojas, 2015)

En este estudio se implementaron diferentes cantidades de extracto de sábila integradas a la masa concreto bajo una investigación tipo mixta que buscaba mejorar la protección del acero



embebido, la información se recolecto mediante la utilización de la cámara de niebla salina para la simulación de ambientes agresivos hacia las muestras de concreto reforzado durante 24 horas, y posterior medida de velocidad de corrosión a través del potencióstato-galvanostato. Por otro lado, en los ensayos a la compresión del concreto se sometieron a prueba cada uno de los cilindros bajo concentraciones de sábila de 0, 15 y 30 % del agua de mezclado, evaluándolos a 7, 14 y 28 días. Los ensayos se hicieron de acuerdo con la norma ASTM C31/C con probetas de dimensiones 4” por 8”. Para todo el proyecto se hicieron 18 muestras por cada resistencia de diseño de 3000, 3500 y 4000 psi para los ensayos a la compresión, adicionando los porcentajes de sábila correspondientes. Además de 6 probetas para los ensayos en cámara de niebla salina.

A manera de conclusión, los porcentajes de sábila utilizados para cada mezcla de concreto incidieron de manera negativa en la resistencia a la compresión, obteniéndose una disminución en más del 50% con respecto a la resistencia de diseño, en el caso más crítico. Por otro lado, la resistividad eléctrica indicó que el acero presento poco riesgo de corrosión en cada una de las muestras al adicionar el 30% de sábila, lo que permitió concluir que la utilización de la sábila como aditivo natural integral a la masa de concreto garantiza la disminución de la velocidad de corrosión del acero estructural embebido, pero de manera contraproducente disminuye los valores de resistencia del concreto. De esta manera la metodología utilizada difiere del presente trabajo en ciertos aspectos, como el hecho de que evaluaron tres edades del concreto, tres cantidades de extracto de sábila en relación a la cantidad de agua de amasado, y dos resistencias de diseño del concreto, teniendo en cuenta que en el presente proyecto se trabajó solo con concreto a los 28 días, cuatro cantidades de exudado en relación con el peso del cemento y una sola resistencia de diseño.

- *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 (García Díaz & Méndez Medina, 2016)*

El principal objetivo de la investigación consistió en evaluar la eficiencia en la inhibición de la corrosión del exudado 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 el acero embebido en concreto fabricado con agua de mar. Para tal fin, se utilizaron barras de acero de construcción liso de media pulgada de diámetro para la prueba de intemperismo, y acero corrugado de 81 cm de longitud y media pulgada de diámetro para la prueba de monitoreo con celda electroquímica. Por otro lado, para obtener las concentraciones de exudado gomoso se mezclaron diferentes gramajes de éste con agua destilada usada como disolvente. Luego, se impregnaron las muestras de acero con las soluciones respectiva. Con los resultados de la investigación fue 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 presentaron mayor inhibición. Sin embargo, se observó una tendencia de inhibición menos creciente desde la concentración de 10 % en donde la eficiencia fue de 41.1 %. La inhibición del exudado supera a la de la goma arábica, pero se encuentra por debajo de la inhibición de el extracto de aguacate, aloe vera y el sintetizado de extracto de caña de azúcar.

Por otro lado, con las pruebas electroquímicas realizadas al acero embebido en el concreto, todos los especímenes registraron una probabilidad de actividad corrosiva del 90 %, siendo las muestras con 2% de inhibidor las que mostraron mayor diferencia de potencial, lo que indica menor actividad corrosiva, mientras que las muestras blanco exhibieron un comportamiento contrario. En relación con lo anterior, si bien el extracto vegetal objeto de estudio es el mismo que se empleó en la presente investigación, el enfoque fue diferente, debido a que en esta vez se evaluó la incidencia del producto en la disminución de la corrosión de la armadura de refuerzo y además en disminuir el avance de cloruros, adicionándolo como parte de la mezcla de concreto. Por lo tanto, el tratamiento de la información y la metodología fueron diferentes. Por otro lado, hizo falta un análisis químico del exudado que permitiera identificar los componentes responsables de inhibir la corrosión.

- *Evaluación de la capacidad inhibidora de la corrosión de los extractos del árbol de Neem (Azadirachta indica) en medio salino (Loaiza Fernandez & Vidales Manrique, 2013)*

El principal objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de inhibición de la corrosión del extracto de las hojas de Neem sobre acero al carbono y aluminio, en contacto



con cloruro de sodio y sulfato de sodio. El primer paso para este fin fue la obtención y caracterización del extracto. El extracto inhibidor se obtuvo a partir de 250 gramos de las hojas del árbol de Neem, empleando 600 ml de agua destilada como solvente. Se realizaron pruebas fitoquímicas y de pérdida de peso variando la concentración del inhibidor para determinar la concentración óptima y sobre cuál de los dos metales era más eficiente. Se logró identificar dos componentes orgánicos responsables de la capacidad inhibidora de la corrosión, los taninos y fenoles.

Para las muestras de acero al carbono y aluminio se utilizaron láminas de 5 x 4 cm con espesor de 3 mm y 5 x 4 cm con espesor de 1 mm. Para calcular la eficiencia de inhibición se llevó a cabo la prueba de pérdida de peso, se determinó la velocidad de corrosión en presencia y ausencia del extracto y los resultados obtenidos demostraron que el extracto de Neem a menor concentración alcanzó mejores eficiencias sobre acero al carbono en cloruro de sodio con un porcentaje de 78,0756 % para el 5% del extracto frente a 74,7896 % de eficiencia para la concentración del 10 %; en el caso del aluminio los valores de eficiencia alcanzados fueron bastante bajos (6,6754 %, -121,2733 %) esto indicó, que el extracto no es eficiente para este metal en ninguno de los medios corrosivos debido a que este metal presenta corrosión por pitting formando una película protectora bastante débil, que al entrar en contacto con iones cloruro y sulfato de los medios corrosivos utilizados sufre rupturas localizadas, acelerando la disolución del metal y la velocidad de corrosión. Luego, mediante el ajuste a la isoterma de Langmuir, se logró determinar que la interacción entre el inhibidor y el metal expuesto al electrolito o medio corrosivo se presenta mediante fisisorción, lo cual mostró que el extracto fue adsorbido espontáneamente en la superficie del acero al carbono y permitió retardar el proceso corrosivo alcanzando eficiencias de inhibición del 28,125 al 90,625 %, presentando un comportamiento directamente proporcional con la concentración de extracto.

La limitación del estudio en referencia, con respecto a los objetivos del presente proyecto radica en el hecho de que no se hace el análisis de la incidencia de las hojas de Neem en la reducción de la corrosión del acero embebido en concreto, aunque por un lado sirve de referencia la utilización de productos de origen vegetal en la inhibición de dichos problemas. Por tanto, es de valioso interés implementar metodologías que permitan evaluar la incidencia



de los estratos vegetales en la inhibición de la corrosión del acero de refuerzo de armaduras de concreto, buscando aplicabilidad en los problemas patológicos que enfrentan las estructuras de concreto en la ciudad de Cartagena.

- *Evaluación de la eficiencia inhibidora de corrosión del extracto acuoso de aguacate (Persea Americana)(Berrocal Bravo & Altamiranda Percy, 2013)*

Para evaluar la eficiencia del extracto de *Persea Americana* (aguacate) en la inhibición de la corrosión de acero al carbono y aluminio en medio ácido, se realizaron pruebas electroquímicas y de pérdida de peso. El extracto se obtuvo a partir de la pulpa del aguacate, utilizando como solvente agua doblemente destilada. Se manipuló la concentración del extracto, la concentración del medio corrosivo y el tipo de metal con el fin de cuantificar el efecto de estos factores sobre la eficiencia de inhibición. Además se compararon las eficiencias del extracto de aguacate con el extracto de tabaco bajo las mismas condiciones experimentales obtenidas en la prueba de pérdida de peso. Por otro lado, las muestras objeto de estudio fueron láminas de 5 x 4 x 0,3 cm y 5 x 4 x 0,1 cm de acero al carbono y aluminio respectivamente. A las cuales se les realizaron pruebas de pérdida de peso a temperatura ambiente sumergiéndolas en soluciones ácidas de HCl 0.5 M y HCl 1.0 M, sin agitación durante 10 días. Implementado dentro estas, una muestra de control sin adición de extracto de aguacate. A manera de conclusión, en los estudios de pérdida de peso, la velocidad de corrosión de las muestras blanco fue mucho mayor que la de los cupones de prueba sumergidos en solución en presencia de extractos de aguacate y tabaco. Esto sugiere que ambos extractos actuaron como inhibidores de corrosión y además permitió establecer que el aguacate actúa con mayor eficiencia en el acero al carbono que en el aluminio, con un porcentaje de inhibición de hasta el 98.1 % en el primero. Mientras que para el aluminio en la prueba de pérdida de peso, se obtuvo una eficiencia máxima de inhibición del 70.69 % con extracto de aguacate al 10 % v/v. En todos los casos el extracto de aguacate superó la eficiencia del tabaco. En cuanto a la prueba electroquímica para el aluminio, la adición de extracto de aguacate disminuyó levemente la corriente de corrosión (17.08 %) y consecuentemente no se obtuvieron excelentes porcentajes de inhibición, en comparación con los resultados del acero al carbono (98.06 %).





Este estudio se referenció por razones de fácil consecución del aguacate y los resultados de reducción de la corrosión en las armaduras de acero y aluminio al implementar un producto de origen vegetal. Aunque por otro lado hay limitaciones importantes para los objetivos que se desean alcanzar en este proyecto. Quedaría por determinar la eficiencia del extracto de aguacate en la reducción de la corrosión de aceros embebidos en concretos y bajo ambientes salinos, puesto que se logró demostrar eficiencias bajo medios ácidos.

- *Determinación de la corrosión en probetas de hormigón sumergidas en solución salina* (Villabona Duran & Gómez Méndez, 2012)

Esta investigación tuvo como objetivo principal evaluar el comportamiento al ataque de la corrosión ocasionada por ion cloruro de sodio (NaCl) en estructuras de hormigón armado presentes en solución salina, para lo cual se elaboraron 4 probetas cilíndricas de 30 cm de altura y 15 cm de diámetro. Los factores que se tuvieron en cuenta en estudio fueron: Dos marcas de cementos, dos relaciones agua - cemento para resistencias del concreto de 3000 y 4000 PSI y el tiempo de inmersión en la solución salina. Para medir el grado de corrosión de las muestras de concreto reforzado se empleó la prueba de potencia eléctrico de corrosión (Ecorr) y resistividad eléctrica. A demás se construyeron perfiles de concentraciones de cloruros solubles y totales vs profundidad radial de la probeta de hormigón a partir de las normas ASTM-114 y ASTM C-1218, para luego determinar el coeficiente efectivo de difusión de cloruros aplicando la segunda ley de Fick, a partir de la cual se modelo matemáticamente el proceso de penetración de cloruros, lo cual se validó con los resultados experimentales. Por otro lado, para tener un indicador físico-mecánico de la durabilidad del concreto se realizaron pruebas de resistencia mecánica.

De la medición del potencial eléctrico de corrosión se concluye que en todas las muestras para las marcas A y B, la corrosión es activa o existe la posibilidad de corrosión, siendo la marca B la que menor tendencia a la corrosión presenta.

De la determinación de perfiles de cloruros realizada para los diferentes tiempos (180 – 360 -510 días), se encontró una relación directa entre la migración de cloruros, la relación/agua cemento y la marca del cemento, es decir, a mayor relación agua/cemento mayor migración de cloruros. Por otro lado, la limitación en relación con el presente trabajo es que no se



determina la incidencia de algún producto que modifique las condiciones de las mezclas de concreto para disminuir el proceso de corrosión en el acero embebido, sin embargo, es de referencia las metodologías usadas para el logro de los objetivos.

## 1.2. ESTADO DEL ARTE

- *Influencia de mucílago cactus y extracto de algas pardas marinas en la resistencia a la compresión y la durabilidad del hormigón* (E. F. Hernández et al., 2016)

Este artículo presenta el rendimiento mecánico y durabilidad del hormigón con relaciones agua/cemento de 0,30 y 0,60 que contenían mucílago de cactus y extracto de algas marinas marrones. Para el estudio se fabricaron cilindros de 100 mm x 200 mm curados en humedad durante 0 y 28 días. Dentro de la metodología se hicieron diferentes pruebas para evaluar el comportamiento mecánico y la durabilidad de hormigón con adición de las dos sustancias vegetales. Dentro de las pruebas se evaluó la resistencia a la compresión, permeabilidad al cloruro rápida y la difusión de cloruro. Para esto se evaluaron las mezclas de hormigón de 60 y 120 días. Además, se hicieron pruebas de carbonatación acelerada durante 120 días, a muestras de 180 días de edad con una exposición a 23 ° C, 60 % HR y en 4,4 % de CO<sub>2</sub>. Los resultados de resistencia a compresión mostraron que sólo una mezcla de hormigón con aditivos aumentó en fuerza, bajo la relación de agua cemento de 0,60, cero días de curado húmedo y contenido tanto de mucílago cactus como extracto de algas marinas, fue un ligero aumento del 20 % en resistencia a la compresión a los 120 días con respecto a la muestra blanco. Por otro lado, en una solución de mucílago de cactus alcalino (pH 9.8) que contenía CaCl<sub>2</sub> 0.1 M, se observó un aumento de la viscosidad en 750 veces más que el agua. Dichos cálculos indicaron que es posible que la viscosidad pueda contribuir a una reducción de hasta 42 % del coeficiente de difusión, lo que fue coherente con los resultados obtenidos en la investigación, en relación con los coeficientes de difusión que arrojaron las muestras de concreto de relación a/c de 0.6, los cuales fueron  $3.49 \times 10^{-5}$  mm<sup>2</sup>/s y  $2.63 \times 10^{-5}$  mm<sup>2</sup>/s para las mezclas con contenido de mucílago cactus y extracto de algas marinas, respectivamente. Mientras que la reducción del coeficiente de difusión de cloruro fue aproximadamente 56 %.

En general, en el proyecto se encontraron resultados favorables hacia la durabilidad del concreto debido a la adición de mucilago de cactus y extracto de algas marinas. A la vez esta



fue una investigación con mayores alcances por el hecho de que se introdujeron más variables como la carbonatación y la difusión de los cloruros. En ese sentido, con la presente investigación solo se quiere determinar la posibilidad de corrosión y la penetración de cloruros en relación con la profundidad, para mejorar la durabilidad del concreto adicionando el exudado de *C. Odorata L.* en la matriz del concreto reforzado.

- *Inhibición de la corrosión de acero en el hormigón con minerales inorgánicos naturales en ambientes corrosivos debido a ataque de cloruros* (Tae, 2012)

El propósito de este estudio fue evaluar la resistencia a la corrosión de una barra de refuerzo del hormigón reforzado al ataque de cloruros, al remplazar el 10 % del cemento de la mezcla por un aditivo mineral inorgánico natural conocido como reMEUM, el cual se compone de dos ingredientes; el principal TVP (minerales inorgánicos naturales que contienen toba, ceniza volcánica, y perlita), lo que mejora considerablemente la calidad de estanqueidad del hormigón, y el secundario ingredientes de polvo silíceo, material puzolánico, material hidráulico latente, sulfato, tensioactivo aniónico, sal de ácido graso, y otros ingredientes. En relación con lo anterior, estudios han informado que el hormigón adicionado con reMEUM tiene una estructura más densa, más fina que el hormigón común, lo que lo hace más hermético, contribuyendo a la disminución de las grietas y el aumento de la resistencia a la compresión. Para logra esto, se realizó un ensayo de corrosión acelerado para evaluar las propiedades anticorrosivas del reMEUM, en el que se añadieron iones de cloruro en seis niveles diferentes (0,6 kg / m<sup>3</sup>, 1,2 kg / m<sup>3</sup>, 2,4 kg / m<sup>3</sup>, 4 kg / m<sup>3</sup>, 8 kg / m<sup>3</sup>, 12 kg / m<sup>3</sup>) Para las muestras de hormigón con relaciones agua/cemento de 0.4 y 0.6 y reemplazo de 0 y 10 % de cemento por reMEUM. a fin de evaluar la resistencia de las estructuras del hormigón contra la corrosión por el cloruro inducido.

Los resultados de las pruebas electroquímicas (potencial de media celda y resistencia a la polarización), las tasas de áreas de corrosión y las pruebas de pérdida de peso por corrosión; demostraron que el concreto preparado con cantidades del 10 % de reMEUM en remplazo del cemento, es superior que el concreto simple en la inhibición de la corrosión durante el ataque de los cloruros. Pero, por otro lado, se encuentra una limitación para al presente estudio por el hecho de que las sustancias empleadas como adición a la mezcla del concreto para mejorar sus propiedades como se habló anteriormente, son inorgánicas; mientras que la



que se desea evaluar en el presente proyecto es de origen vegetal bajo cantidades que difieren del estudio que involucra el reMEUM.

- *Rhizophora mangle L. efectos sobre el hormigón armado de acero en 0,5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: Implicaciones para la degradación por corrosión de las estructuras de energía eólica en entornos industriales* (Okeniyi et al., 2014)

En esta investigación se estudió la inhibición de la corrosión y el efecto del extracto de hojas de *Rhizophora Mangle L.* en la resistencia a la compresión sobre hormigón armado con acero en 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Para esto se simuló el entorno industrial de instalaciones de energía eólica, y en general se emplearon controles electroquímicos y ensayos de carga para evaluar la resistencia a la compresión para diferentes dosificaciones del extracto de hojas mezclados en muestras de concreto reforzados, las cuales fueron dos para cada dosificación. El extracto metanólico de las hojas secas se mezcló con diferentes dosificaciones en muestras duplicadas de losas de hormigón armado con acero, de tamaño 100 mm x 100 mm x 200 mm; desde 0 %, para muestras blanco de concreto, en incrementos de 0,0833 %, es decir, una parte en peso de *R. mangle L.* en 1200 partes en peso de cemento hasta una dosificación máxima de 0,4167 %. A partir de esto, se obtuvieron seis muestras de hormigón armado duplicadas para un total de doce. Luego de la fabricación de las muestras, estas se sumergieron parcialmente, de manera longitudinal, en recipientes plásticos que contenían la solución de ensayo de 0,5 M de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. A partir de estos, las mediciones electroquímicas se tomaron en cinco días de intervalo de 40 días, a continuación, en siete días de intervalo de ocho semanas. Estas mediciones fueron en total 17 puntos en 96 días. Las técnicas electroquímicas de medida fueron: Potencial de media celda - HCP, y por otro lado mediante la utilización de la conversión directa del instrumento a mpy. Posteriormente se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión en cada muestra previamente curadas en agua.

A manera de conclusión, con una dosificación de 0.1667 % de *R. mangle L.* se obtuvo una eficiencia de inhibición óptima de  $76.32 \pm 4.44$  %, clasificada como "muy buena". Mientras que las otras mezclas de *R. mangle L.* estudiadas, exhibió eficiencias de inhibición que clasificaron como "buenas" para inhibir la corrosión del acero de refuerzo en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 M; por su parte, con la mezcla de *R. mangle L.* al 0,25 % se obtuvo la menor eficiencia de



inhibición (aunque buena), sin embargo, mostró una mejora óptima de la resistencia a la compresión que superó las muestras blanco que se curaron en agua durante 28 días.

Los resultados de esta investigación son un referente por el hecho de que se demuestra la eficiencia de un extracto de origen vegetal en la inhibición de la corrosión del acero en el concreto, y además mejora la resistencia del mismo bajo algunas dosificaciones del extracto. Sin embargo, difiere de la metodología que se desea implementar en este proyecto al utilizar sustancias vegetales diferentes y emplear muestras de concreto de otro tamaño y forma.

- *Adiciones en base a cactus como inhibidor de corrosión para acero de refuerzo en concreto* (Torres, Martínez, Lomelí, & Pérez, 2010)

En esta investigación se evaluó la incidencia del *Nopal* o cactus deshidratado en la inhibición de la corrosión del acero, adicionándolo en la matriz del concreto reforzado en cantidades relacionadas con el peso del cemento de la mezcla. Para alcanzar los objetivos se realizaron diferentes pruebas electroquímicas, entre las que se encuentran las pruebas de potencial eléctrico de corrosión, para determinar la probabilidad de corrosión del acero embebido en el concreto fabricado bajo diferentes cantidades de *Captus* deshidratado. Los resultados arrojaron que los porcentajes de extracto menores del 1 % no mostraron mejoras de la corrosión, por lo que se recomendaron cantidades entre 1 % y 2 % de *nopal* deshidratado por peso del cemento de la mezcla, los cuales mostraron mayor inhibición incluso que en las muestras con mayores concentraciones.

Esta investigación es una buena referencia, debido a que contiene puntos de partida para el presente proyecto, como es el caso de las cantidades de sustancias a incorporar en la mezcla de concreto. Por otro lado, el origen de las sustancias es diferente, lo que puede llevar a comportamientos distintos en el concreto.

- *Evaluación de extractos de cascara de Cacao (*Theobroma Cacao L.*) como inhibidores de corrosión en acero al carbón* (Pedroza, Villalobos, Meza, & Paz, 2016)

La cascara de la vaina del cacao se utilizó como materia prima para obtener extractos anticorrosivos. La extracción se realizó adicionando 50 g de la cascara molida a 300 mL de soluciones de etanol en agua desionizada, luego se filtraron y se sometieron a pruebas de



caracterización. La actividad anticorrosiva sobre placas de acero A36 sumergidos en ácido clorhídrico 1 M se estudió mediante el método de pérdida de peso, variando la concentración del extracto (0, 1, 3, 7 y 10 % v/v). Se logró una máxima eficiencia de inhibición a la corrosión de 91,13 % con una concentración de extracto de 10 % v/v. Los resultados demostraron que la cáscara de la vaina del cacao es una materia prima adecuada para la producción de inhibidores de corrosión. Los fenoles son los componentes predominantes en este extracto; razón por la cual, la actividad anticorrosiva se les atribuye principalmente a ellos. Por otro lado toda esta metodología difiere con los objetivos planteados en este trabajo en el sentido de que estas pruebas fueron realizadas directamente sobre las barras de acero, demostrando las incidencias de las inhibiciones de la corrosión de los extractos naturales como en otras investigaciones tales como los resultados obtenidos con el extracto *C. Odorata L.* según (García & Méndez, 2016). Es muy importante resaltar las investigaciones que se están realizando en el concreto en relación con las inhibiciones de corrosión por parte de los extractos vegetales.

- *Estudio de Aditivos Inhibidores de Corrosión para Estructuras de Hormigón Armado. Análisis de Potencial de Corrosión* (Carvajal & Guzmán, 2005)

Este trabajo presenta un análisis sobre la efectividad de dos aditivos inhibidores de corrosión usados en hormigón: nitrito de calcio y microsilíce. Para ello se fabricaron 96 probetas cúbicas de hormigón de 15 cm de arista, empleando cemento portland puzolánico, bajo una relación a/c de 0,55 para lograr mayor porosidad relativa. A demás, se emplearon cuatro barras de acero en el interior de cada probeta para realizar los distintos análisis. Luego cada probeta de hormigón fue sometida a ensayos de penetración acelerada de cloruros durante diez días, en cinco ciclos de inmersión parcial - secado. Realizando mediciones de potencial eléctrico de corrosión con un electrodo de referencia de Cu/CuSO<sub>4</sub> y mediciones de la profundidad de penetración de los cloruros después de cada ciclo. Por otro lado, se determinó la resistencia a la compresión de las probetas. De los resultados de penetración de cloruros se pudo establecer que la microsilíce actúa como una barrera inicial de entrada de agentes corrosivos, debido a que su acción está relacionada con la disminución de la porosidad del hormigón y la consecuente disminución de su permeabilidad. En cuanto al nitrito de calcio, se encontraron altas concentraciones de cloruro en el interior de los hormigones fabricados



con esta sustancia. Por otro lado, las mediciones de potencial eléctrico de corrosión mostraron que el nitrito de calcio actúa de manera favorable en la prevención de la corrosión, debido a que los valores de potencial de las armaduras presentaron probabilidades mínimas del 5 % de riesgo de corroerse. Mientras que con microsílíce, los potenciales de corrosión en las muestras tuvieron tendencias hacia valores más negativos al pasar los ciclos, coincidiendo con las mayores concentraciones de cloruros encontradas, hasta llegar a niveles de potencial de corrosión que correspondían a un 95 % de probabilidad riesgo de corrosión en sus armaduras, según los rangos que se manejan internacionalmente. De esta forma se pudo concluir que el nitrito de calcio presentó mayor eficiencia a pesar de que hubo penetración de cloruros, ya que los potenciales de corrosión fueron menos negativos. Sin embargo, el trabajo difiere del presente proyecto en relación con las sustancias empleadas como aditivos, dado que las utilizadas en este proyecto son de origen vegetal, extraídas artesanalmente y empleadas sin ningún tipo de síntesis.

### **1.3. MARCO TEORICO**

Para entender la metodología de este trabajo es necesario tener algunos conceptos definidos de manera que se pueda contextualizar a nivel académico e investigativo lo referente a la investigación. A continuación, se expondrá de manera ordenada la información sobre los materiales del concreto, mecanismos de corrosión, los extractos vegetales con capacidad inhibidora y específicamente sobre el exudado gomoso de *C. Odorata L.*

#### **1.3.1. Concreto simple**

El concreto simple es una mezcla de cemento, grava, arena, aditivos y agua. Por sus propiedades puede ser maleable en su forma líquida y tiene gran resistencia en su estado sólido, con características similares a las de los materiales rocosos. Las mezclas de sus agregados pétreos tienen gradaciones en su tamaño que puede ir desde la fracción de milímetro hasta varios centímetros de gravas y arenas, siendo la pasta de cemento hidráulico el medio que forma el producto final. En el cual en algunas ocasiones pueden intervenir otros componentes como los aditivos y las microfibras con el fin de modificar algunas propiedades mecánicas o físicas, en estado fresco o endurecido (Lamus Báez & Andrade Pardo, 2015)





La durabilidad del concreto dependerá de la permeabilidad del mismo, y esta a su vez depende de factores como el grado de compacidad, la relación agua/material cementante, curado y el número de fisuras que se presenten durante y después del fraguado, estas fisuras se presentan debido a los cambios volumétricos que generalmente se presentan en superficies horizontales mientras el concreto esta aun fresco y reciben el nombre de fisuras por contracción plástica y son más probable que ocurran en clima cálidos (Sánchez de Guzmán, 2011). En relación con esto, si la compactación del concreto es deficiente quedará aire atrapado generando discontinuidades por las cuales luego ingresarán los agentes químicos y físicos que degradan el concreto, como dióxido de carbono, cloruros, etc. Por esa razón, dependiendo de la consistencia de la mezcla, existen unos asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción, sistemas de colocación y compactación. *Ver Tabla 1*

**Tabla 1** Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación.	Con vibradores de formaleta; concretos de proyección neumática (lanzados).	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión.
Seca	20-35	Pavimentos.	Pavimentadoras con terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
Semi- seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple. Losas poco reforzadas.	Colocación con máquinas operadas manualmente.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
Media (plástica)	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones.	Colocación manual.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.	Bombeo.	Secciones bastante reforzadas con vibración.
Muy Húmeda	150-200	Elementos esbeltos, pilotes fundidos “in situ”.	Tubo embudo tremie.	Secciones altamente reforzadas sin vibración.
Super Fluida	Más de 200	Elementos muy esbeltos.	Autonivelante, autocompactante.	Secciones altamente reforzadas sin vibración y normalmente no adecuados para vibrarse.

Fuente. (Sánchez De Guzmán, 2004)



### 1.3.2. Concreto reforzado

El concreto reforzado es uno de los materiales cuyo uso está más difundido en la industria de la construcción, en obras como edificios, puentes, presas, puertos, etc. Al igual que la mayoría de los materiales pétreos, el concreto tiene una alta resistencia a la compresión y una muy baja a la resistencia a la tensión. El concreto reforzado es una combinación de concreto simple y el acero en la que el refuerzo de acero proporciona la resistencia a la tensión donde se requiera en la matriz del concreto, y también proporciona resistencia a la compresión (McCORMAC & BROWN, 2011)

El concreto reforzado tiene ventajas y desventajas, a continuación, se mencionarán algunas de ambas.

**Tabla 2** Ventajas y desventajas del concreto.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>- Las estructuras de concreto reforzado son muy rígidas</li><li>- Requiere de poco mantenimiento</li><li>- Se requiere mano de obra de baja calificación para su montaje, en comparación con otros materiales, como el acero estructural.</li><li>- Es prácticamente el único material económico disponible para zapatas, losas de piso, muros de sótano, pilares y construcciones similares.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- EL concreto por si solo tiene una resistencia muy baja a la tensión, por lo que requiere el uso de un refuerzo de tensión.</li><li>- Similarmente, la baja resistencia por unidad de volumen del concreto implica que los miembros serán relativamente grandes, lo que es de una considerable importancia en edificios altos y en estructuras de grandes claros</li></ul>

Fuente. (McCORMAC & BROWN, 2011)

Como consecuencia de la acción de agentes contaminantes como los cloruros que penetran la estructura por los poros del concreto, se produce la corrosión de las armaduras metálicas; En este caso, el ataque de cloruros produce picaduras locales que rompen la capa pasivadora del acero de refuerzo, iniciando el proceso anódico y reduciendo la sección de la barra. En términos generales el riesgo de corrosión de la armadura de acero, por la presencia de cloruro de sodio, se considera grave a partir de 0.4% con relación al peso de cemento o entre 0.05% y 0.1% del peso del concreto (Sánchez de Guzmán, 2011)



La corrosión en el acero de refuerzo del concreto conduce a que se generen fisuras, grietas y por lo tanto fallas en los miembros estructurales. Por esto se deben respetar los valores de concentraciones máximas de iones cloruros dados en la *Tabla 3*.

**Tabla 3** Límites de Iones cloruro para construcciones nuevas según norma NSR-10

Tipo de construcción y condición	Límites de iones cloruro, porcentaje por masa		
	Método de ensayo		
	Soluble en ácido	Soluble en agua	
		ASTM C1152	NTC 4049 (ASTM C1218M)
Concreto preesforzado	0.08	0.06	0.06
Concreto reforzado húmedo en servicio	0.10	0.08	0.08
Concreto reforzado seco en servicio	0.20	0.15	0.15
*El método de ensayo Soxhlet se encuentra descrito en el ACI 222.1 <sup>C.4.8</sup>			

Fuente. (Asociación Colombia de Ingeniería Sísmica, 2010)

### 1.3.3. Características de los materiales del concreto

“Para la selección y calidad de los componentes del concreto es indispensable tener en cuenta que las propiedades y características; así como las especificaciones requeridas de los materiales empleados en la producción de concreto deben ajustarse a la normativa vigente en cada país. Hoy en día, éstas no se limitan únicamente a exigir un valor específico de resistencia (a compresión, flexión, etc.); sino también, a considerar como un aspecto fundamental la durabilidad” (Sánchez de Guzmán, 2011)

En Colombia, por ejemplo, se debe cumplir con las -Normas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente NSR-10 y con las normas emitidas por el Instituto Colombiano de Normas técnicas (ICONTEC). Como complemento, pueden también aplicarse las practicas recomendables del ACI de los estados unidos de América y/o el código modelo del CEB (Comité Europeo del Hormigón).

#### 1.3.3.1. Cemento

Usualmente, el cemento hidráulico empleado para la construcción del concreto debe ser cemento portland, que está compuesto de Clinker y Yeso. A través de la historia este material



ha evolucionado significativamente y existen diversos tipos de cementos. La tendencia está dirigida a usos de cementos a base de portland o cementos adicionados con humo de sílice, cenizas volantes, puzolanas, escorias pulverizadas, etc. (Sánchez de Guzmán, 2011)

En Colombia y en muchos países de América latina, se producen otros cementos compuestos de Clinker, yeso y algunas adiciones que desarrollen propiedades hidráulicas como el cemento Portland de escoria de alto horno, el cemento Portland puzolánico, etc. Su uso con frecuencia se debe a que cumplen especificaciones químicas, físicas y mecánicas similares a las de un cemento Portland.

### 1.3.3.2. Tipos de cementos Portland.

Los cementos más comunes en el medio colombiano son los siguientes:

**Tabla 4** Tipos de cementos Portland más comunes

DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN
Portland Tipo I	Uso común
Portland Tipo II	Moderada resistencia a los sulfatos
Portland Tipo III	Alta resistencia Inicial
Portland Tipo IV	Bajo calor de hidratación
Portland Tipo V	Alta resistencia a los sulfatos
-	Cemento portland de escoria de alto horno
-	Cemento portland puzolánico
-	Cemento portland adicionado

Fuente: (Sánchez de Guzmán, 2011), adaptado por los autores.

### 1.3.3.3. Agregados.

El agregado fino se considera aquel cuya fracción está comprendida entre el tamiz de 4.76 mm (N.º 4) y el tamiz de 0.074 micras (N.º 200) y provenga de arenas naturales o de la trituración de rocas, gravas, escorias siderúrgicas u otras fuentes aprobadas.

Para elaborar concretos hidráulicos, se considera agregado grueso aquel material granular cuya fracción este comprendida entre el tamiz 50.8 mm (2") y el tamiz de 4.76 mm (N.º 4) y provenga de gravas naturales o de la trituración de rocas, gravas u otras fuentes aprobadas. El agregado grueso, deberá cumplir con los requisitos de durabilidad de la *Tabla 6*.

El agregado fino y grueso no pueden presentar reactividad potencial (álcali – sílice y/o álcali-carbonato), con los hidróxidos alcalinos de la pasta de cemento ( $Na_2O$  y  $K_2O$ ), ni ningún



otro contaminante según lo establecido en el capítulo C4- Requisitos de Durabilidad de la NSR-10. La granulometría del agregado fino debe ser cerrada y encontrarse dentro de los límites que señalan las normas. Ver *Tabla 5* (Sánchez de Guzmán, 2011).

**Tabla 5** *Granulometría para agregado fino - (NTC 174)*

TAMIZ		Porcentaje que pasa (%)
(mm)	Pulgadas	
9.5	3/8	100
4.76	No. 4	95-100
2.38	No. 8	80-100
1.19	No.16	50-85
0.595	No. 30	25-60
0.297	No. 50	10-30
0.149	No.100	2-10

Fuente. (Sánchez de Guzmán, 2011), adaptado por los autores.



**Tabla 6. Granulometría del agregado grueso - (NTC 174)**

Número del tamaño del agregado	Tamaño nominal (tamices de abertura cuadrada)	Material que pasa uno de los siguientes tamices (porcentaje en masa)												
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm (No.4)	2,36 mm (No.8)	1,18 mm (No.16)
1	90 mm a 37,5 mm	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37,5 mm	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25,0 mm	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-
357	50 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-	-
4	37,5 mm a 19,0 mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-
467	37,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-	-
5	25,0 mm a 12,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-	-
56	25,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5	-	-
57	25,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-
6	19,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-
67	19,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-
7	12,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
8	9,5 mm a 2,36 mm (No.8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5

Fuente: (INCONTEC, 2000)



#### 1.3.3.4.El agua

Puede usarse como agua de mezclado y/o de curado del concreto, aquella que no tenga un pronunciado olor o sabor, que este limpia y libre de contaminantes como: aceites, cítricos, sales, ácidos, azúcares, materia orgánica y/o cualquier otra sustancia perjudicial a la estructura deseada o posible para construir.

El agua debe cumplir con las siguientes tolerancias de concentraciones máximas de impurezas, ver *Tabla 7*.

**Tabla 7** Tolerancias de concentraciones de impurezas en el agua de mezclado.

IMPUREZAS	CONCENTRACIÓN TOLERADA
Carbonatos de sodio y potasio	1.000 ppm
Cloruro de sodio	20.000 ppm
Cloruro, como Cl (Concreto pre-esforzado)	500 ppm
Cloruro, como Cl (Concreto húmedo o con elementos de aluminio, metales similares o galvanizados)	1.000 ppm
Sulfato de sodio	10.000 ppm
Sulfato, como	1.000 ppm
Carbonatos de Ca y Mg, como ion bicarbonato	400 ppm
Cloruro de magnesio	40.000 ppm
Sulfato de magnesio	25.000 ppm
Cloruro de calcio (por peso de cemento)	2%
Sales de hierro	40.000 ppm
Yodato, fosfato, arsenito y borato de sodio	500 ppm
Sulfito de sodio	100 ppm
Ácido sulfúrico y ácido clorhídrico	10.000 ppm
“Ph”	6 a 8
Hidróxido de sodio (por peso de cemento)	0,5%
Hidróxido de potasio (por peso de cemento)	1,2%
Azúcar	500 ppm
Partículas en suspensión	2.000 ppm
Aceite mineral (por peso de cemento)	2%
Agua con algas	No recomendable
Materia Orgánica	20 ppm
Agua de mar (Concentración total de sales para concreto no reforzado)	35.000 ppm
Agua de mar para concreto reforzado o pre-esforzado	No recomendable

Fuente: (Sánchez de Guzmán, 2011), adaptado por los autores.



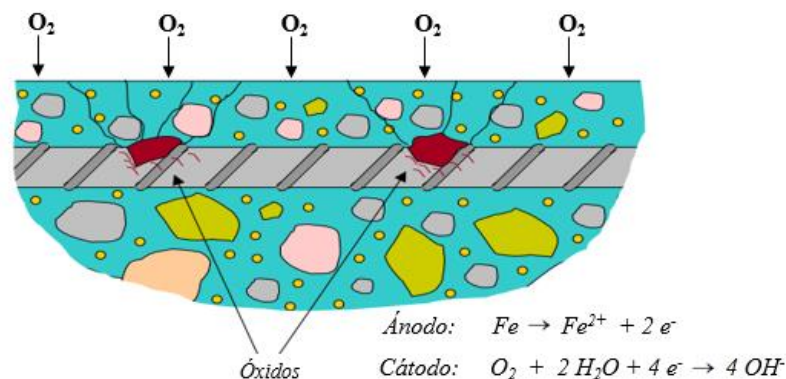
### 1.3.4. Corrosión

De manera general, existen varias definiciones para corrosión, las cuales llegan a la conclusión de que es el deterioro o destrucción que sufren los metales como el acero debido a una reacción química o electroquímica producto de su interacción con diversos agentes agresivos y a la humedad presentes en el ambiente donde el elemento metálico se encuentra prestando servicio.

Los metales, exceptuando los nobles, se encuentran en la naturaleza en forma de compuestos como óxidos, hidróxidos, sulfatos, etc., con valores reducidos de energía. Por tal motivo, en la producción de aleaciones como el acero, la extracción de los elementos metálicos a partir de dichos compuestos se realiza suministrando energía al emplear un proceso de reducción. Lo que significa que durante su vida útil, el metal tenderá a regresar a su estado natural y a niveles energéticos inferiores con la ayuda de factores externos relacionados con las condiciones del ambiente (Pérez Méndez, 2010)

La corrosión puede darse a partir de dos mecanismos, oxidación directa (o corrosión seca) y por corrosión debida a la interacción con una solución acuosa (o corrosión húmeda). El primer mecanismo se da cuando el metal es sometido a temperaturas elevadas con ausencia de humedad, de esta forma sufre una oxidación directa (Pérez Méndez, 2010). En cuanto al segundo mecanismo, este incluye reacciones químicas con diferentes niveles de energía en zonas anódicas y zonas catódicas, lo que da origen a un proceso oxidación – reducción en presencia de agua formando de esta manera una pila, y significa un mecanismo de corrosión electroquímico como se muestra en la *Figura 1* (Del Valle, Pérez, & Martínez, 2001)

**Figura 1** Oxidación del acero en el hormigón por formación de una pila.



Fuente. (Becker, 2011)





Existen distintos tipos de corrosión, los cuales se identifican teniendo en cuenta el área afectada y la morfología de la afectación. Entre los tipos de corrosión comunes se encuentran la uniforme o generalizada, la galvanizada, la localizada, por picaduras y la fisurante (Becker, 2011) (Tecnología y Procesos Industriales, n.d.). En la siguiente figura se muestra de manera resumida las características de cada tipo de corrosión.

**Figura 2** 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.

Fuente. (García Díaz & Méndez Medina, 2016)

### 1.3.5. Corrosión en el acero del concreto reforzado

Dentro de los factores desencadenantes de la corrosión se encuentra el efecto producido por los iones cloruros, los cuales por medio de reacciones comúnmente electroquímicas, destruyen las capas pasivantes del acero que lo mantienen en condiciones de equilibrio frente a su oxidación natural, produciendo corrosión localizada en forma de picaduras (Becker, 2011). La acción de los cloruros para producir corrosión se presenta por tres causas comunes, la primera es que estos ya se encuentren incorporados en la matriz del concreto, la segunda es por el uso de sales para provocar el deshielo en las vías férreas, y la tercera es por la exposición a ambientes salinos costeros, en donde los iones penetran por difusión en el concreto hasta llegar al refuerzo (Pérez Méndez, 2010)



Los iones cloruros pueden ingresar al hormigón en ambientes potencialmente agresivos según el tipo de exposición a la que esté sometido. En exposición atmosférica, la penetración de cloruro se produce por un efecto combinado de los siguientes mecanismos de transporte (Villagrán, 2012):

- Difusión iónica, debido al gradiente de concentración entre la superficie expuesta y el líquido de poro en la matriz cementícea, cuando existe humedad dentro de la estructura de poro.
- Absorción de agua con contenido de cloruro o absorción capilar.
- Flujo de agua en el hormigón debido a un gradiente de presión.
- Dispersión de iones cloruro debido a efectos convectivos de la solución de poro.
- Movimiento de agua en el hormigón con una cara seca y otra mojada.
- Por efecto de un potencial eléctrico externo y/o intrínseco.

En ese sentido, la estructura de poros de la matriz de concreto es un factor determinante en el transporte de cloruros a través del mismo. Dicho parámetro se encuentra definido principalmente por el volumen total de vacíos, la distribución de tamaños y la conectividad de los poros. Los cuales dependen de la relación agua/cemento, el tipo de curado por la exudación y la altura del elemento estructural.(Villagrán, 2012)

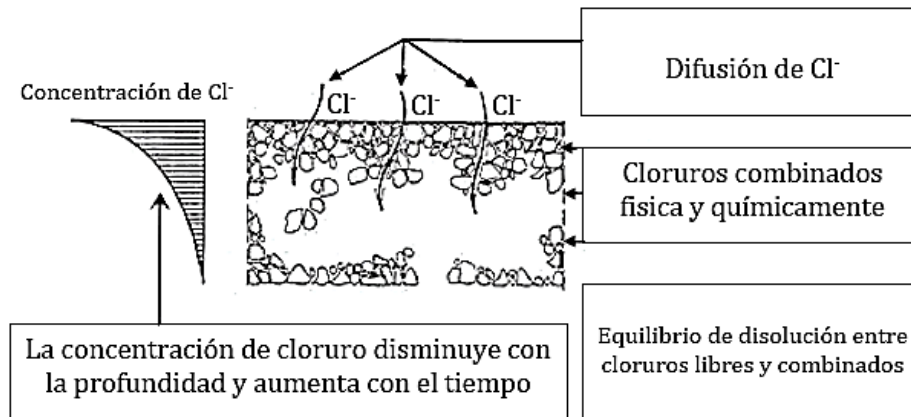
Por otro lado, una vez se produce el contacto de los iones cloruros con el acero, se necesitan unas características adicionales a las mencionadas anteriormente para que se inicie el proceso corrosivo. Dichas características son el tipo de cemento, haciendo relación con la finura, cantidad de  $C_3A$ , cantidad de yeso y adiciones; tipo de acero y calidad superficial en relación a la presencia de óxido con anterioridad en la superficie de la barra, y por último la disponibilidad de oxígeno (Pérez Méndez, 2010).

### **1.3.6. Ingreso de los cloruros en el hormigón**

Luego de investigar sobre los distintos factores involucrados en la corrosión por acción de cloruros y los mecanismos de transporte de los mismos, a continuación, se verá la información específica del comportamiento en el transporte de los iones cloruros bajo el concepto de difusión, el cual involucra distintas variables para su estudio.

La difusión es uno de los procesos de transporte de sustancias a partir del movimiento aleatorio de partículas que tiende a homogeneizar la concentración en los distintos puntos de un sistema, se origina a partir de una transferencia neta de materia desde las zonas de mayor concentración de la especie hacia las de menor concentración (Villagrán, 2012).

**Figura 3.** Esquema del fenómeno de la difusión de los iones cloruros



Fuente. (Pérez Méndez, 2010)

La magnitud de estas transferencias dependerán del coeficiente de difusión de cloruros a través del hormigón, el cual se puede determinar a través de métodos de ensayo basado en la difusión natural al colocar una muestra de hormigón saturada en contacto con una solución de cloruro (Barrios, Tejada, & Villabona, 2016).

Debido a la importancia de la difusión de los cloruros, algunos investigadores han realizado trabajos importantes para analizar sus comportamientos, muchos de ellos basándose en las leyes de Fick, las cuales veremos a continuación de manera abreviada.

#### 1.3.6.1. Primera ley de Fick.

El estudio del comportamiento del transporte de iones parte de la primera ley de Fick, la cual no involucra la variable tiempo. Considera que “en un sistema no homogéneo, las partículas se mueven de manera que decrecen los gradientes de concentración. Si se permite el suficiente tiempo, el sistema se hace homogéneo y el neto del flujo de materia cesa, manteniéndose la concentración del difusante constante en el tiempo para una ubicación  $x$  determinada”(Villagrán, 2012). Esta ley se simplifica bajo la siguiente expresión matemática para determinar el flujo ( $J$ ) en la dirección del gradiente.



$$J = -D_s \frac{\partial C}{\partial x} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:  $D_s$  es coeficiente de difusión en régimen estacionario,  $\frac{\partial C}{\partial x}$  el gradiente de concentraciones del difusante. El signo negativo en la expresión denota el hecho de que el flujo es en sentido contrario al del gradiente de concentración.

#### 1.3.6.2. Segunda ley de Fick.

Ahora, si la concentración en un punto del sistema varía con el tiempo, la ecuación de la primera ley solo es aplicable para un punto particular en el tiempo. Pero si se desea analizar la concentración para distintas ubicaciones en  $x$  y para distintos momentos (tiempo), se requiere el uso de la siguiente ecuación diferencial de segundo grado.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{ns} \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad \text{Ecuación 2}$$

“Según esta ley, la velocidad de incremento en el contenido del difusante en el interior del cuerpo ( $\partial C/\partial t$ ), es proporcional a la variación del flujo de materia que existe en ese punto ( $D_{ns} \cdot \partial C/\partial x$ ). Entonces, el transporte de materia se produce debido al gradiente de concentraciones ( $\partial C/\partial x$ ) que existe entre el interior y la superficie del cuerpo” (Villagrán, 2012)

#### 1.3.7. Ciclos de humectación – secado

Como se habló anteriormente, uno de los tipos de corrosión es la electroquímica, la cual se produce de tres maneras: la primera es cuando existe contacto entre dos metales que provocan diferencias de potencial, la segunda cuando existen diferentes concentraciones de oxígeno en el metal y/o tercero, cuando este se encuentra sometido a varios entornos, dando lugar a la generación de una pila. Esto se da primero mediante un proceso anódico, en el cual el hierro de la armadura se disuelve cediendo iones positivos a la disolución; luego ocurre un proceso catódico, en el cual los electrones liberados del acero se combinan con el agua de los poros del hormigón y con el oxígeno del exterior que atraviesa el recubrimiento de concreto, dando iones hidroxilo ( $2 \text{OH}^-$ ); luego en etapas intermedias los iones hierro y hidroxilo se combinan dando el óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). De todo este proceso, se ha dicho que el oxígeno se difunde



desde el exterior de la armadura a través del recubrimiento, y que para que ocurra el proceso electrolítico se necesita la presencia del agua. Esto significa que en hormigones secos el proceso electrolítico se ve impedido, y en hormigones saturados no hay entrada de oxígeno por lo que la corrosión no se produce. Por lo tanto los hormigones que están en constantes cambios de humectación y secado son los que se encuentran en mayores riesgos de corrosión de sus armaduras (Porto Quintián, 2005).

### **1.3.8. Mecanismos de protección contra la corrosión del acero en el concreto reforzado**

El acero de refuerzo de los elementos estructurales de edificaciones, monumentos, puentes y otros que requieran el uso de las barras embebidas en el concreto; se ve afectado, como se vio anteriormente, por diferentes mecanismos de corrosión, de los cuales se puede destacar el ingreso de iones cloruros bajo la combinación de varios mecanismos de transporte desde la superficie del elemento estructural, hasta el acero. Para dichos problemas, existen también diferentes mecanismos de protección relacionados con los métodos constructivos al dejar el recubrimiento adecuado de concreto para las barras de acero en ambientes salinos o marinos. De igual forma el uso de inhibidores de corrosión; protección del acero con recubrimientos epóxicos; empleo de protección catódica con ánodos de sacrificio; uso de adiciones aluminicas que formen Sal de Friedel y evite el paso de cloruros; selladores para concreto reaplicados cada 4 ó 5 años; utilización de concretos de muy baja permeabilidad con relaciones  $a/c \leq 0,4$  colocando inclusores de aire y usando reductores de agua. De igual forma es muy importante el uso de aditivos impermeabilizantes integrados a la mezcla del concreto (TOXEMENT, 2015)

### **1.3.9. Exudados Gomosos**

Los exudados gomosos son una especie de material viscoso que se obtienen a través de secreciones producidas por cortes subsuperficiales realizados a la corteza de algunos árboles en específico. Hasta ahora dichas sustancias no tienen punto de clasificación, aunque varios autores las ubican dentro de algunas resinas; pero, el término resina en general se refiere a los exudados que no se disuelven en agua, por tal motivo es necesario entender las



definiciones de los autores para relacionarlas con las sustancias gomosas (*citado por Y. Garcia & W. Mendez 2016* (Mirhosseini & Amid, 2012)).

En relación a sus propiedades físicas y estructurales las gomas vegetales se definen según su peso molecular, composición de monosacáridos, secuencia de monosacárido, conformación, configuración y posición de los enlaces glucósido, tamaño de partícula, solubilidad y propiedades reológicas (*citado por Mirhosseini & Amid, 2012* (Cui, 2005)).

Entre las propiedades de los exudados gomosos se destaca el hecho que pueden generar un aumento considerable de la viscosidad de la solución, incluso a bajas concentraciones, lo que se identifica en algunas ocasiones con el aumento de la turbidez en el agua de amasado de las mezclas de concreto (García Díaz & Méndez Medina, 2016). Todas estas propiedades de alta solubilidad en agua y baja viscosidad le confiere a la goma varios usos en la industria como emulsionante, estabilizantes, espesantes y suspensores, todo esto teniendo en cuenta que la estructura molecular varía según el origen botánico de la goma (Nussinovitch, 2010).

La goma Arábica, la Karaya y la Tagakant son tres de los exudados gomosos que más se destacan dentro de la gama, de las cuales de quien más se tienen estudios científicos es de la goma Arábica. Los resultados de laboratorio han permitido señalar que se encuentran constituidas por galactosa, arabinosa, ramnosa (azúcares neutros) y ácidos urónicos (Bozo de González et al., 2008). Los principales usos de la goma arábica se encuentran en la industria de los alimentos para encapsular sabores; en la farmacéutica, para la fabricación de tabletas. A demás de su uso en la industria de textiles, pinturas y adhesivos. (García Díaz & Méndez Medina, 2016)

### **1.3.10. Cedrela Odorata Linnaeus**

El árbol *Cedrela Odorata Linnaeus*, conocido común mente como *cedro rojo*, *cedro colorado*, *cedro oloroso*, *cedro cebollo* o simplemente como *cedro*, es un árbol caducifolio que crece de 20 a 35 m de altura, con un diámetro a la altura del pecho de hasta 1.7 m. Se han encontrado individuos de más 60 m de altura (Cárdenas Lopez, Castaño Arboleda, Sua Tunjano, Montero, & Ruiz Bohórquez, 2011). El cedro es una especie de árbol de importancia económica en algunos países de Latinoamérica en donde crece, puesto que es atractivo por sus propiedades de durabilidad, resistencia frente a las termitas y la facilidad al





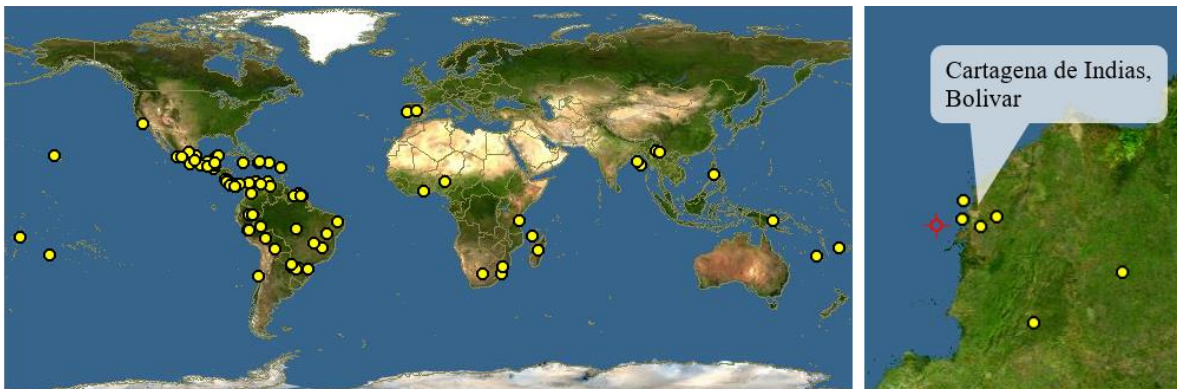
trabajar con él; es empleado en la fabricación de muebles, instrumentos musicales y artesanías, además de su uso en la construcción (E. Hernández, López, Sánchez, Vargas, & Salazar, 2016).

**Figura 4** *Árbol Cedrela Odorata Lennous (Cedro).*



El árbol de cedro crece prácticamente en toda Latinoamérica, desde el norte de México a 25° N – 107 ° W hasta el norte de Argentina a 27° S – 57° W; también crece en menos abundancia en zonas tropicales de África, algunos países de Asia, islas del pacífico y España. Lo anterior, según la *Figura 5*.

**Figura 5** *Distribución de C. Odorata L. a nivel mundial.*



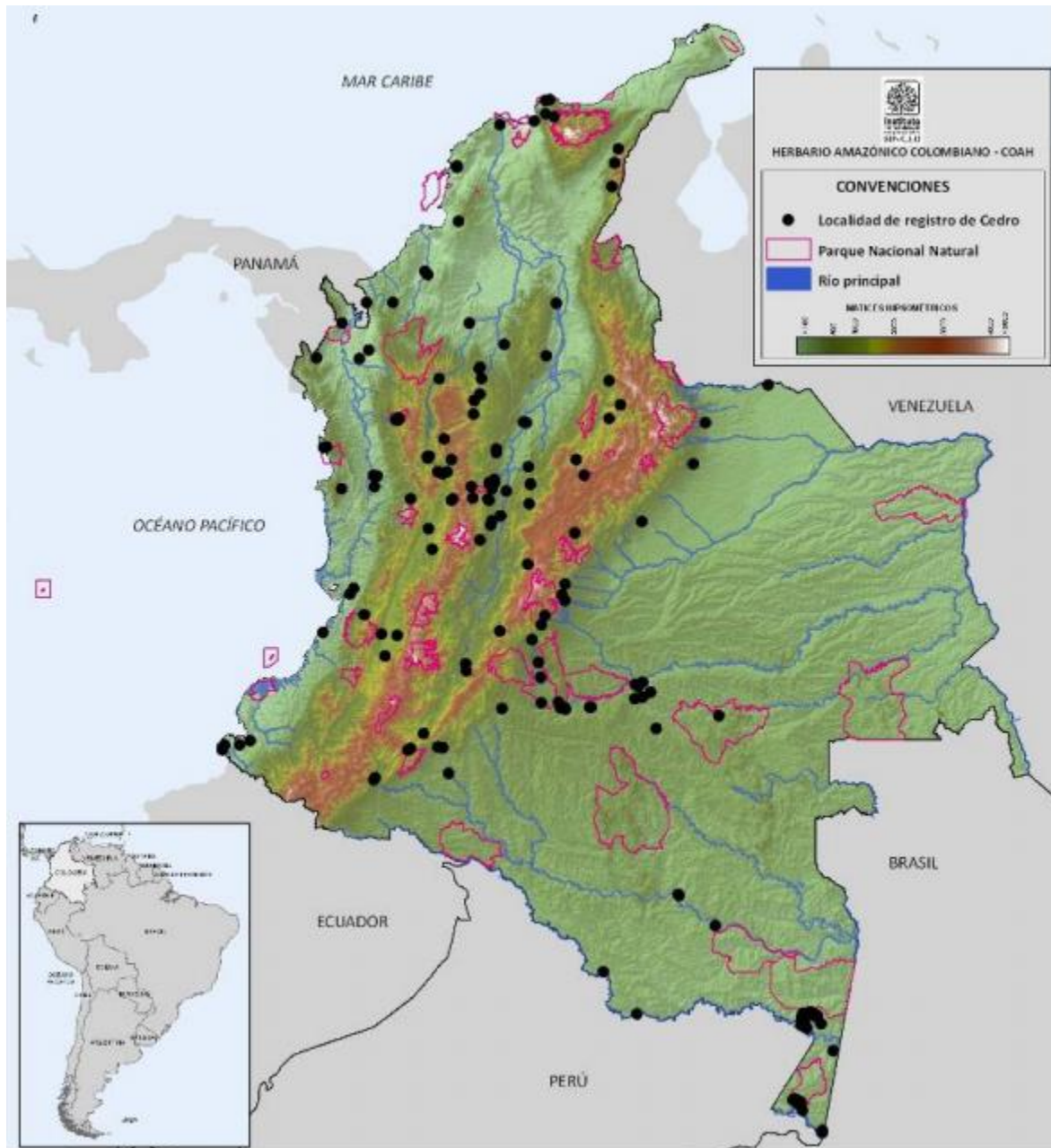
Fuente. (Global Biodiversity Information Facility, 2015), adaptado por autores

Específicamente en Colombia, se detectaron 378 localidades de *C. Odorata L.* con las cuales se hizo un modelo de distribución en todo el territorio nacional, identificando y analizando los herbarios existentes en todo el país (Cárdenas Lopez et al., 2011). En la *Figura 6* se



muestra la distribución que resulto del estudio realizado, a partir de este se puede apreciar el asentamiento del *cedro* a lo largo de todas las regiones bajas y piedemonte andinos por debajo de los 2000 m de altitud. También se puede observar que su distribución en todo el territorio nacional con presencia en prácticamente todos los departamentos, aunque no se reporte formalmente (García Díaz & Méndez Medina, 2016).

**Figura 6** Distribución de *C. Odorata L.* en Colombia



Fuente. (Cárdenas Lopez et al., 2011)





La sustancia gomosa de *C. Odorata L.* presenta una textura vítrea mate cuando se solidifica y un color naranja marrón translucido como se observa en la *Figura 7*. La dispersión acuosa de la goma *C. Odorata L.* bajo una concentración relativa de 40% m/v mostro un comportamiento más elástico que la dispersión acuosa de la goma de *A. Tortuosa* y *A. Senegal* (goma Arábica). Por su parte la temperatura que genera consistencia gel en la dispersión de *C. Odorata* a una concentración de 15 % m/v se encuentra alrededor de 22.5 °C (Rincon, 2013).

**Figura 7** Características físicas del exudado gomoso de *C. Odorata L.*



Fuente. Autores

El uso del *Cedro* se limita en la actualidad a la explotación de su madera para diferentes fines en la construcción y fabricación de artículos como muebles, instrumentos musicales y artesanías. Es una de las especies de madera más apetecidas, por lo que su explotación en los últimos 200 años ha hecho que se catalogue en peligro de desaparición (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)).



La fuente de exudado de *C. Odorata L.* más cercana de la ciudad de Cartagena, de la cual se tenga conocimiento, son los arboles de la finca Manzanares, ubicada en el municipio de Turbaco – Bolívar; en la cual se encuentra un grupo de estos árboles de hasta 30 años de edad (según el administrador de la propiedad) y alturas de 20 metros, distribuidos por casi toda la extensión del lugar debido a que sirven como postes de cercas para definir linderos como se ve en la *Figura 7*.

Según el administrador, en los predios de la finca no se explota la madera de los arboles existentes y además se encuentran estrictamente vigilados por las autoridades encargadas de los ecosistemas aledaños a la zona, los cuales prohíben la tala de árboles sin justificación válida, por estas razones han perdurado en el tiempo. Por otro lado, también existe una gran cantidad de árboles de cedro a orillas de la carretera que comunica el municipio de Santa Rosa con Villanueva, a escasos minutos de la ciudad de Cartagena.

En relación con la incidencia de las sustancias o compuestos de origen natural sobre la inhibición de la corrosión del acero, en el árbol de *Cedro* se han encontrado compuestos como los Taninos, Fenoles y Flavonoides, a los cuales se les atribuyen capacidades inhibitorias debido a que son adsorbidos en la interfaz metal-inhibidor y crean una barrera que disminuye la transferencia de masa y carga, que a su vez trata de impedir la interacción entre el metal y el medio al que se encuentra expuesto (Loaiza Fernandez & Vidales Manrique, 2013). En ese sentido, la composición química de los extractos es variable en razón de la edad del árbol, el tipo de solvente empleado, las características de la sustancia y la localidad de crecimiento del árbol. A su vez, la concentración de taninos, fenoles y flavonoides presentes en el *Cedro*, es mayor en las ramas que en el aserrín y las hojas (Rosales Castro et al., 2016). Por otro lado, al evaluar el contenido de taninos condensados reactivos con formaldehído en medio ácido en los extractos liofilizados y la corteza seca de 11 especies de árboles maderables de las regiones Norte y Central de Costa Rica, se determinó que una de las especies con mayor proporción de taninos en los extractos condensados, fue el árbol de Cedro con el 72.7 %, superando a arboles como el Jobo (66.1 %), Níspero (50.5 %) y Pino (70.7 %) (Aguilar López et al., 2012). En relación con lo anterior, es importante saber que existen dos grupos de taninos, los flavonoides y los no flavonoides. A su vez, cada uno de estos da origen a un tipo específico de taninos: los no flavonoides se polimerizan y forman



taninos hidrolizables, mientras que los flavonoides, al polimerizar, forman taninos condensados. Consecuentemente, “los vegetales y frutos tienen la capacidad de acumular taninos en la totalidad de la planta de la que provienen: semillas, frutos, madera, raíz, hojas. En condiciones normales, los taninos vegetales representan del 2 al 7% del peso fresco de la planta. Esta cantidad representa la suma de todos los tipos de taninos presentes en el vegetal” (Vázquez Florez, Alvarez Parrilla, López Díaz, Medrano Wall, & De La Rosa, 2012)

### **1.3.11. Acoplamiento cromatografía de gases- espectrometría de masas (GC-MS)**

La cromatografía de gases es una técnica separativa que tiene la cualidad de conseguir la separación de mezclas muy complejas. Pero una vez separados, detectados, e incluso cuantificados todos los componentes individuales de una muestra problema, el único dato de que se dispone para la identificación de cada uno de ellos es el tiempo de retención de los correspondientes picos cromatográficos. Este dato no es suficiente para una identificación inequívoca, sobre todo cuando se analizan muestras con un número elevado de componentes, como es frecuente en cromatografía de gases capilar. Por otra parte, la espectrometría de masas puede identificar de manera casi inequívoca cualquier sustancia pura, pero normalmente no es capaz de identificar los componentes individuales de una mezcla sin separar previamente sus componentes, debido a la extrema complejidad del espectro obtenido por superposición de los espectros particulares de cada componente. Por lo tanto, la asociación de las dos técnicas, GC (“Gas Chromatography”) y MS (“Mass Spectrometry”) da lugar a una técnica combinada GC-MS que permite la separación e identificación de mezclas complejas.

En resumen, una mezcla de compuestos inyectada en el cromatógrafo de gases se separa en la columna cromatográfica obteniendo la elución sucesiva de los componentes individuales aislados que pasan inmediatamente al espectrómetro de masas. Cada uno de estos componentes se registra en forma de pico cromatográfico y se identifica mediante su respectivo espectro de masas. En este proceso, el espectrómetro de masas, además de proporcionar los espectros, actúa como detector cromatográfico al registrar la corriente iónica total generada en la fuente iónica, cuya representación gráfica constituye el cromatograma o “TIC” (total ion current). En efecto, la corriente iónica generada por todos los iones da lugar



a un pico gaussiano de área proporcional a la concentración del compuesto detectado (Gutiérrez & Droguet, 2002).

#### 1.4. NORMATIVA

La consulta previa de las normas que rigen los métodos de ensayo y los procedimientos para realizar determinadas actividades es de vital importancia en una investigación de carácter experimental, pues en estas normas hay reglas con criterios científicos que buscan garantizar la fiabilidad, utilidad y calidad de la información que se obtenga. A continuación, se presentan los métodos de ensayo adoptados en este proyecto.

- *ASTM C1218/C1218M: Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete* (ASTM International, 2017)

El método de ensayo se emplea para determinar el contenido de cloruros solubles en agua para matrices cementicias de estructuras existentes o nuevas. En esta se establece el tamaño máximo de las partículas de la muestra de hormigón o mortero, el cual es 850  $\mu\text{m}$ .

- *ASTM C876: Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete* (ASTM International, 2015)

Bajo este método de ensayo se determinan los potenciales eléctricos de corrosión del acero de refuerzo del concreto, lo cual significa uno de los parámetros tenidos en cuenta para el monitoreo de la actividad corrosiva del acero.

- *NTC 550: Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra* (ICONTEC, 2000)

Esta norma contiene los procedimientos para la fabricación y curado de especímenes cilíndricos o prismáticos, a partir de muestras de concreto fresco para construcción.

- *NTC 396: Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto* (ICONTEC, 1992)

Bajo esta norma se establece el método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto fresco en la obra y en el laboratorio



- *NTC 673: Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto* (ICONTEC, 2010)

Este método establece los requisitos y procedimientos del ensayo para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto moldeados y núcleos perforados para concreto de peso unitario mayor que 800 kg/m<sup>3</sup>.

- *INV E-310-07: Consistencia normal del cemento*

Bajo esta norma se establece el método de ensayo para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico empleando el aparato de Vicat o determinar la cantidad de agua requerida para preparar pastas de cemento hidráulico de consistencia normal para su posterior ensayo.

- *INV E-305-07: Tiempo de fraguado del cemento hidráulico método del aparato de Vicat*

Bajo esta norma se establece el método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat.





## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la incidencia del exudado de *C. Odorata L.* adicionado a la matriz del concreto reforzado, en el proceso de corrosión del acero bajo ciclos de humectación y secado en solución salina, a través de pruebas electroquímicas y la construcción de perfiles de concentración de cloruros versus profundidad, comparando los resultados con muestras blanco para identificar una nueva alternativa ecológica que mejore la durabilidad de las estructuras en concreto reforzado.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la composición química y las características reológicas del exudado de *C. Odorata L.*
- Determinar la profundidad de penetración de los cloruros en el concreto, mediante la construcción de perfiles de concentración vs profundidad.
- Determinar la probabilidad de corrosión del acero de refuerzo del concreto para cada una de las muestras con diferente contenido del exudado, a través de pruebas de potencial eléctrico de corrosión después de cada ciclo de humectación y secado en solución salina.
- Evaluar la incidencia del exudado en la manejabilidad de la mezcla de concreto, a través del ensayo para determinar el asentamiento del concreto según la norma NTC.
- Determinar la resistencia a la compresión de cada una de las probetas de concreto con las diferentes cantidades de exudado.

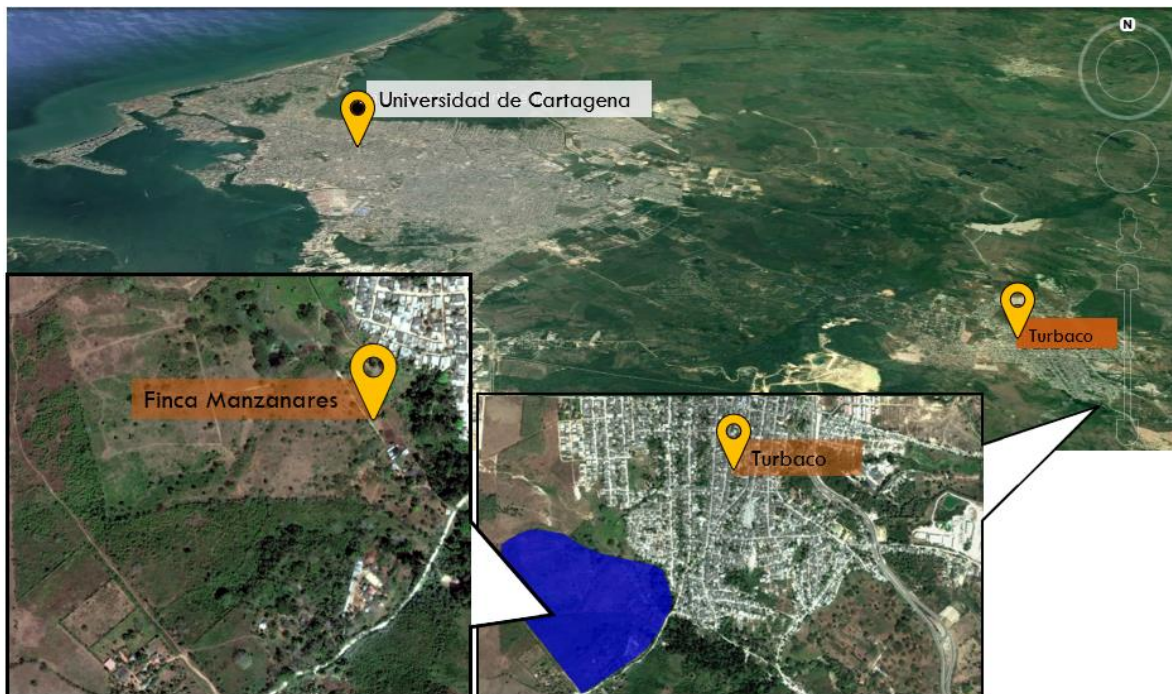


### 3. ALCANCE

En el presente proyecto se evaluó la incidencia del exudado gomoso del árbol de cedro en la penetración de los cloruros y en el proceso de corrosión del acero al adicionarlo en la matriz del concreto reforzado. Además, se evaluó la incidencia de este en la manejabilidad de la mezcla y en la resistencia del concreto a los 28 días de edad, como un monitoreo de las especificaciones de calidad de este.

Para cumplir con lo anterior, se contemplaron cuatro fases experimentales en el proceso, que son: obtención y procesamiento del exudado, fabricación de las probetas de concreto y ensayos de asentamientos de las mezclas, ciclos de humectación-secado (H-S) en solución salina y ensayos de resistencia a la compresión de las probetas, y la cuarta fase comprende las pruebas electroquímicas para determinar la probabilidad de corrosión y las pruebas de profundidad de penetración de cloruros en el hormigón culminados los ciclos de humectación-secado. Cada una de estas fases comprendieron varias actividades, las cuales se llevaron a cabo en la finca manzanares de Turbaco (Bolívar) *ver Figura 8*, la Universidad de Cartagena y el laboratorio del ingeniero *Modesto Barrios Fontalvo*.

**Figura 8** Ubicación finca manzanares en Turbaco - Bolívar.



Fuente. Google Earth, Adaptado por autores.



En relación con lo anterior, este proyecto se comenzó a ejecutar con la obtención del exudado del cedro al iniciar el primer periodo académico del 2018, seguido de las otras fases que se realizaron de acuerdo con el cronograma de actividades contemplado para este, en el cual la actividad de mayor duración fue los ciclos de humectación-secado de las probetas en solución salina durante 90 días. De esta forma, involucrando el tiempo para el procesamiento y análisis de los resultados, resultó una duración del proyecto de 120 días.

Las variables evaluadas fueron: la relación agua/cemento y cantidad del exudado de *C. Odorata*. L. adicionada a la mezcla de concreto (independientes); profundidad de penetración de los cloruros en el concreto, la probabilidad de corrosión del acero de refuerzo, la manejabilidad de las mezclas y la resistencia mecánica del concreto en ensayo (dependientes); dimensiones de las probetas de concreto, tipo de cemento, resistencia de diseño del concreto, edad del concreto en días, duración de las fases de humectación y secado de las muestras en solución salina, concentración de salinidad en la solución utilizada para contaminar la muestra (las intervinientes)

Con estas variables fue posible emitir una opinión o criterio sobre el exudado gomoso como inhibidor de la corrosión del acero de refuerzo embebido en el concreto, aplicado directamente a la matriz de este. Las variables obtenidas sirvieron de materia y apoyo necesario e indispensable para la formulación de conclusiones y recomendaciones encaminadas a la aplicación potencial del producto en la matriz del concreto reforzado.

Los resultados buscados o esperados con esta investigación fueron: la reducción de la profundidad de penetración de los cloruros en las muestras de concreto con la adición de diferentes cantidades del exudado *C. Odorata* L. comparado con las muestras blanco, posibilidades bajas de corrosión según ASTM C 876, y dentro de otros probables resultados se esperó que la resistencia a la compresión de las muestras de concreto con la adición del exudado no sufriera cambios realmente significativos por debajo y en comparación con las muestras blanco.

Con los resultados obtenidos en todos los ensayos de laboratorio y a partir de los análisis de estos, se podrá observar explícitamente la incidencia que tiene el exudado, lo cual es muy importante para gremios y profesionales inmersos en este sector de la construcción;





resaltando que, en anteriores investigaciones y referencias bibliográficas, los impactos son positivo en relación con la inhibición de la corrosión, usando extractos naturales.

Por otro lado, este proyecto con fines académicos e investigativo está orientado a la innovación y al descubrimiento de nuevas técnicas y tecnologías, con el fin de mejorar la durabilidad del concreto, empleando Exudados como aditivo vegetal; y de paso contribuyendo a la generación de nuevas fuentes bibliográficas para posteriores investigaciones de igual o parecida línea temática.

El exudado empleado en este proyecto investigativo ya fue utilizado como inhibidor de la corrosión en concretos reforzados aplicando el producto directamente sobre el acero de refuerzo (García Díaz & Méndez Medina, 2016). En este orden de ideas, con los resultados se podría comparar el efecto en la inhibición de la corrosión, utilizando un mismo extracto vegetal de dos formas diferentes.

Por otro lado, si bien es cierto que se desea determinar el avance de los cloruros, la posibilidad de corrosión del acero de refuerzo y las resistencias mecánicas con diferentes cantidades de exudado en la mezcla del concreto, no corresponde a este proyecto determinar las cantidades optimas de exudado que generen puntos de equilibrio entre la disminución del proceso de corrosión y la menor alteración en las resistencias de las probetas de concreto, dado el caso que se generen disminuciones en la misma. Sin embargo, de acuerdo con los resultados que se obtengan, se harán recomendaciones de las cantidades de exudado apropiadas para emplear en futuras investigaciones.



## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

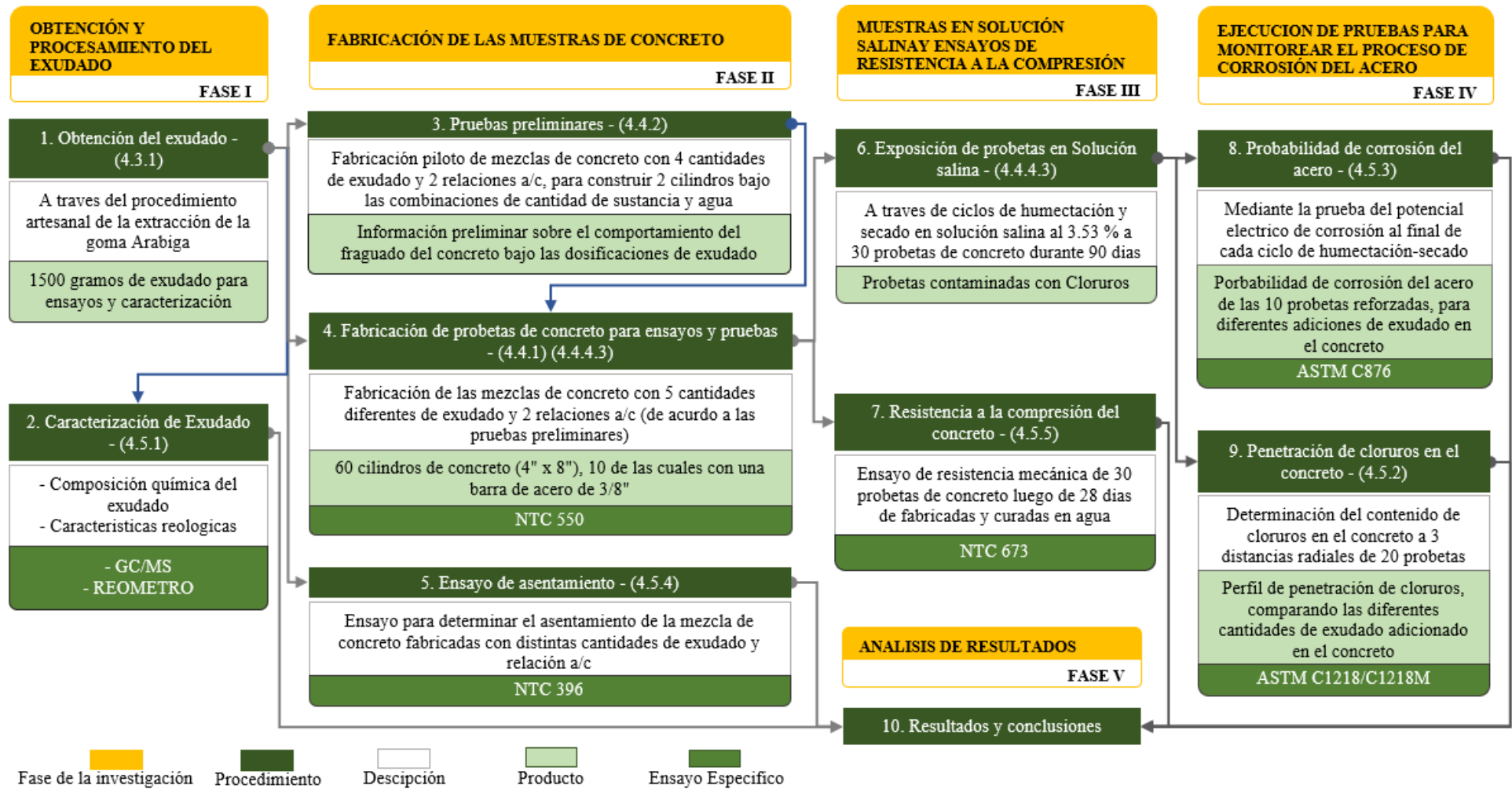
La investigación llevada a cabo en este proyecto fue de tipo experimental, debido a que se realizaron ensayos y pruebas de laboratorio como resistencia a la compresión de probetas de concreto fabricadas bajo distintas cantidades de exudado, y pruebas para determinar la penetración de cloruros y la probabilidad de corrosión del acero en las mismas. Para lo cual se adoptaron algunos métodos de ensayo normalizados como los de la ASTM, NTC e INVIAS.

Por otro lado, la información que se recolectó fue de carácter cuantitativo, debido a que se obtuvieron resultados en valores numéricos de la resistencia a la compresión, las profundidades de penetración de los cloruros, valores de potencial eléctrico, la viscosidad del agua de amasado en relación con la cantidad de exudado gomoso de *Cedro*, así como el monitoreo de los tiempos de fraguado del concreto a través de las pruebas preliminares.

En el esquema de la *Figura 9* se muestra el resumen del proceso metodológico de esta investigación, conformado por cinco fases, de las cuales cuatro son experimentales y una quinta que abarca todo el proceso de análisis de los resultados. En este esquema se presenta la información abreviada de las actividades que se realizaron en el proyecto, la cual es ampliada con mayores detalles en el texto correspondiente al apartado de la metodología.



Figura 9 Proceso metodológico experimental





## 4.2. VARIABLES

En esta investigación se involucraron tres tipos de variables: intervinientes, independientes y dependientes, las cuales se muestran en la *Tabla 8*.

*Tabla 8* Relación de variables involucradas, con sus respectivas unidades de medida.

TIPO DE VARIABLE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
INTERVINIENTES	Dimensiones de probetas (4" x 8")	Pulgadas
	Resistencia de diseño del concreto (3000 psi)	Psi
	Edad de ensayo del concreto (28 días)	Días
	Tiempo de las fases de humectación y secado de las muestras en solución salina (90 Días)	Días
	Salinidad de la solución salina (3.53%)	%
INDEPENDIENTES	Relación agua/cemento	%
	Dosificación de exudado por peso de cemento	%
DEPENDIENTES	Profundidad de penetración de cloruros	Cm
	Probabilidad de corrosión en el acero de refuerzo	%
	Asentamiento del concreto fresco	cm
	Resistencia a la compresión del concreto	Kg/cm <sup>2</sup>

Las variables intervinientes se refieren a los factores presentes en los experimentos o ensayos, pero que son constantes, es decir, tuvieron un solo nivel y por tanto no influyeron en la cantidad de muestras o probetas objeto de estudio.

## 4.3. EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

Los equipos y las herramientas que se necesitaron en este proyecto fueron utilizados principalmente en el proceso de obtención del exudado granulado y en la fabricación de los especímenes de concreto. En la *Tabla 9* se muestran los principales equipos y herramientas utilizados en esta investigación.

En cuanto a los materiales, en la *Tabla 10* se muestran los insumos necesarios para la fabricación de la mezcla de concreto y la solución salina, así como la sustancia del árbol *C. Odorata L.*



**Tabla 9 Herramientas y equipos a emplear en el proyecto**

<b>EQUIPO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>USO</b>
Multímetro	Multímetro de alta impedancia	Proceso de medida del potencial eléctrico de corrosión
Electrodo de referencia	Electrodo de referencia portátil MCMILLERco. Cu/CuSO <sub>4</sub>	Medición de potenciales eléctricos de corrosión
Martillo	Martillo compactador empleado en el ensayo de Proctor modificado	Proceso de trituración de exudado de C. Odorata L.
Tamiz	Conjunto de tamices desde N° 10 al 200	Separar las partículas más pequeñas de exudado triturado.
Taladro percutor	DE WALT. Velocidad variable hasta 3200 rpm motor de 13 AMP o 1180 WATTS	Utilizado para extraer el polvillo de concreto; para el análisis de la penetración de cloruros.
3 Baldes	Recipientes plásticos	Dosificación de los materiales en la fabricación del concreto.
1 Ponchera	Recipiente metálico	Utilizado como recipiente para contener cualquier material.
1 Balanza analítica	Referencia SWISS ES 225SM-DR con sensibilidad de 0.00001 g	Medición de la cantidad de exudado de manera precisa.
1 Pala	Colima: pala cuadrada N° 2	Proceso de mezclado del concreto.
1 Cono Abraham	Con las características descritas en la norma NTC 396	Pruebas de asentamiento del concreto fresco.
Máquina de compresión	Máquina de compresión con pilot. Ref: CT-1503/UP (DIRIMPEX.)	Ensayo de la resistencia mecánica de las probetas de concreto.

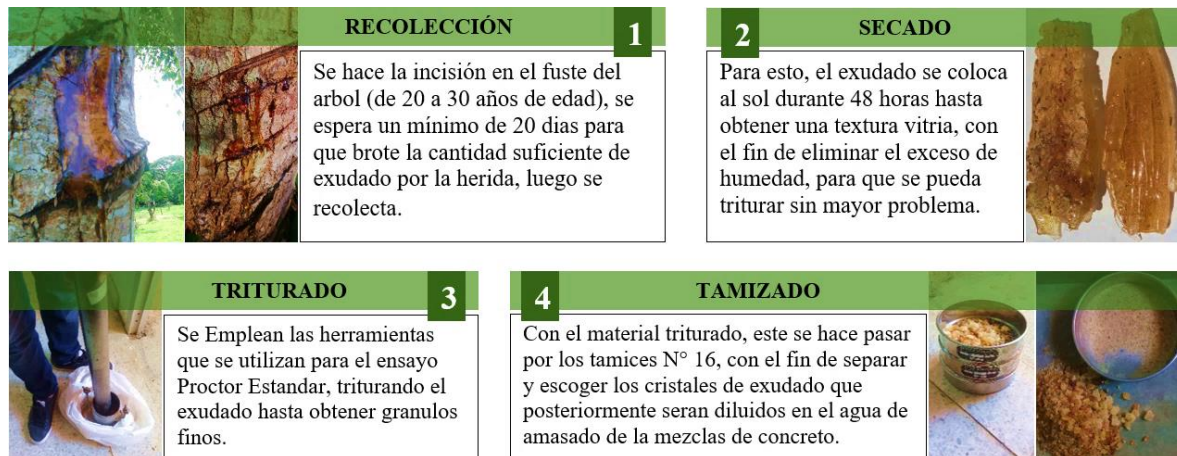
**Tabla 10 Materiales necesarios para ejecutar el proyecto**

<b>MATERIAL</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>USO</b>
<b>Concreto</b>	0.15 m <sup>3</sup>	
Cemento	Portland tipo I (80 kg)	Fabricación de las probetas de concreto.
Arena	-----	
Agua	Agua potable	
Agregado	Canto rodado de 3/4" de tamaño máximo	
<b>Barra de acero</b>	1 barra de 3/8" de 6 metros de longitud	Incrustadas en las probetas para la realización de prueba electroquímica.
<b>Agua destilada</b>	Tipo IV empleada en la medición de los potenciales eléctricos	Saturación del CuSO <sub>4</sub> . Humedecimiento de la esponja
<b>NaCl</b>	Sal marina	Contaminante de las muestras.
<b>Exudado C. Odorata. L.</b>	1500 g para fabricación de probetas de concreto, caracterización y pruebas preliminares	Producto objeto de estudio.

### 4.3.1. Obtención del exudado de *C. Odorata L.*

El proceso de obtención del exudado de cedro se hizo bajo la metodología empleada para la extracción artesanal de la goma arábiga. En la *Figura 10* se esquematiza el proceso desde la extracción en el árbol, hasta la obtención del producto granulado que se adicionó al agua de amasado de las mezclas de concreto.

*Figura 10* Proceso de obtención del exudado del Cedro



Fuente. Autores

## 4.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental adoptado para cumplir los objetivos de este proyecto es de tipo factorial multinivel, inicialmente se adoptaron dos factores con dos (2) y cuatro (4) niveles como se muestra en la *Tabla 11*, para realizar pruebas preliminares (*numeral 4.4.2*).

*Tabla 11* Relación de factores con su respectiva cantidad de niveles adoptados inicialmente

FACTOR	Descripción	N° de niveles
A	Relación agua/cemento	2
B	Dosificación de exudado por peso de cemento	4

De la tabla anterior, el factor A (relación agua/cemento) es un parámetro que define algunas propiedades del concreto, como la manejabilidad de la mezcla fresca, la porosidad y resistencia a la compresión (Guevara et al., 2012), por lo que es de importancia en los diseños de mezclas para satisfacer diferentes especificaciones requeridas. Por esta razón se implementaron dos niveles (relaciones a/c 0.50 y 0.55), para incorporar este parámetro como





una variable y monitorear su incidencia al variarla levemente y combinarla con las distintas cantidades de exudado, de acuerdo con los resultados de las variables respuesta.

En cuanto al factor B (dosificación de exudado por peso de cemento) se utilizaron 4 niveles, los cuales se seleccionaron de acuerdo con las recomendaciones del estudio “*Adiciones en base a cactus como inhibidor de corrosión para acero de refuerzo en concreto*”, en el que se evalúa la incidencia del *Nopal* o cactus deshidratado en la inhibición de la corrosión del acero, adicionándolo en la matriz del concreto reforzado. Los resultados mostraron que los porcentajes de extracto menores del 1 % no mostraron mejoras de la corrosión, por lo que se recomendaron cantidades entre 1 % y 2 % de nopal deshidratado por peso del cemento de la mezcla, los cuales mostraron mayor inhibición incluso que en las muestras con mayores concentraciones (Torres, Martínez, et al., 2010). Tomando el estudio del nopal como punto de partida, y al tratarse de una sustancia de un árbol diferente, se implementaron cantidades de exudado de cedro por debajo, encima y en el rango de 1 a 2 % en concentración con relación al peso del cemento, los cuáles fueron: 0 %, 0.7 %, 1.5 % y 2.5 % para realizar las pruebas preliminares que determinarían la aceptación parcial o total de estas cantidades para ser utilizadas en la mezcla.

#### 4.4.1. Muestras

Las muestras objeto de estudio, fueron cilindros de concreto de 4 pulgadas de diámetro y 8 pulgadas de altura, fabricadas según la norma NTC 550, bajo la adición de las diferentes cantidades de exudado de *Cedro* (% en peso de cemento, adicionado al agua de amasado), dos relaciones agua/cemento según el diseño experimental y una proporción 1:2:2 en peso de Cemento: Arena: Canto rodado. Teniendo en cuenta lo anterior, se asignaron etiquetas a cada muestra para organizarlas e identificarlas según sus componentes y características, de acuerdo con el tipo de ensayo que se realizó a cada una. Esto, ayudó a tener un mayor control a la hora de realizar las mezclas y los ensayos, de igual forma ayudó a cuantificar el volumen de concreto, así como la cantidad de cada uno de sus componentes requeridos de acuerdo con cada cantidad de exudado y agua. Por esta razón, para este proyecto se adoptaron tres tipos de etiquetas, como se ejemplifica a continuación.

---

**R60 – 00**

**P55 – 07**

**E55 – 25**

---



Donde la primera sección (antes del guion) está compuesta por una letra (R, P o E) que hace referencia al tipo de ensayo realizado (Resistencia a la compresión, Penetración de cloruros y Ecorr) y un número de dos dígitos que denota el porcentaje de la relación agua/cemento. La segunda sección (después del guion) corresponde al porcentaje de exudado empleado en la mezcla de concreto, que es expresado multiplicado por 10, por ejemplo: un 0.70 % de exudado sería expresado en la etiqueta como 07, todo de acuerdo con el diseño experimental.

#### **4.4.2. Pruebas preliminares**

Las pruebas preliminares tuvieron como objetivo monitorear el comportamiento de las probetas de concreto fabricadas con las diferentes concentraciones de exudado adoptadas inicialmente de acuerdo a (Torres, Martinez, et al., 2010), en sus fases tempranas de consolidación y endurecimiento, teniendo en cuenta que es la primera vez que el exudado del *Cedro* es integrado en la mezcla. De esta forma, se aseguró la continuidad del proyecto, debido a que permitió tomar valores de concentración de exudado en los rangos que no generaron anomalías prematuras. A demás, esta prueba piloto fue de vital importancia para tomar la decisión de aceptar o rechazar la adición de determinadas cantidades de exudado de Cedro, convirtiéndose en un referente para futuras investigaciones.

Por otro lado, al mismo tiempo se hizo el monitoreo de las consistencias del hormigón fresco bajo las diferentes combinaciones de relación a/c con cantidad de exudado, buscando unas consistencias favorables para la construcción de muestras cilíndricas aptas para los diferentes ensayos.

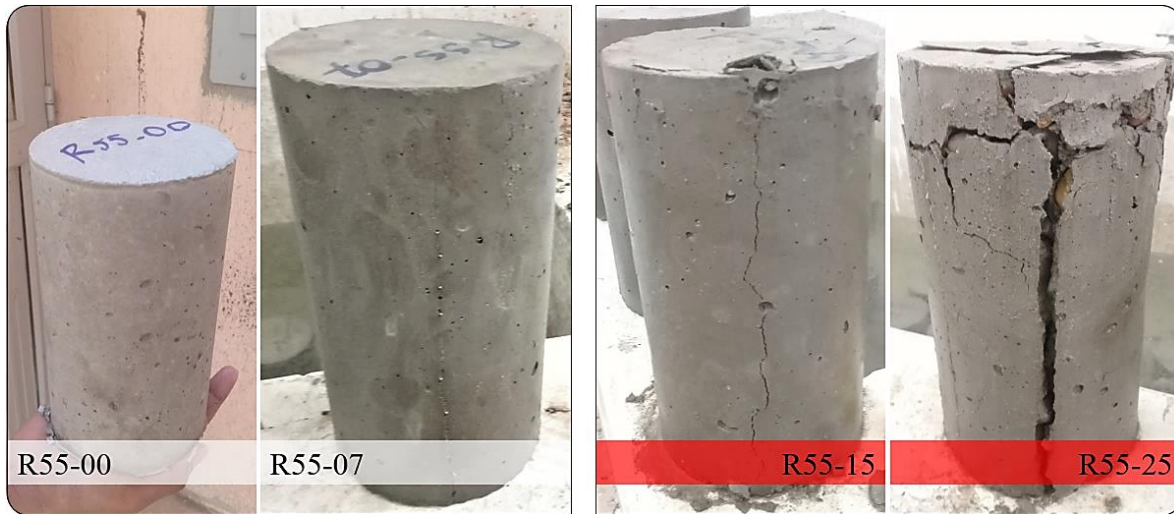
La prueba piloto consistió en fabricar pequeñas mezclas de concreto con la combinación de las dos cantidades de agua con los cuatro porcentajes de exudado, adoptados para el diseño experimental, luego se hizo el ensayo de asentamiento, seguido de la construcción de dos probetas cilíndricas por cada combinación, para posteriormente realizar el seguimiento.

Al implementar las cantidades de exudado de 0.0 %, 0.7 %, 1.5 % y 2.5 % en relación con el peso del cemento de la mezcla del concreto, y al combinarlas con la relación agua/cemento de 0.55, se presentó un deterioro visible de las probetas con las concentraciones de 1.5 y 2.5 % (*Figura 11*), luego de cuatro días a partir de la fabricación de las probetas, comprendidos



en 24 horas de fraguado inicial en el molde de acuerdo con la norma NTC 550, y 48 horas posteriores de curado en agua, tiempo en el cual se notaron los resultados. Mientras que para concentraciones de 0.0 y 0.7 % de exudado no se notaron anomalías, como se puede ver en la *Figura 11*.

**Figura 11** Probetas con adiciones de exudado Cedro y relación a/c 0.55 después de 24 horas de endurecimiento y 48 horas de curado en agua



Por otro lado, implementando las mismas cantidades de exudado bajo una relación a/c de 0.50, no se presentaron anomalías, sin embargo las consistencias de la mayoría de las mezclas fue seca (como se muestra en el numeral 4.4.2.1) lo que generó problemas para construir cilindros de hormigón aptos para ensayos, debido a que quedaron orificios en la superficie como se muestra en la *Figura 12*, lo que restó sección transversal en algunas partes del cilindro y a su vez esto podría ocasionar una disminución espontánea de las resistencias a la compresión posteriormente.

**Figura 12** Muestras huecas superficialmente de relación a/c 0.50





#### 4.4.2.1. Consistencia de las mezclas de concreto

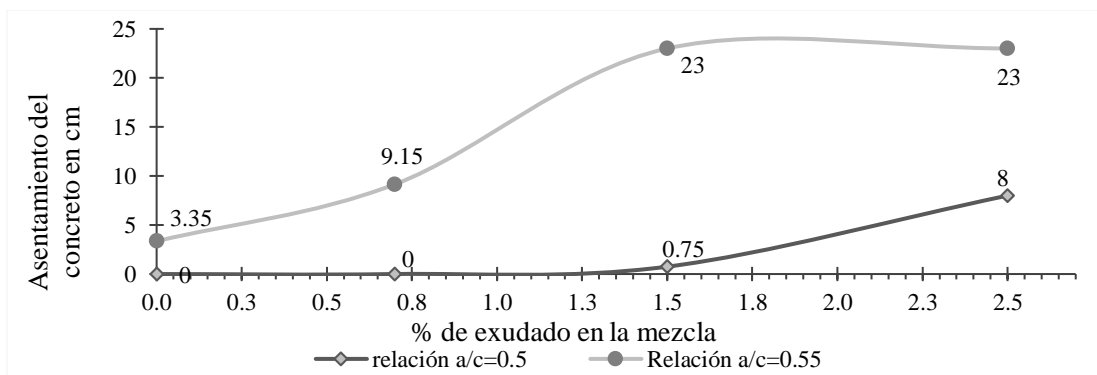
Las consistencias de las mezclas variaron con relación a la cantidad de agua (relación a/c de 0.5 y 0.55) y la concentración de exudado (0.0 %, 0.7 %, 1.5 % y 2.5 %), lo cual se pudo constatar a través del ensayo de asentamiento del hormigo fresco bajo las diferentes combinaciones de cantidades de agua y exudado.

Los valores de asentamiento de las distintas mezclas se registran en la siguiente tabla.

**Tabla 12** Asentamiento de la mezcla de concretos preliminares

Muestra	Asentamiento en cm			Consistencia	Anotación
	slump1	slump2	media		
R50-00	0.00	0.00	0.00	Muy seca	Mezcla suelta y seca
R50-07	0.00	0.00	0.00	Muy seca	Algo viscosa
R50-15	1.00	0.50	0.75	Muy seca	Viscosa
R50-25	8.00	8.00	8.00	Plástica	Cohesiva-no salía del cono
R55-00	3.50	3.20	3.35	Seca	Mezcla húmeda
R55-07	9.30	9.00	9.15	Plástica	Muy húmeda
R55-15	23.0	23.0	23.0	Superfluida	Viscosa-pegajosa
R55-25	23.0	23.0	23.0	Superfluida	Viscosa-pegajosa

**Figura 13** Asentamiento Vs % exudado de cedro adicionado en la mezcla



En la *Figura 13* se evidencia una relación directa de la cantidad de exudado sobre el asentamiento de las mezclas, lo que la hace más manejable a medida que se aumenta la dosis de exudado. Sin embargo, para una relación a/c de 0.50, las consistencias de las mezclas son seca hasta para una cantidad de exudado de 1.5 % del peso del cemento, a pesar de esto también se presenta una relación directa entre la cantidad de exudado y el asentamiento.



#### 4.4.2.2. *Tiempo de fraguado inicial del cemento*

Este ensayo se hizo con el objetivo de descartar o no la incidencia del exudado en concentraciones mayores al 1.0 %, en el tiempo de fraguado y su causa o posible contribución del deterioro de las muestras de relación a/c 0.55. De igual forma se hizo para una relación a/c de 0.6 con el fin de evaluar la posibilidad de implementar una mayor cantidad de agua, debido a que con una relación a/c de 0.50 las mezclas fueron demasiado secas, como muestra el numeral 4.4.2.1.

En primer lugar, como paso previo para determinar el tiempo de fraguado, se realizó el ensayo de consistencia normal de la pasta de cemento que determinó la cantidad de agua óptima para obtener la consistencia adecuada (cuando el vástago del aparato de Vicat penetra 10 mm en la pasta), esto se hizo para 500 g de cemento e implementando la norma *I.N.V. E – 310 – 07* (INVIAS, 2007a). De lo cual se obtuvo una gráfica de penetración en mm versus cantidad de agua en mL (ver gráfica en *Anexo -IB*), de donde se determinó que el volumen óptimo de agua para conseguir una penetración de 10 mm del vástago en la pasta cemento, fue 141.90 mL que representa el 28.38 % en masa de cemento.

Luego se procedió a realizar el ensayo de tiempo de fraguado bajo la norma *I.N.V. E – 305 – 07* (INVIAS, 2007c) implementando la cantidad de agua óptima bajo concentraciones de exudado correspondientes a 1.0, 1.5 y 2.5 % con relación al peso del cemento de la dosificación del concreto, lo que a su vez significa una determinada concentración en el agua, la cual se implementó en los 141.9 mL para hallar el tiempo de fraguado de la pasta y luego compararlo con el resultado obtenido sin emplear exudado, como se indica en la *Tabla 13* para una masa de 500 g de cemento.

Los resultados del ensayo se muestran en las gráficas del *Anexo IC*, de las cuales se sustrajo el tiempo de fraguado inicial en minutos que se muestra en la *Tabla 13*.



**Tabla 13** Tiempo de fraguado de la pasta de cemento bajo las distintas adiciones de exudado

Relación a/c en concreto	Cemento (g)	Exudado en concreto por peso de cemento		Cantidad de agua (L)	Concentración de exudado en agua (g/L)	Exudado en 141.9 mL de agua (g)	Tiempo de fraguado inicial (min)
		%	(g)				
-	-	-	-	-	0.00	0.00	130.4
0.55	500	1.0	5.00	0.275	18.18	2.58	135.0
		1.5	7.50	0.275	27.27	3.87	300.0
		2.5	12.50	0.275	45.45	6.45	311.3
0.60	500	1.0	5.00	0.30	16.67	2.37	187.5
		1.5	7.50	0.30	25.00	3.55	337.5
		2.5	12.50	0.30	41.67	5.91	410.0

De la *Tabla 13* se puede ver una incidencia notoria en el retardo del fraguado inicial de la pasta de cemento adicionada con cantidades de exudado relacionadas con los porcentajes de 1.5 y 2.5 de la sustancia en el concreto. Se puede ver que empleando estas dos dosificaciones de exudado con ambas relaciones a/c, el tiempo de fraguado es más del doble del tiempo que tarda la pasta en endurecer sin la sustancia. Por lo tanto, se puede decir que al menos una causa (en caso de que no haya sido la única) de la destrucción de las probetas de concreto con relación a/c 0.55 construidas en las pruebas preliminares bajo las dosificaciones de 1.5 y 2.5 % de exudado, fue la imposibilidad de alcanzar el adecuado fraguado en las 24 horas posteriores a la fabricación, por lo que el concreto pudo necesitar más tiempo en el proceso de endurecimiento. Por otro lado, bajo una relación a/c 0.60 el fraguado tardó mucho más, siendo menores las concentraciones de exudado en el agua.

Por otra parte, aunque el tiempo de fraguado también fue mayor bajo una dosificación de exudado correspondiente al 1 % del peso del cemento, la diferencia con respecto al tiempo de endurecimiento sin exudado no fue tan marcada (como se muestra en la *Tabla 13*); para una relación a/c 0.55 la diferencia fue de apenas 4.6 minutos, lo que es consecuente con que las probetas con cantidades de 0.7 % de exudado no hayan sufrido daños, estando por debajo del 1 %. Sin embargo, si se empleara una relación a/c 0.60 y dosificación de exudado del 1 % en la fabricación de las probetas, el fraguado de la pasta de cemento sugiere emplear más tiempo para el endurecimiento de los cilindros antes de iniciar su curado en agua.



A partir de los resultados de las pruebas preliminares, se pudo descartar las cantidades de 1.5 y 2.5 % de exudado de Cedro para ser usadas en las probetas de concreto para los diferentes ensayos de esta investigación, debido a que no hubo certeza sobre el tiempo de fraguado bajo estas concentraciones. Por esta razón, para dar continuidad al proyecto se adoptaron concentraciones de exudado por debajo del 1 % del peso del cemento como en (E. F. Hernández et al., 2016) , y relaciones a/c de 0.55 y 0.60, con un tiempo de 48 horas para la fase de endurecimiento de los cilindros de concreto posterior a su fabricación antes del curado en agua.

#### 4.4.3. Diseño experimental definitivo

De acuerdo con los resultados de las pruebas preliminares, el diseño experimental definitivo quedó estructurado con dos factores de dos y cinco niveles, como se muestra en la *Tabla 14*.

**Tabla 14** Cantidad definitiva de niveles de los factores involucrados en el proyecto

FACTOR	Descripción	N° de niveles
A	Relación agua/cemento	2
B	Dosificación de exudado por peso de cemento	5

Se adoptaron nuevas concentraciones de exudado de 0.0 a 0.9 % con relación al peso del cemento, los cuales fueron 0.3 %, 0.5 %, 0.7 % y 0.9 % además de las muestras blanco con 0.0 %, para completar 5 niveles del factor B.

Por otro lado, se adoptaron las relaciones a/c de 0.55 y 0.60, para obtener consistencias en las mezclas que permitieron construir probetas actas para los diferentes ensayos, y de paso tener las condiciones de un concreto de mayor permeabilidad para asegurar el ingreso de cloruros en menor tiempo y poder cuantificar las mejoras bajo estas condiciones adversas.

#### 4.4.4. Cantidad de muestras y montajes experimentales

##### 4.4.4.1. Composición química y características reológicas del exudado de Cedro

Luego del proceso de obtención del exudado, se realizaron las pruebas para determinar su composición química, mediante las técnicas de *Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (GC/MS por sus siglas en inglés)*. Para esto se emplearon 15 gramos de exudado de cedro de tamaño máximo 1.18 mm (tamiz N° 16).



Por otro lado, se realizaron pruebas reológicas, específicamente de viscosidad del agua de mezclado bajo la adición de tres cantidades representativas de exudado en porcentaje del peso del cemento (0.0 %, 0.3 %, 0.5 % y 0.9 %). Las pruebas se llevaron a cabo en el laboratorio del grupo de investigación *Ingeniería de Fluidos Complejos y Reología de Alimentos – IFCRA* del programa de Ingeniería de Alimentos, con el objetivo conocer las variaciones de la viscosidad en función de las diferentes concentraciones. Para tal fin se emplearon en total 5 gramos del exudado de tamaño máximo 0.150 mm (N° 100)

#### 4.4.4.2. Profundidad de penetración de cloruros

Este montaje experimental concierne a las pruebas para determinar la profundidad de penetración de los cloruros, para esto las muestras fueron sometidas a ciclos de humectación-secado en solución salina durante 90 días, como paso previo en el proceso. Para tal fin, se adoptaron 2 especímenes para cada combinación de factores, resultando un numero de 20 probetas, como se muestra en la *Tabla 15*.

#### 4.4.4.3. Probabilidad de corrosión del acero

Para determinar la probabilidad de corrosión del acero a través de los potenciales eléctrico de corrosión (Ecorr), se tomaron 17 lecturas (una en tiempo cero y el resto después de cada ciclo de humectación y secado), para lo cual se adoptó una muestra por cada combinación de factores, es decir, un número de 10 especímenes como se muestra en la *Tabla 15*.

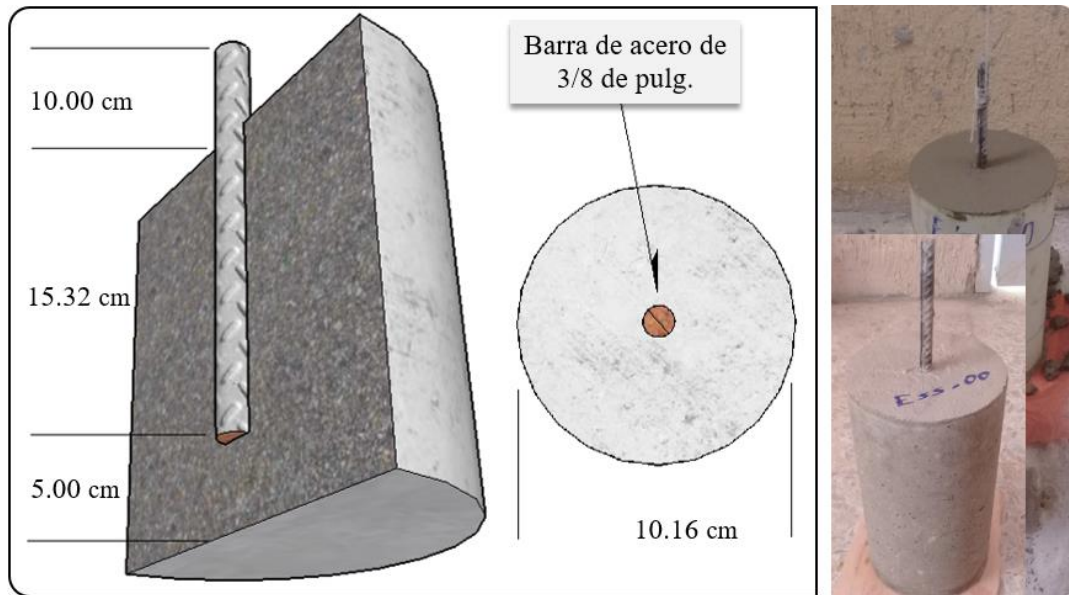
**Tabla 15** Numero de muestras para las pruebas de penetración de cloruros y potencial eléctrico.

FACTORES		N° de muestras	
A	B	Penetración de cloruros	Prueba Ecorr
55%	0.00%	2	1
	0.30%	2	1
	0.50%	2	1
	0.70%	2	1
	0.90%	2	1
60%	0.00%	2	1
	0.30%	2	1
	0.50%	2	1
	0.70%	2	1
	0.90%	2	1
Subtotal N° muestras		20	10
<b>Total N° muestras</b>		<b>30</b>	



Por su parte, las 10 probetas correspondientes al segundo montaje experimental contaron con una barra de acero ASTM 706 de 3/8 de pulgada de diámetro incrustada en el hormigón y 10 centímetros libres del recubrimiento, esta última longitud se usó como polo positivo en la prueba de potencial eléctrico como se indica en la *Figura 14*.

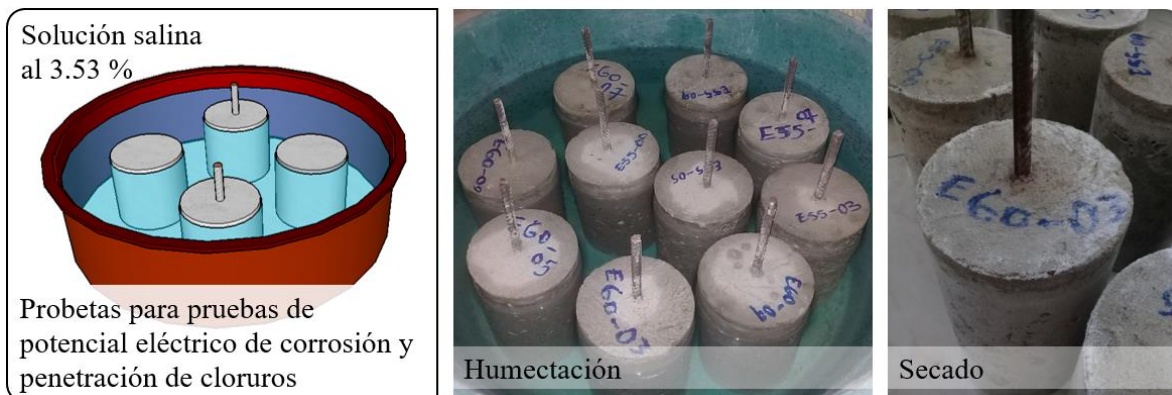
**Figura 14** Esquema de las probetas reforzadas para pruebas de potencial eléctrico



Fuente. Autores

Durante la humectación las probetas quedaron sumergidas hasta justo debajo de la arista superior, evitando que la solución salina quedara en contacto directo con la barra de acero, como se ilustra en la *Figura 15*.

**Figura 15** Montaje experimental para la humectación de las probetas en solución salina



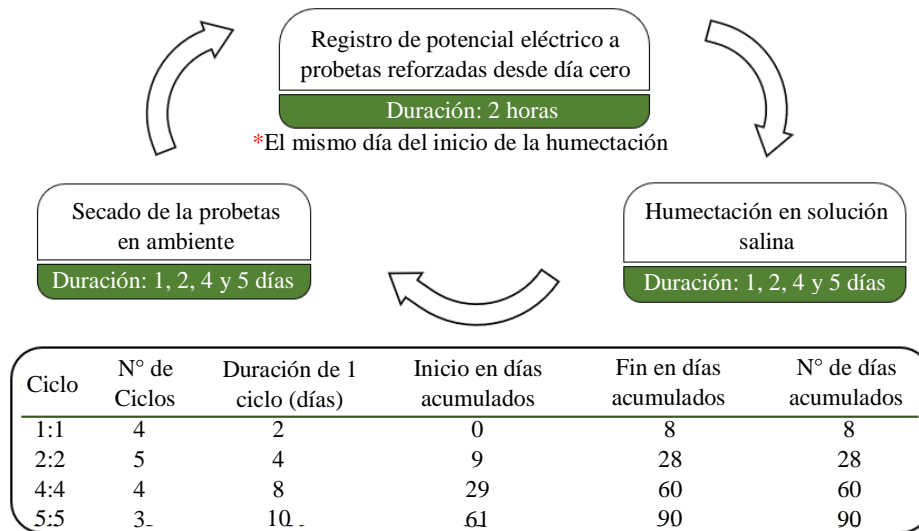
Fuente. Autores



- *Ciclos de humectación-secado (H-S)*

Los ciclos de humectación-secado consistieron en un tiempo de inmersión de las probetas de concreto en solución salina y un tiempo igual de secado en ambiente, implementando ciclos 1:1, 2:2, 4:4 y 5:5 de manera creciente durante 90 días. El tiempo total adoptado de 90 días, es de acuerdo a los estudios de (Okeniyi et al., 2014) y (Carvajal & Guzmán, 2005). En la *Figura 16* se muestra el esquema a detalle de lo mencionado anteriormente.

**Figura 16** Ciclos de humectación-secado de las probetas de concreto



- *Solución salina*

Una de las variables intervinientes para la inmersión de las probetas en solución salina durante los ciclos de humectación-secado, fue la concentración de NaCl. En ese sentido, buscando aplicabilidad en las condiciones ambientales de la ciudad de Cartagena de indias, se tomó el valor de salinidad del agua de mar de esta ciudad, que es 3.53 % según un análisis fisicoquímico realizado en el laboratorio de calidad ambiental de la corporación autónoma regional del Canal del Dique (Vives Perez, 2016). Para obtener la solución se utilizó sal marina procesada naturalmente por evaporación solar.

4.4.4.4. *Ensayos de asentamiento de la mezcla de concreto*

En el montaje experimental correspondiente a las pruebas para determinar la manejabilidad del concreto fresco a través del ensayo del asentamiento para cada una de las mezclas con



diferentes cantidades de exudado según la norma NTC 396, se adoptó un número duplicado de ensayos para cada combinación de factores con el fin de promediar los datos. En la *Tabla 16* se muestra la cantidad de concreto que se empleó para el ensayo.

**Tabla 16** *Volumen de concreto requerido para las pruebas de asentamientos del concreto*

FACTORES		N° de ensayos	Volumen de concreto por ensayo (m <sup>3</sup> )
A	B		
55%	0.00%	2	0.0061
	0.30%	2	0.0061
	0.50%	2	0.0061
	0.70%	2	0.0061
	0.90%	2	0.0061
60%	0.00%	2	0.0061
	0.30%	2	0.0061
	0.50%	2	0.0061
	0.70%	2	0.0061
	0.90%	2	0.0061
<b>Total</b>		<b>20</b>	<b>0.0610</b>

#### 4.4.4.5. *Ensayos de resistencia a la compresión*

Para el ensayo de resistencia a la compresión de las probetas de concreto a los 28 días según la norma NTC 673, se adoptaron 3 probetas para cada combinación de factores (*ver Tabla 17*), el cual es el número de cilindros recomendado por la norma NSR-10 para cilindros con dimensiones 100 mm x 200 mm.

**Tabla 17** *Número de Probetas para pruebas de resistencia a la compresión del concreto a 28 días*

FACTORES		N° de probetas
A	B	
55%	0.00%	3
	0.30%	3
	0.50%	3
	0.70%	3
	0.90%	3
60%	0.00%	3
	0.30%	3
	0.50%	3
	0.70%	3
	0.90%	3
<b>Total N° muestras</b>		<b>30</b>



Finalmente, para todos los ensayos resulta un número de 60 probetas o cilindros que demandan 0.10 m<sup>3</sup> de concreto.

#### **4.5. MÉTODOS DE RECOLECCIÓN Y ANALISIS DE LA INFORMACIÓN**

Los datos experimentales se recolectaron según las normas que rigen cada ensayo de laboratorio necesarios para alcanzar los objetivos de este proyecto. A continuación, se hace la descripción de cada uno de los procesos.

##### **4.5.1. Composición química y característica reológicas del exudado**

Es de mucha importancia conocer la composición química y las características reológicas del Exudado *C. Odorata L.*, si se quiere evaluar la incidencia que tiene este en el proceso de la corrosión, debido a que son las reacciones entre moléculas o partículas dentro del universo microscópico, quienes describen los comportamientos de dichos fenómenos. Según (Loaiza Fernandez & Vidales Manrique, 2013) en su investigación con el extracto de las hojas de Neem, se lograron identificar dos componentes orgánicos responsables de la capacidad inhibidora de la corrosión, los taninos y fenoles. Por otra parte, según (E. F. Hernández et al., 2016) al evaluar la influencia de una solución de mucílago de cactus y algas (pH 9.8) que contenía CaCl<sub>2</sub> 0.1 M, se observó un aumento de la viscosidad en 750 veces más que el agua. Dichos cálculos indicaron que es posible que la viscosidad pueda contribuir a una reducción de hasta 42 % del coeficiente de difusión. Por esta razón, se realizaron los siguientes estudios basados en los factores influentes en el proceso de corrosión según los estudios mencionados.

##### *4.5.1.1. Composición química a través de GC/MS*

Para determinar la composición química del exudado de *Cedro* a través de cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (GC/MS), se empleó un cromatógrafo de gases Agilent Technologies 7890A equipado con un detector espectrómetro de masas con cuadrupolo 5975C, bajo las siguientes condiciones de preparación de la muestra analizada y del equipo empleado en el laboratorio.



**Tabla 18** Condiciones y parámetros del análisis cromatográfico

TRATAMIENTO DE LA MUESTRA DE EXUDADO	
Peso de la muestra	9.4238 g de exudado de Cedro
Solvente	Mezcla de solventes compuesta por 14 mL de Acetona, 10 mL de Etanol y 1 mL de agua doblemente desionizada
Procedimiento	Se disolvió el total de la muestra en la mezcla solvente, luego se colocó en un vial de capacidad de 2 mL y se inyectó 1 $\mu$ L en el cromatógrafo de gases acoplado a espectrometría de masas.
CONDICIONES DEL EQUIPO	
Puerto de inyección	Sin división
Temperatura	280 °C
Columna capilar	HP-5 con un flujo de 1.2 ml/min, longitud de la columna de 30 metros
Gas de arrastre utilizado	Helio
Programación del horno	Temperatura inicial de 40 °C durante 2 minutos, con una rampa de temperatura de 4 °C/min hasta 290 °C durante 20 minutos
Tiempo de retención total de la muestra	84.5 min
Detector	Masa con una temperatura de 300 °C

**Figura 17** Sistema de equipos empleados en el análisis cromatográfico



A partir de este análisis, el software integrado al equipo generó una gráfica de abundancias de los compuestos separados, en relación con sus respectivos tiempos de retención. A la vez generó una relación de estas abundancias con una relación masa/carga del compuesto obtenido en el tiempo de retención, a través de los espectros de masa. Posteriormente, el software comparó las características de los componentes obtenidos con una base integrada de datos de moléculas, arrojando la identidad del compuesto bajo porcentajes de confiabilidad, de los cuales se validaron y seleccionaron aquellos con los porcentajes mayores al 80 %.



#### 4.5.1.2. Análisis de la viscosidad del exudado

Con la gráfica de viscosidad dinámica  $\eta$  en cP versus Tasa de corte  $\gamma$  (1/s), se analizaron las variaciones de la viscosidad de las soluciones de exudado, respecto de las variaciones del agua, teniendo en cuenta la influencia que tuvo la viscosidad en la reducción del coeficiente de difusión de los cloruros a través del concreto según (E. F. Hernández et al., 2016).

Para tal fin, se diluyeron las tres cantidades de exudado en 50 mL de agua, necesarias para obtener las concentraciones en g/L que se muestran en la *Tabla 19*.

**Tabla 19** Concentraciones de exudado en agua para pruebas de viscosidad

Relación a/c	% exudado por peso de cemento	Concentración (g/L)
0.55	0.30%	5.455
	0.50%	9.091
	0.90%	16.364

Estas soluciones finalmente se inyectaron en un reómetro ThermoFisher SCIENTIFIC para determinar sus respectivas viscosidades dinámicas y compararlas con la del agua.

**Figura 18** procedimientos del ensayo para determinar la viscosidad

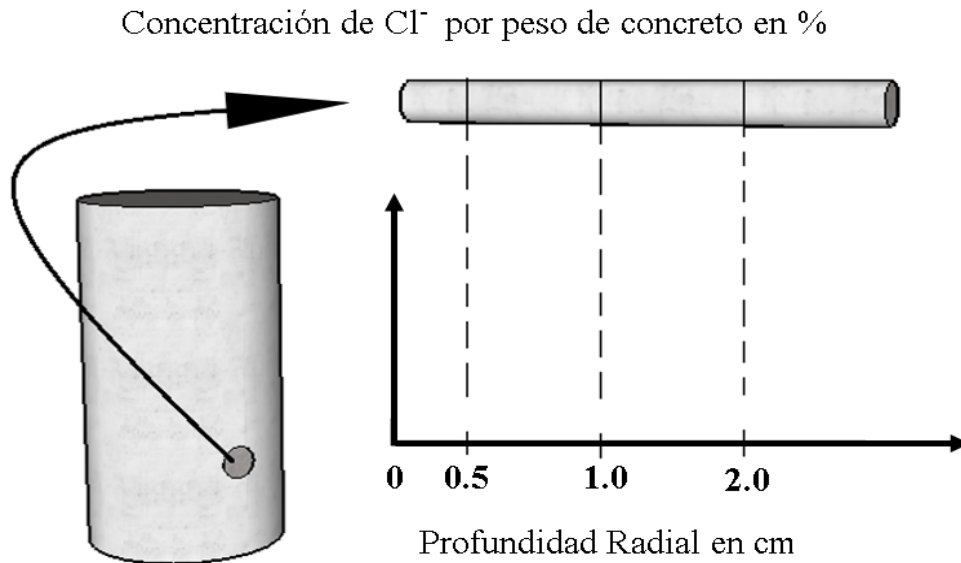


#### 4.5.2. Profundidad de penetración de cloruros

Para determinar la profundidad de penetración de los cloruros desde la superficie hasta la estructura interna del concreto, se tomó como referencia la metodología empleada por (Villabona Duran & Gómez Méndez, 2012). Al igual que en dicho estudio, se determinó la

concentración de cloruros en tres distancias radiales desde la superficie hacia el centro de la probeta en profundidades de 0.5 cm, 1.0 cm y 2.0 cm para construir un perfil de concentración de cloruros Vs profundidad, en este caso después de los 90 días de ciclos de humectación-secado en solución salina (ver *Figura 19*).

**Figura 19** Esquema de la muestra objeto de análisis



Fuente. Autores.

#### 4.5.2.1. Procedimiento

Siguiendo la misma metodología, se obtuvieron muestras pulverizadas de hormigón a partir de la perforación a las profundidades descritas con la ayuda de un taladro percutor, para luego obtener el porcentaje de cloruros solubles en agua por cantidad en masa de concreto. Para esto, de acuerdo con la norma ASTM C1218/C1218M (ASTM International, 2017) se tomó una muestra de 20 g del hormigón pulverizado de tamaño máximo  $850\mu\text{m}$  (Tamiz N° 20) como se muestra en la *Figura 20*.



**Figura 20** Obtención de las muestras pulverizadas de hormigón en las diferentes profundidades



Posteriormente se diluyó una cantidad de la muestra en 50 mL de agua doblemente desionizada, luego se tomó una alícuota de esta disolución y se le adicionaron 3 gotas del indicador Cromato de potasio ( $K_2CrO_4$ ) agitándola hasta obtener un color amarillento. Seguidamente, con una bureta de 10 mL llena de solución de Nitrato de plata ( $AgNO_3$  0.0141N), se tituló la alícuota gota a gota agitándola después de cada adición hasta obtener un color rojizo, anotando finalmente el volumen gastado en mL de  $AgNO_3$ .

Para calcular el contenido de iones cloruros en la muestra se emplearon las siguientes expresiones.

$$\left(\frac{mg}{L}\right) Cl^- = \frac{V_{AgNO_3} * N * 35.45 * 1000}{V_s} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$V_{AgNO_3}$  = Volumen gastado de la solución  $AgNO_3$  en titulación de la muestra (punto de equilibrio) en mL.

$N$  = Normalidad de la solución de  $AgNO_3$  (0.0141 N) ( $N^\circ$  Equivalente/Litros)

Peso atómico del ion cloruro = 35.45 g/mol.

$V_s$  = volumen de la solución en ml (10 mL).



Para determinar el porcentaje de  $Cl^-$  por peso de concreto, primero se determinó la cantidad de  $Cl^-$  en los 50 mL de la disolución por regla de tres, luego este resultado se dividió entre la masa de concreto diluida en los 50 mL, como se muestra en la siguiente expresión.

$$(\% \text{ p/p}) Cl^- = \left[ \left( \frac{V_{AgNO_3} * 0.0141 * 35.45 * 1000}{10 \text{ mL}} \right) * \left( \frac{50 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} \right) * \left( \frac{1}{m_{concreto} (g) * 1000} \right) \right] * 100$$

$$(\% \text{ p/p}) Cl^- = \frac{V_{AgNO_3} * 0.25}{m_{concreto} (g)} \quad \text{Ecuación 4}$$

#### 4.5.2.2. Análisis de la información

Para evaluar la incidencia del exudado de cedro en la penetración de los cloruros en la matriz del concreto, se tabularon los resultados de concentración de cloruros en las tres distancias radiales de las probetas (0.5, 1.0 y 2.0 cm) correspondientes a cada una de las cantidades de exudado adicionado en la mezcla, con los cuales se construyeron gráficas de dispersión de concentración de cloruros en porcentaje vs profundidad radial en centímetros. De esta manera se compararon entre si las diferentes series correspondientes a cada adición de exudado, buscando favorabilidades de la implementación de la sustancia, frente a la reducción de la penetración de los cloruros.

Por otra parte, se compararon los resultados con el valor estándar máximo permisible de concentración de iones cloruros por peso de concreto, el cual es 0.15 % según norma NSR-10 empleando el método de ensayo ASTM C1218/C1218M (ver Tabla 3).

#### 4.5.3. Probabilidad de corrosión del acero

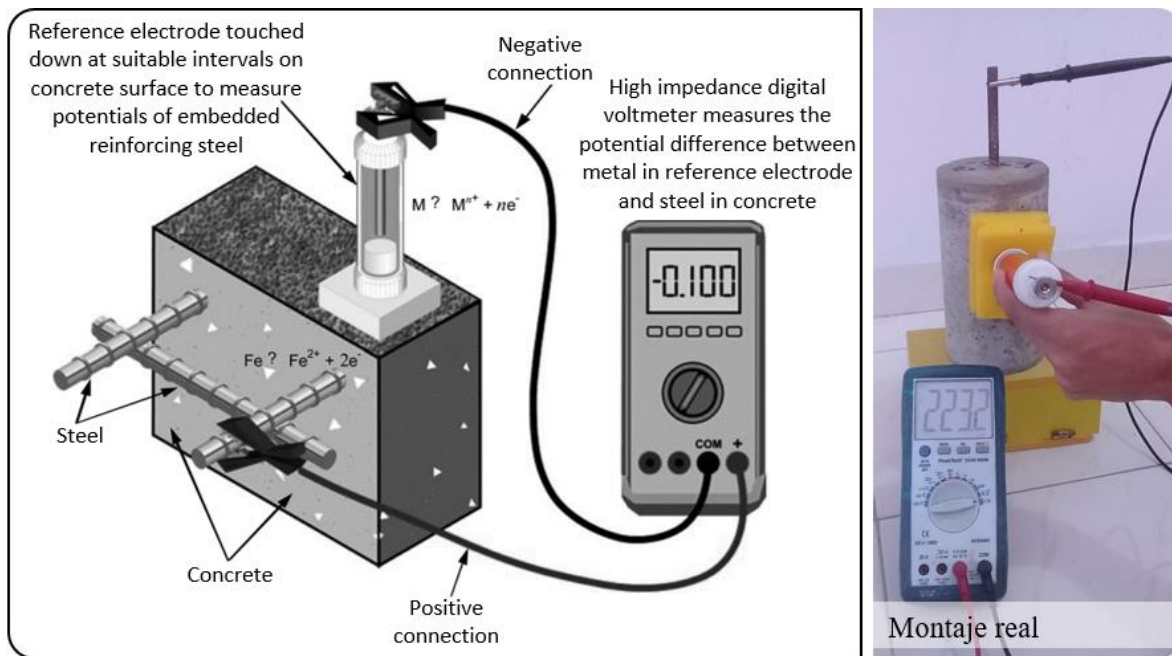
La probabilidad de la corrosión del acero de refuerzo se determinó a través del potencial eléctrico de corrosión, luego de completar cada ciclo de humectación y secado de las probetas de hormigo en solución salina, en un tiempo total de 90 días.

##### 4.5.3.1. Procedimiento

La medición del potencial eléctrico de corrosión se realizó con un electrodo de referencia externo de  $Cu/CuSO_4$  (ver detalles en Anexo 5A), el cual se conectó a un multímetro de alta impedancia como se muestra en la Figura 21. Para tal fin, la toma de las lecturas consistió en registrar 10 datos en diferentes puntos alrededor de la probeta, a los cuales se les hizo un

tratamiento de datos mediante la prueba de *Grubbs* (Grubbs, 1950, 1969) con el objetivo de identificar y desechar los datos atípicos y realizar un promedio de los datos restantes (*Anexo 5B*). Por su parte los valores se interpretaron según la norma ASTM C876 (ASTM International, 2015) y de esta manera se estableció el riesgo de corrosión del acero bajo las distintas cantidades de exudado en la probeta de concreto durante los 90 días en constantes ciclos de humectación y secado.

**Figura 21** Esquema de medición de potencial eléctrico de corrosión según ASTM C876



Fuente. (ASTM International, 2015) adaptado por autores

#### 4.5.3.2. Análisis de la información

Para el análisis de los datos, se tuvo en cuenta la cinética de los valores de potencial que se registraron de acuerdo con unos criterios de la norma de ensayo ASTM C876, los cuales se muestran en la *Tabla 20*.

**Tabla 20** Potencial eléctrico de corrosión en voltios y su relación con los criterios de probabilidad de desarrollo de corrosión en el acero, según la norma ASTM C876.

Potencial eléctrico	Criterio
> de -0.2 V	10% de probabilidad de que ocurra corrosión
de -0.2 V a -0.35 V	Incertidumbre
< -0.35 V	90% de probabilidad de que ocurra corrosión

Fuente. (ASTM International, 2015) adaptado por autores



Finalmente, se determinó la incidencia del exudado de cedro en el proceso de corrosión del acero, comparando los resultados de las gráficas de dispersión (una por cada relación a/c) que relacionaron potencial eléctrico en voltios versus tiempo acumulado en días de la toma de cada lectura de potencial, mostrando en las mismas los umbrales definidos en la *Tabla 20*. Estas gráficas contienen la cantidad de series necesarias para relacionar las diferentes concentraciones de exudado. De esta manera se miraron los valores y las tendencias de las gráficas, buscando resultados favorables, neutros o desfavorables frente a la utilización de las diferentes cantidades de exudado en las mezclas de concreto, para disminuir el riesgo de corrosión del acero.

#### 4.5.4. Pruebas de asentamiento de mezcla de concreto

Teniendo en cuenta el control de calidad de los diseños de las mezclas, se hicieron pruebas de asentamiento (prueba de Slump) para evaluar la posible incidencia del exudado, en la variación de este parámetro teniendo como referencia las muestras blanco.

##### 4.5.4.1. Procedimiento

Luego del proceso de mezclado, inmediatamente se procedió a realizar el ensayo de asentamiento de las mezclas elaboradas con las diferentes cantidades de exudado en el agua de mezclado, como se muestra en la *Figura 22*. Siguiendo para esto los criterios y las disposiciones contenidas en la norma NTC 396 (ICONTEC, 1992).

*Figura 22* Ensayo de asentamiento de las distintas mezclas de concreto





#### 4.5.4.2. *Análisis de la información*

Para evaluar la influencia del exudado en el asentamiento de la mezcla fresca de concreto, se graficaron los valores experimentales de asentamiento versus porcentaje de exudado para las dos series de relación a/c, y de esta forma se miraron las tendencias y comportamientos de la manejabilidad con el aumento de las cantidades de exudado adicionado. De igual forma se compararon los valores de asentamientos bajo la adición de cada cantidad de exudado respecto a las mezclas de control.

#### 4.5.5. **Ensayos de resistencia a la compresión**

Tratándose de concreto, el ensayo más importante en el control de las especificaciones de calidad es el de resistencia mecánica o resistencia a la compresión a los 28 días de edad, debido a que en este tiempo se alcanzan los valores máximos de resistencia de diseño bajo condiciones normales, empleando cemento tipo I y sin adicionar ningún producto que acelere la obtención de la resistencia de diseño.

En ese sentido, al adicionar el exudado gomoso de *C. Odorata L.* los valores de resistencia podrían verse afectados, por esta razón fue conveniente monitorear la incidencia de este producto, en sus diferentes cantidades en las mezclas, en la variación de la resistencia a los 28 días de edad respecto a un valor de resistencia de control, el de las muestras blanco.

##### 4.5.5.1. *Procedimiento*

Esta prueba se hizo en cumplimiento de las disposiciones y procedimientos establecidos en la norma de ensayo I.N.V. E – 410 – 07 y NTC 673 (INVIAS, 2007b) (ICONTEC, 2010). Para esto en primer lugar, cumplidos los 28 días de curado, se extrajeron los cilindros de la alberca llena de agua y se midieron sus diámetros. Luego, en menos de dos horas posterior a esto, se ensayaron (ver *Figura 23*).





**Figura 23** Procedimientos del ensayo de resistencia a la compresión de las probetas de concreto



#### 4.5.5.2. Análisis de la información

Para evaluar la incidencia del exudado del árbol de Cedro en la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días de edad, se compararon los valores obtenidos en los ensayos realizados a las probetas de diferentes contenidos de exudado y agua, con los valores de resistencia de las muestras de control o muestras blanco, a través de la siguiente expresión.

$$I\% = \left( \frac{C_{RE} - C_{RB}}{C_{RB}} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde  $I$  es la eficiencia en porcentaje,  $C$  la resistencia a la compresión en psi,  $R$  la relación agua/cemento de la muestra,  $B$  denota muestra blanco y  $E$  es el porcentaje de exudado de la muestra.





## 5. RESULTADOS ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Los diferentes ensayos para alcanzar los objetivos de este proyecto fueron ejecutados durante 120 días. A continuación, se muestran los resultados de todo el proceso experimental.

Como un resultado previo, se presentan los tiempos de fraguado de la pasta cemento, ensayo bajo el cual se permitió descartar la implementación del exudado del Cedro en cantidades iguales o mayores al 1 % en la mezcla de concreto.

**Tabla 21** Resultados prueba preliminar, ensayo del fraguado de la pasta de cemento

Relación a/c	Exudado por peso de cemento (%)	Concentración de exudado en agua (g/L)	Tiempo de fraguado inicial (minutos)
	Muestra de control	0.00	130.4
0.55	1.0	18.18	135.0
	1.5	27.27	300.0
	2.5	45.45	311.3
0.60	1.0	16.67	187.5
	1.5	25.00	337.5
	2.5	41.67	410.0

\*(sacado del apartado 4.4.2 de este trabajo - pruebas preliminares)

A partir de los tiempos de fraguado inicial en minutos, registrados en la *Tabla 21*, se puede ver como ocurre un retardo del fraguado de la pasta al implementar las concentraciones de exudado iguales o mayores al 1 %, respecto de la muestra de control (130,4 minutos). En relación con lo anterior, los resultados más adversos se alcanzan a partir de la implementación del 1.5 % del exudado, llegando a tardar al menos 300 minutos en alcanzar el fraguado inicial, lo cual significa el doble de tiempo respecto a la muestra de control. Por su parte, el tiempo más desfavorable fue de 410 minutos bajo la adición del 2.5 % de exudado y bajo una relación a/c 0.6.

Debido a todo esto, se implementaron cantidades de la sustancia en porcentajes iguales o menores al 0.9 % del peso del cemento, para dar continuidad al proyecto, implementando, además, el doble de tiempo en la fase de endurecimiento de los cilindros de concreto antes del curado en agua. Lo anterior se puede ver con más detalles en el apartado 4.4.2 *pruebas preliminares*.

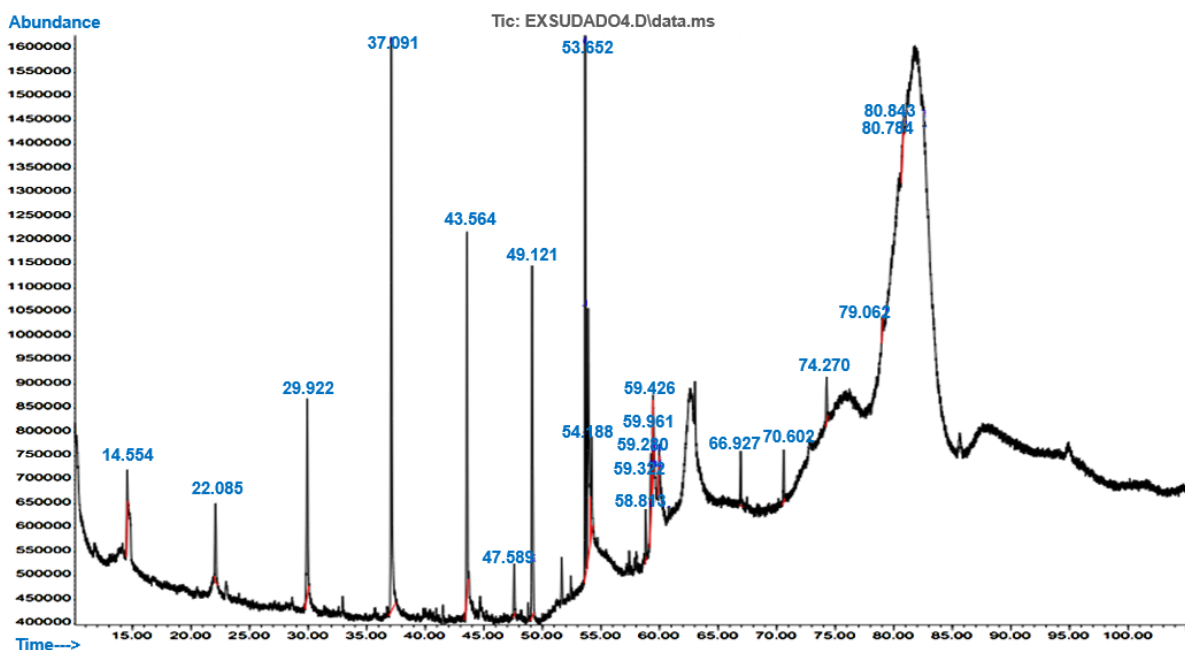


## 5.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CARACTERÍSTICAS REOLOGICAS DEL EXUDADO DEL CEDRO

### - Composición química

A partir del informe entregado por el analista químico del laboratorio del programa de Química Farmacéutica de la Universidad de Cartagena, el cual presenta la composición química del exudado del árbol de cedro a través de la cromatografía (GC-MS), se seleccionaron 10 compuestos que representan aproximadamente el 50% de la muestra analizada siendo los más representativos entre ellos los siguientes compuestos comúnmente conocidos como: *Isopropyl Myristate*, *Ftalato de dibutilo* y *Ácido palmítico* con porcentajes de 11.952, 14.839 y 12.712% respectivamente. Por otro lado, no se tiene certeza del nombre del compuesto correspondiente al pico # 4 que fue el más representativo en la muestra con un 21.26 %, pero bajo una confiabilidad del 38%. La *Figura 24* representa el cromatograma obtenido.

**Figura 24** Picos cromatográficos: abundancias y tiempo de retención



En la *Tabla 22* se recopila la información relativa a los compuestos seleccionados de la espectrometría de masas para cada tiempo de retención (*Ver anexo 3A*). Dentro de la cromatografía de gases realizada no se encontraron explícitamente compuestos o grupos funcionales relacionados con los taninos y los fenoles. Sin embargo, no se descarta la presencia



de estos en la muestra, debido a que, por un lado, se tiene la incertidumbre de los picos que no se tuvieron en cuenta por tener porcentajes de confiabilidad menores al 80 %, teniendo en cuenta por cada pico el software arroja 3 posibles compuestos con diferentes confiabilidades según sus bases de datos. En ese sentido, cabe la posibilidad de encontrar compuestos diferentes con mayor confiabilidad para cada espectro de masa en bases de datos más amplias, de manera que no se descarta una posible presencia de taninos, fenoles o alguno de sus grupos funcionales; teniendo en cuenta que hay estudios que comprueban la presencia de estos en el árbol de Cedro, como se vio en el marco teórico. Por otro lado, la cromatografía de gases se emplea cuando los componentes de la mezcla problema son volátiles o semivolátiles y térmicamente estables a temperaturas de hasta 350-400°C. En cambio, cuando los compuestos a analizar son poco volátiles y/o termolábiles, la técnica separativa adecuada suele ser la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) (Gutiérrez & Droguet, 2002) Sin embargo, por cuestiones de disponibilidad, tiempo y economía la técnica HPLC no fue realizada.

**Tabla 22** Información relativa al cronograma obtenido por GC-MS para el exudado *C. Odorata L.*

# de pico	Tiempo de retención (min)	Componente Químico	% Confiabilidad	% en la muestra
1	14.554	Cyclotetrasiloxane, octamethyl	91	0.893%
2	22.085	Cyclopentasiloxane, decamethyl	87	2.963%
3	29.922	Acetic acid, [bis(trimethylsilyloxy)phosphiny]-, trimethylsilyl ester	39	7.355%
4	37.091	Pentasiloxane, dodecamethyl-	38	21.267%
5	43.564	Silane, [[4-[1,2-bis(trimethylsilyloxy)ethyl]-1,2-phenylene]bis(oxy)]bis(trimethyl-	47	9.660%
6	47.589	(1H)Pyrrole-2-carbonitrile, 5-methyl-	30	1.525%
7	49.121	Isopropyl Myristate	99	11.952%
8	53.652	Dibutyl phthalate	97	14.839%
9	53.891	n-Hexadecanoic acid	98	12.712%
10	54.188	Heptasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13-tetradecamethyl-	35	4.007%
11	58.813	Pentasiloxane, dodecamethyl	22	1.497%
12	59.280	Cyclopentadecanone, 2-hydroxy-	93	2.141%
13	59.322	9-Octadecenoic acid (Z)-, 2,3-dihydroxypropyl ester	86	0.160%
14	59.426	Octadec-9-enoic acid	96	1.684%
15	59.446	9-Octadecenoic acid, (E)-	97	1.453%
16	59.961	9-Octadecenoic acid, (E)-	95	0.150%
17	66.927	Trisiloxane, 1,1,1,5,5,5-hexamethyl-3,3-bis(trimethylsilyloxy)-	25	1.737%
18	70.602	: Pentasiloxane, dodecamethyl-	22	1.680%
19	74.270	N-Benzyl-N-ethyl-p-isopropylbenzamide	18	1.647%
20	79.062	iso-Propyl 9-.cis.,11-.trans.-octadecadienoate	60	0.209%
21	80.784	Z,E-2,13-Octadecadien-1-ol	86	0.410%
22	80.843	1,E-8,Z-10-Hexadecatriene	96	0.061%
$\Sigma$				100.00%



Durante el uso y la manipulación del Exudado del cedro, se lograron distinguir propiedades y características tales como: la viscosidad, mal olor, dificultad en la solubilidad de algunos grumos de la sustancia e incidencia en la manejabilidad de los concretos con las diferentes concentraciones. En la *Tabla 23* se registraron las características de cada uno de los compuestos, relacionadas con las observaciones descritas anteriormente, de manera que se pudo evidenciar que la mayoría de estos son prácticamente insolubles en agua excepto el compuesto Ftalato de dibutilo el cual presento una solubilidad en agua de 11.2 mg/L a (20°C) que fue la mayor de todas y a la vez posee la segunda mayor viscosidad dinámica con 20.3 mPa.s (20°C). En ese orden de ideas, el Ftalato de dibutilo, que posee una alta gama de aplicaciones industriales y lleva más de 50 años siendo utilizado como plastificantes en resinas y polímeros (Farzanehfara, Faizia, Naderia, & Kobarfardb, 2017) (Fang, Long, & Shen, 2015); podría ser uno de los potenciales causantes de la alteración de la manejabilidad de la mezcla de concreto adicionado con exudado de Cedro.

**Tabla 23** Características de los compuestos: Solubilidad, Olor, Viscosidad.

# de pico	Nombre mas conocido	Formula quimica	Peso molecular (g/mol)	% en la muestra	% Confiabilidad	Solubilidad en Agua	Olor	Viscosidad (mPa.s -°C)
1	Cyclomethicone 4	C <sub>8</sub> H <sub>24</sub> O <sub>4</sub> Si <sub>4</sub>	296.616	0.893%	91	0.056 mg/L at (23°C)	No o poco olor	2.3 mPa.s (25°C)
2	Cyclomethicone 5	C <sub>10</sub> H <sub>30</sub> O <sub>5</sub> Si <sub>5</sub>	370.77	2.963%	87	1.7x10 <sup>-2</sup> mg/L (25°C)	No o poco olor	3.9 mPa.s (25°C)
7	Isopropyl Myristate	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	270.457	11.952%	99	Practicamente Insoluble	Practicamente inodoro	Baja viscosidad
8	Ftalato de dibutilo	C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub>	278.348	14.839%	97	11.2 mg/L a (20°C)	Olor ligero y aromático	20.3 mPa.s (20°C)
9	Ácido palmítico	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	256.43	12.712%	98	0.04 mg/L (25°C)	No o poco olor	7.8 mPa.s (70°C)
12	2-Hydroxycyclopentadecanone	C <sub>15</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	240.387	2.141%	93	Soluble	-	-
13	9-Octadecenoic acid (Z)-, 2,3-dihydroxypropyl ester	C <sub>21</sub> H <sub>40</sub> O <sub>4</sub>	356.540	0.160%	86	Insoluble	Olor dulce	-
14	9-Octadecenoic acid	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	282.468	1.684%	96	1.15x10 <sup>-2</sup> mg/L (25°C)	Peculiar olor parecido a la manteca de cerdo, rancio	25.6 mPa.s (25°C)
15	9-Octadecenoic acid	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	282.468	1.453%	97			
16	9-Octadecenoic acid	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	282.468	0.150%	95			
21	2,13-Octadecadien-1-OL, (2E,13Z)-	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O	266.469	0.410%	86	insoluble	-	-
22	(8E,10Z)-Hexadeca-1,8,10-triene	C <sub>16</sub> H <sub>28</sub>	220.4	0.061%	96	Insoluble	-	-

Fuente. (Kim et al., 2016)

#### - Características reológicas (Viscosidad)

El comportamiento reológico abarca una variedad de parámetros de estudio. Sin embargo, en este trabajo solo se determinó el comportamiento de la viscosidad del exudado disuelto en agua, como uno de los parámetros incidentes en la reducción del coeficiente de difusión de los cloruros en el concreto. De acuerdo con esto, a continuación, se presentan los resultados de los ensayos de la viscosidad.

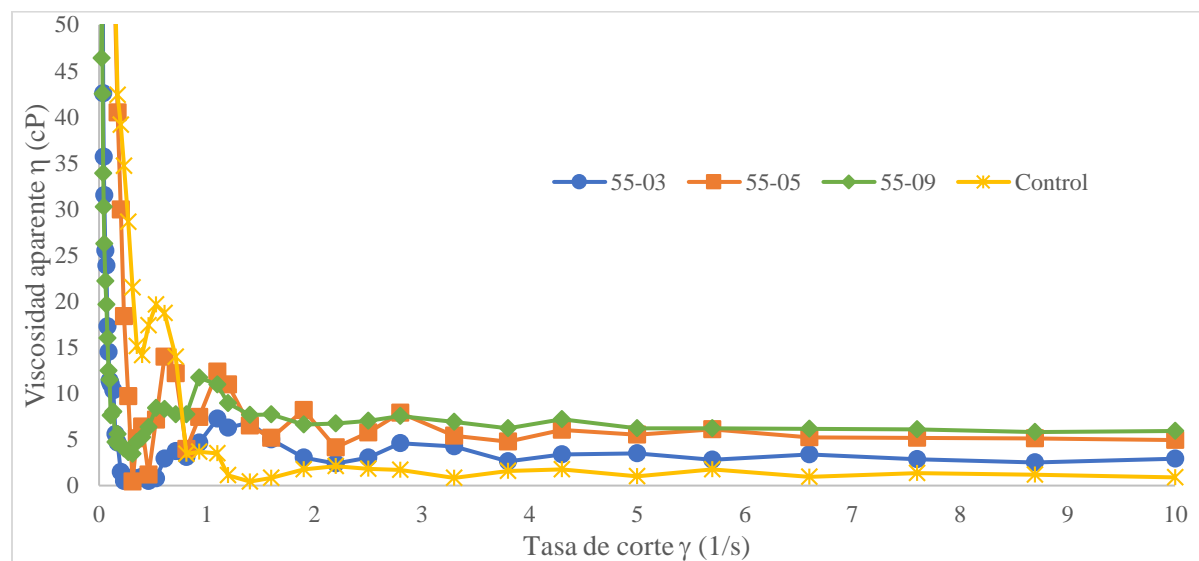


En el anexo 3C, se encuentran tabulados los valores de viscosidad arrojados en el ensayo respecto a una tasa de corte, a partir de los cuales se construyeron las siguientes gráficas.

Debido a las grandes magnitudes de los datos en las abscisas y las ordenadas, y al comportamiento asintótico de la gráfica que describe la viscosidad con respecto a la tasa de corte, fue pertinente analizar la gráfica en dos secciones, para de esta forma lograr visualizar toda la información a detalle.

En la primera sección, comprendida entre los valores de Tasa de corte 0 y 10 (1/s) *Figura 25*, se observa que ocurre una nivelación de los valores de viscosidad a partir de 3 (1/s), presentando condiciones muy parecidas al de un flujo newtoniano, en los cuales la viscosidad se mantiene constante contra la tasa de cizallamiento.

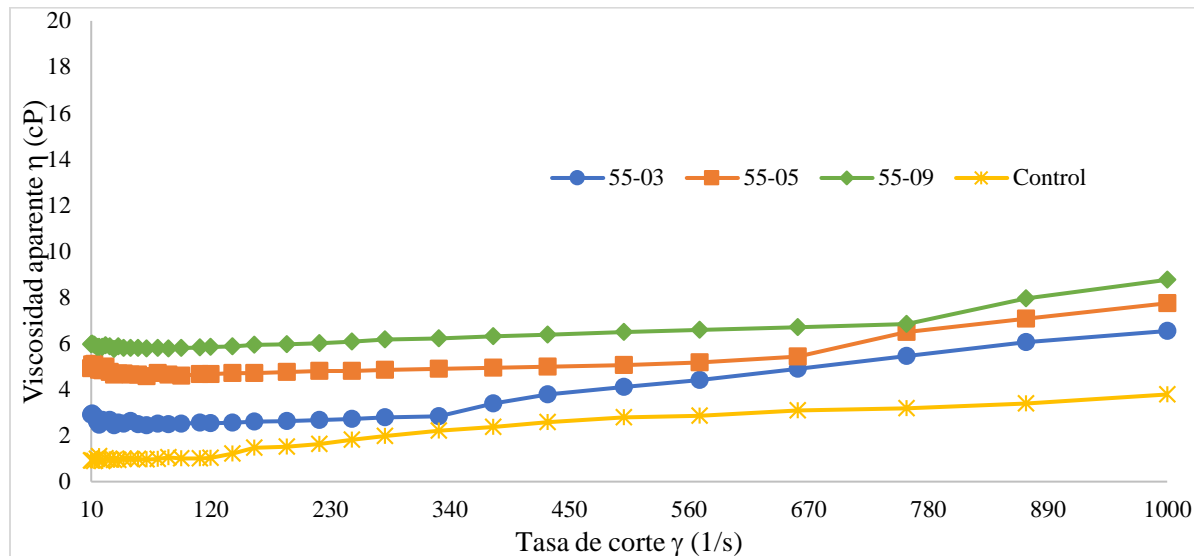
**Figura 25** Viscosidad aparente (en cP) en el rango de 0 a 10 (1/s) de la Tasa corte



En la *Figura 26*, se aprecia que, en todos los puntos la viscosidad aumenta de manera proporcional con la cantidad de exudado. a mayor cantidad de exudado, mayor es la viscosidad.



**Figura 26** Viscosidad aparente (en cP) en el rango de 10 a 1000 (1/s) de la Tasa corte



En relación con lo anterior, en el estudio (E. F. Hernández et al., 2016) se hizo una correlación entre la viscosidad del agua de mezclado y la reducción de los coeficientes de difusión de cloruros en el concreto al implementar extractos de cactus y algas pardas marinas bajo una relación a/c 0.6. Los resultados fueron coeficientes de difusión de  $3.49 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{s}$  y  $2.63 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{s}$  para viscosidades de 40 cP y 53 cP respectivamente. En relación con esto, como se vio en el marco teórico, la difusión es el fenómeno bajo el cual se produce el transporte de cloruros desde la zona de mayor concentración hacia la de menor concentración. De manera que se pudo constatar a través de los perfiles de penetración de cloruros, la incidencia de la viscosidad en el agua de mezclado, sobre la reducción de la penetración de los cloruros al adicionar diferentes cantidades de exudado de Cedro, debido a que bajo las adiciones mayores (0.7 % y 0.9 %) se obtuvieron las menores concentraciones de cloruros por peso de concreto a la profundidad más cercana del acero, como se podrá ver a continuación.

## 5.2. PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN DE CLORUROS

A partir del informe del análisis del contenido de cloruros solubles en agua en las profundidades de 0.5, 1.0 y 2.0 cm de cada probeta de concreto fabricada con distintas cantidades de exudado y relación a/c (ver anexo 4), se construyeron los perfiles de penetración de cloruros.





Como se podrá ver a continuación, en todos los casos la concentración de cloruros por peso de concreto superó el límite de 0.15 % recomendado en la NSR-10 de acuerdo con la norma ASTM C1218/C1218M (*Tabla 3*). Esto obedece a que las muestras estuvieron sometidas a los cloruros de manera más agresiva que en la realidad, para lograr resultados en menor tiempo.

- **Penetración de cloruros de las probetas fabricadas con relación a/c de 0.55**

En la *Tabla 24* se muestra el resultado del contenido de cloruros solubles de las diferentes probetas de concreto fabricadas con la relación a/c de 0.55.

**Tabla 24** Porcentaje de Cloruros solubles en agua por peso de concreto de relación a/c=0.55

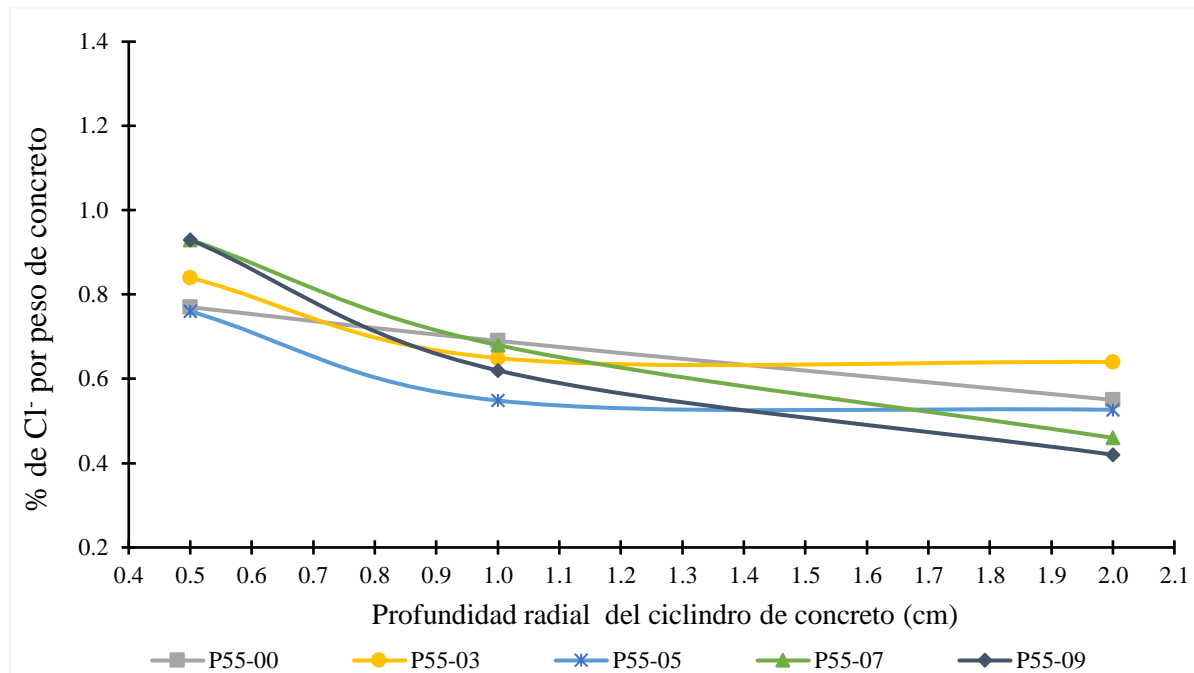
MUESTRA	PROFUNDIDAD (cm)	PESO concreto (g)	V <sub>AgNO<sub>3</sub></sub> (mL)	CONCENTRACIÓN % P/P	FACTOR DE DILUCIÓN
P55-00	0.50	1.2328	3.80	0.77	0.25
	1.00	1.0464	2.90	0.69	0.25
	2.00	1.0180	2.25	0.55	0.25
P55-03	0.50	1.0405	3.50	0.84	0.25
	1.00	0.9434	2.45	0.65	0.25
	2.00	1.0125	2.60	0.64	0.25
P55-05	0.50	1.0622	3.25	0.76	0.25
	1.00	1.0256	2.25	0.55	0.25
	2.00	1.0210	2.15	0.53	0.25
P55-07	0.50	1.0313	3.85	0.93	0.25
	1.00	1.1853	3.25	0.68	0.25
	2.00	1.1284	2.10	0.46	0.25
P55-09	0.50	1.0964	4.10	0.93	0.25
	1.00	1.0082	2.50	0.62	0.25
	2.00	1.0293	1.75	0.42	0.25

A partir de estos datos, se construyó una gráfica de concentración de cloruros por peso de cemento versus profundidad radial de la probeta en centímetros, para mostrar de esta manera un perfil de penetración de los cloruros por cada adición de exudado de *Cedro*, como se muestra en la *Figura 27*.

De acuerdo con la *Figura 27*, en todos los casos la concentración de Cl<sup>-</sup> en el concreto fue menor a medida que las profundidades fueron mayores, lo que concuerda con la teoría presentada en el marco teórico de este trabajo. Esto se presentó bajo un comportamiento lineal en el caso de la muestra blanco, y no lineal en todos los casos de adición de exudado.



**Figura 27** Perfil de penetración de cloruros (relación a/c = 0.55)



Por otro lado, al observar los perfiles de penetración de cloruros en la *Figura 27* se puede ver que, bajo la adición del 0.3 % de exudado, la incidencia del exudado fue desfavorable, debido a que la concentración de cloruros en el concreto fue mayor que la de la muestra blanco en las profundidades radiales de 0.5 cm y 2.0 cm, siendo esta ultima la profundidad más próxima al acero de refuerzo. Mientras que, bajo la adición del 0.5 % de exudado, la concentración de iones  $Cl^-$  fue menor que la de la muestra blanco en las 3 profundidades estudiadas.

Por otra parte, los resultados más favorables de reducción de la penetración de los cloruros se obtuvieron bajo las adiciones del 0.7 y 0.9 % de exudado, debido a que, a la profundidad 0.5 cm, las concentraciones fueron las más altas y luego disminuyeron significativamente hasta llegar ser las más bajas a la profundidad de 2.0 cm. En relación con lo anterior, los cambios de concentración de  $Cl^-$  que se presentaron de 0.5 cm a 2.0 cm fueron de 0.93 % a 0.46 % y de 0.93 % a 0.42 % para las adiciones del 0.7 % y 0.9 % de exudado respectivamente. Siendo las concentraciones de cloruros a 2.0 cm, las más importantes a evaluar, pues fueron las más cercanas al acero.



- **Penetración de cloruros de las probetas fabricadas con relación a/c de 0.60**

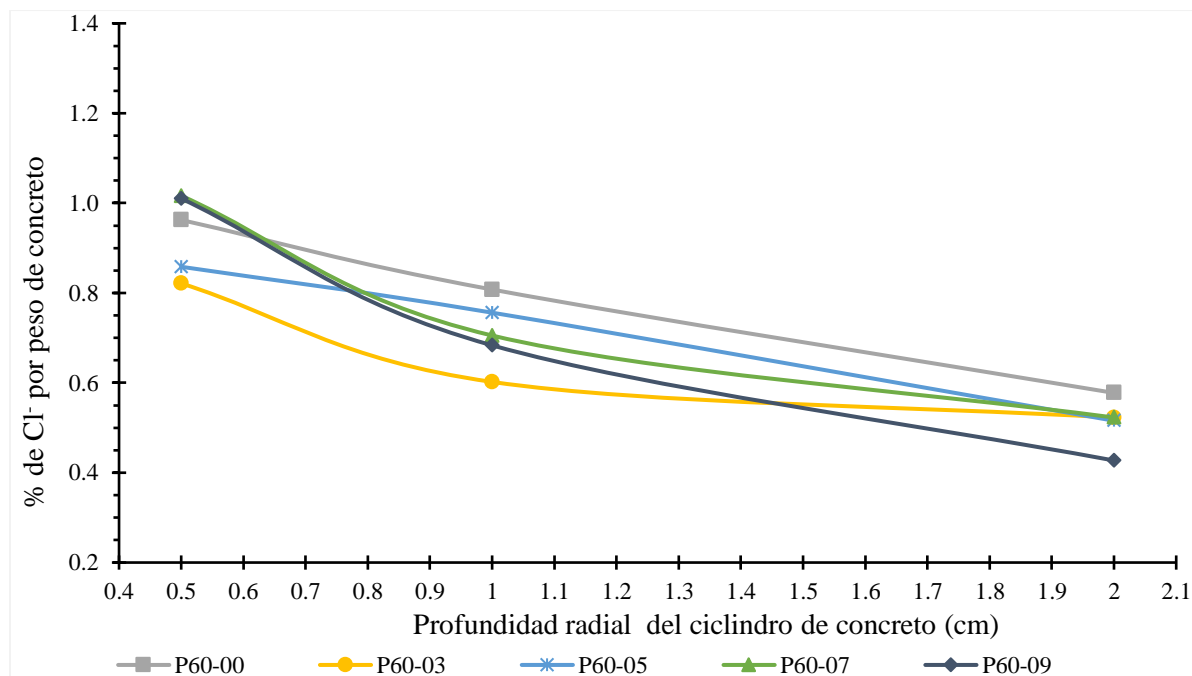
En la *Tabla 25* se muestra el resultado del contenido de cloruros solubles de las diferentes probetas de concreto fabricadas con la relación a/c de 0.60.

*Tabla 25* Porcentaje de cloruros solubles en agua por peso de concreto de relación a/c=0.60

MUESTRA	PROFUNDIDAD (cm)	PESO concreto (g)	V <sub>AgNO<sub>3</sub></sub> (mL)	CONCENTRACIÓN % p/p	FACTOR DE DILUCIÓN
<b>P60-00</b>	0.50	1.1300	4.35	0.96	0.25
	1.00	1.1299	3.65	0.81	0.25
	2.00	1.0173	2.35	0.58	0.25
<b>P60-03</b>	0.50	1.0502	3.45	0.82	0.25
	1.00	1.0383	2.50	0.60	0.25
	2.00	1.0525	2.20	0.52	0.25
<b>P60-05</b>	0.50	1.0341	3.55	0.86	0.25
	1.00	1.0085	3.05	0.76	0.25
	2.00	1.0424	2.15	0.52	0.25
<b>P60-07</b>	0.50	1.1068	4.50	1.02	0.25
	1.00	1.0103	2.85	0.71	0.25
	2.00	1.0282	2.15	0.52	0.25
<b>P60-09</b>	0.50	1.0518	4.25	1.01	0.25
	1.00	1.0426	2.85	0.68	0.25
	2.00	1.1122	1.90	0.43	0.25

A partir de estos datos se construyó el perfil correspondiente de penetración de cloruros.

*Figura 28* Perfil de penetración de cloruros (relación a/c = 0.60)





De acuerdo con la *Figura 28*, las concentraciones de cloruros disminuyen con el aumento de la profundidad, lo que concuerda con el concepto de difusión de cloruros descrito en el marco teórico. Por otro lado, las concentraciones de la muestra blanco disminuyen de manera lineal pero con porcentajes mayores comparado con la muestra blanco de relación a/c 0.55, lo que es consecuente con la teoría, debido a que entre más agua tenga el concreto mayor será la estructura de poros, favoreciendo la permeabilidad del mismo y a su vez facilitando el ingreso de contaminantes a través de su matriz.

Por otra parte, al igual que como ocurrió con la relación a/c de 0.55, las muestras adicionadas con el 0.7 y 0.9 % de exudado de Cedro, tuvieron las mayores concentraciones de cloruros a la profundidad de 0.5 cm superando el 1 %, pero de igual forma las concentraciones disminuyeron por debajo de la muestra blanco a las profundidades de 1.0 y 2.0 cm, llegando a obtenerse la menor concentración de cloruros (0.43 %) bajo el 0.9 % de exudado como se puede ver en la *Figura 28*. De manera general se puede decir que, a la profundidad más cercana del acero, las concentraciones de cloruros, bajo la adición de cualquier cantidad de exudado, fueron menores que en la muestra blanco.

### 5.3. PROBABILIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO

Durante los 90 días de duración de la exposición de las muestras de concreto en solución salina, se hizo el registro de potencial eléctrico al final de cada ciclo de humectación-secado que arrojó los valores que se muestran en la *Tabla 26*.

**Tabla 26** Potenciales eléctricos de corrosión en Voltios

Muestras	Tiempo acumulado de la toma de lecturas (días)																
	0	2	4	6	8	12	16	20	24	28	36	44	52	60	70	80	90
E55-00	-0.251	-0.359	-0.309	-0.305	-0.297	-0.370	-0.415	-0.449	-0.466	-0.453	-0.458	-0.502	-0.501	-0.491	-0.507	-0.518	-0.534
E55-03	-0.225	-0.272	-0.451	-0.502	-0.512	-0.509	-0.522	-0.536	-0.538	-0.541	-0.497	-0.523	-0.518	-0.523	-0.563	-0.570	-0.558
E55-05	-0.257	-0.275	-0.253	-0.248	-0.251	-0.252	-0.236	-0.224	-0.192	-0.197	-0.186	-0.531	-0.462	-0.492	-0.522	-0.540	-0.535
E55-07	-0.245	-0.356	-0.315	-0.315	-0.299	-0.312	-0.277	-0.252	-0.247	-0.219	-0.203	-0.206	-0.173	-0.181	-0.193	-0.199	-0.212
E55-09	-0.260	-0.312	-0.298	-0.308	-0.305	-0.303	-0.274	-0.259	-0.229	-0.215	-0.208	-0.213	-0.189	-0.289	-0.340	-0.397	-0.429
E60-00	-0.241	-0.390	-0.342	-0.372	-0.394	-0.466	-0.508	-0.489	-0.490	-0.503	-0.479	-0.525	-0.515	-0.535	-0.541	-0.555	-0.561
E60-03	-0.295	-0.302	-0.264	-0.266	-0.267	-0.327	-0.425	-0.414	-0.431	-0.435	-0.431	-0.466	-0.475	-0.474	-0.499	-0.506	-0.498
E60-05	-0.288	-0.265	-0.230	-0.239	-0.243	-0.228	-0.206	-0.203	-0.175	-0.176	-0.165	-0.171	-0.342	-0.408	-0.548	-0.534	-0.548
E60-07	-0.198	-0.251	-0.224	-0.242	-0.251	-0.246	-0.456	-0.483	-0.469	-0.512	-0.600	-0.480	-0.478	-0.485	-0.497	-0.512	-0.505
E60-09	-0.242	-0.331	-0.302	-0.316	-0.312	-0.335	-0.301	-0.296	-0.274	-0.274	-0.252	-0.573	-0.572	-0.576	-0.584	-0.586	-0.594



A partir de este registro, se graficaron potenciales eléctricos en voltios versus tiempo acumulado de la toma en días para cada tipo de muestra, obteniendo una gráfica por cada relación a/c, como se muestra a continuación.

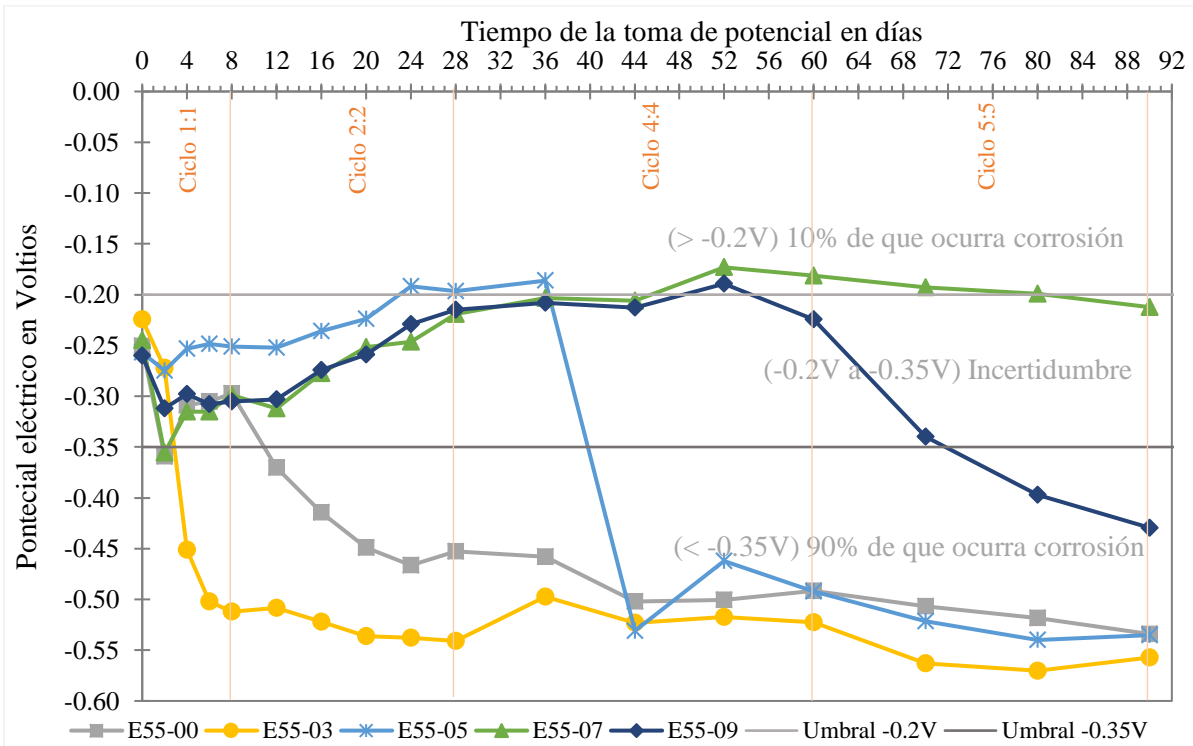
En ese sentido, para analizar los resultados, las gráficas muestran los umbrales de -0.20 y -0.35 Voltios, que delimitan los rangos de valores que se relacionan con los diferentes porcentajes de probabilidad de corrosión del acero del hormigón reforzado según la norma ASTM C876. A demás se muestra la sección correspondiente a cada duración de los ciclos de H-S.

– **Variación de potenciales eléctricos de las muestras de relación a/c 0.55:**

A partir de la *Figura 29*, que muestra la variación de los potenciales eléctricos de las muestras de concreto reforzado construidas bajo una relación a/c de 0.55, se puede ver que al día cero, es decir, antes de la exposición en solución salina, estas arrojaron valores entre -0.225 y -0.260 Voltios, que significa una incertidumbre en la posibilidad de corrosión del refuerzo según los rangos establecidos en la norma ASTM C876. Sin embargo, la muestra adicionada con el 0.3 % de exudado de Cedro, tuvo un descenso a -0.451 V en el cuarto día, manteniéndose con valores inferiores a -0.35 V por el resto del tiempo de exposición a los cloruros, incluso por debajo de los valores de potencial de la muestra blanco que también arrojó potenciales inferiores a -0.35 V a partir del día 12. De esta forma, tanto la muestra blanco como la adicionada con el 0.3 % de exudado, mostraron un riesgo del 90 % de corrosión de manera temprana, como se puede ver la *Figura 29*.



Figura 29 Potenciales eléctricos de las muestras según ASTM C876 (Relación a/c = 0.55)



Por otro lado, las muestras adicionadas con el 0.5, 0.7 y 0.9 % de exudado de Cedro, mostraron aumentos progresivos del potencial eléctrico con el tiempo, hasta alcanzar la zona de menor riesgo de corrosión con valores superiores a los -0.20 V como se muestra en la Figura 29. Sin embargo, después de superar la zona de incertidumbre, estas muestras arrojaron valores de potencial eléctrico progresivamente más negativos, incluso de manera súbita en el caso de la muestra con adición del 0.5 % de exudado, tendiendo llegar a la zona de mayor riesgo de corrosión en el resto del tiempo. En relación con lo anterior, la muestra adicionada con 0.5 % de exudado registró un cambio de potencial de -0.186 V a -0.531 V en lecturas consecutivas, cambiando de la zona de menor a la de mayor riesgo de corrosión de manera súbita a los 36 días de progreso de la exposición a los cloruros. Por un lado, la muestra adicionada con 0.9 % de exudado mostró un descenso de potencial de manera gradual hasta registrar un valor de -0.397 V a los 80 días. Mientras que las muestras con adición del 0.7 % de exudado, aunque la tendencia de los valores también fue gradualmente descendente; a los 90 días esta registró un valor de -0.212 V que la ubicó apenas, hasta ese tiempo, en la zona de incertidumbre.

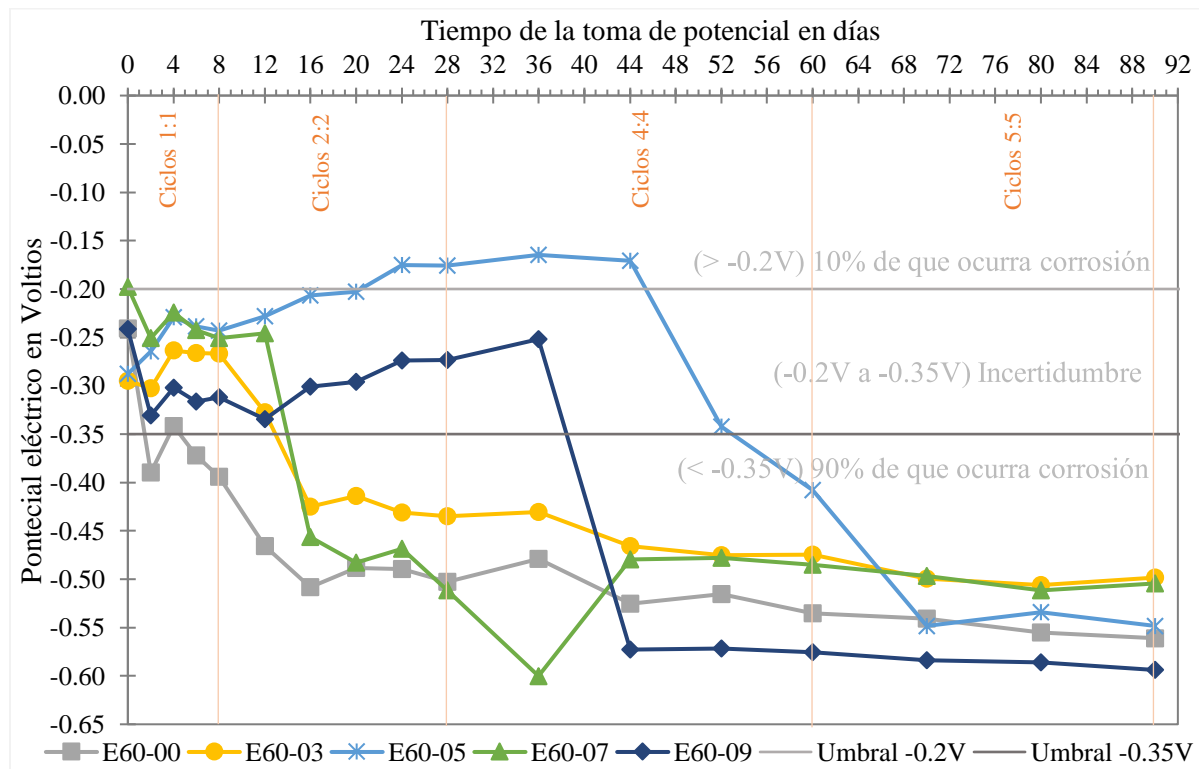




– Variación de potenciales eléctricos de las muestras de relación a/c 0.60:

Por su parte, los valores de potencial eléctrico al día cero de las muestras de concreto fabricadas bajo relación a/c de 0.60, estuvieron en el rango de -0.198 V a -0.295 V para las muestras adicionadas con el 0.7 % y 0.3 % respectivamente, mostrando una incertidumbre en la posibilidad de corrosión del acero.

Figura 30 Potenciales eléctricos de las muestras según ASTM C876 (Relación a/c = 0.60)



De la Figura 30, se puede ver como la muestra blanco alcanza la zona de alto riesgo de corrosión del acero de refuerzo al arrojar un potencial de -0.392 V desde los primeros dos días correspondientes al primer ciclo de humectación-secado (H-S), continuando con una tendencia hacia valores más negativos por el resto del tiempo de exposición a los cloruros. Por otro lado, las muestras adicionadas con 0.3 y 0.7 % de exudado, tardaron hasta el día 16 en alcanzar la zona de mayor riesgo de corrosión con valores de potencial de -0.425 V y -0.456 V respectivamente, manteniéndose en esta zona por el resto del tiempo de exposición a los cloruros, aunque con potenciales menos desfavorables que los registrados de la muestra blanco.



Por otra parte, las muestras adicionadas con 0.5 y 0.9 % de exudado, a pesar de llegar a estar el doble de tiempo sumergidas en la solución salina, tardaron mucho más tiempo para sobrepasar el umbral de -0.35 V. En relación con lo anterior, la muestra bajo 0.9 % de exudado registró un cambio súbito de potencial de -0.252 V a -0.573 V en lecturas consecutivas a los 44 días, tiempo a partir del cual los potenciales fueron más negativos que los de la muestra blanco aun cuando la tendencia, antes de presentarse esto, fue con dirección a unos potenciales menos negativos en la zona de menor riesgo como se muestra en la *Figura 30*. En cuanto a la muestra bajo 0.5 % de exudado, de esta se registró un potencial de -0.408 V a los 60 días después de presentar la mayor favorabilidad al alcanzar la zona de menor riesgo de corrosión desde el día 20, además de registrar la lectura de potencial menos negativa del proyecto, la cual fue de -0.165 V a los 36 días.

#### 5.4. ASENTAMIENTO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

Los resultados del ensayo de asentamiento practicado a cada tipo de mezcla se muestran en la *Tabla 27*, donde se muestra la consistencia de acuerdo con el valor promedio de asentamiento de los dos ensayos y una anotación a cerca de las cualidades de la mezcla en el momento de la manipulación en el proceso de mezclado.

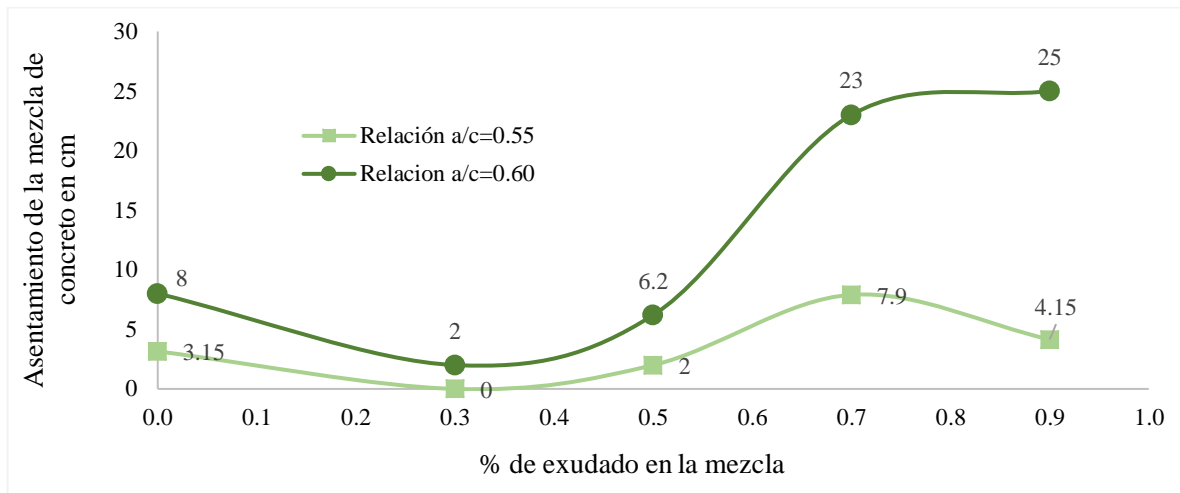
*Tabla 27* Asentamiento del concreto fresco, consistencias de acuerdo a la *Tabla 1*

Muestra	Asentamiento en cm			Consistencia	Anotación
	Slump1	Slump2	Media		
55-00	3.30	3.00	3.15	Seca	Mezcla suelta y húmeda
55-03	0.00	0.00	0.00	Muy seca	Mezcla suelta y seca
55-05	2.00	2.00	2.00	Muy seca	Mezcla suelta semihúmeda
55-07	8.00	7.80	7.90	Plástica	Mezcla muy húmeda
55-09	4.30	4.00	4.15	Semi- seca	Semihúmeda y algo viscosa
60-00	8.00	8.00	8.00	Plástica	Mezcla muy húmeda
60-03	2.00	2.00	2.00	Muy seca	Mezcla suelta semihúmeda
60-05	6.40	6.00	6.20	Plástica	Mezcla muy húmeda
60-07	23.0	23.0	23.0	Superfluida	Muy húmeda - fácil manejo
60-09	25.0	25.0	25.0	Superfluida	Alto contenido liquido

A partir de la *Tabla 27* se construyó una gráfica de dispersión asentamiento en centímetros versus porcentaje de exudado adicionado a la mezcla, para ambas relaciones agua cemento, como se muestra a continuación.



**Figura 31** Asentamiento de las mezclas vs % de exudado adicionado



En la *Figura 31* se puede ver el comportamiento de la manejabilidad de la mezcla a través del asentamiento a medida que se aumenta la cantidad de exudado en el rango de 0.0 % a 0.9 %. De acuerdo a esto se puede ver que, en las mezclas adicionadas con 0.3 % y 0.5 % de exudado, el asentamiento disminuyó por debajo de la mezcla control, es decir, se hizo menos manejable con ambos casos de implementación de relación a/c de 0.55 y 0.60. Luego, bajo la adición del 0.7 % se obtuvieron unas consistencias plásticas de 7.9 cm de asentamiento y fluida de 23 cm para las relaciones a/c de 0.55 y 0.60 respectivamente. Por otro lado, con la adición del 0.9 %, el asentamiento aumentó a 25 cm con la relación a/c de 0.60, mientras que para a/c de 0.55 el asentamiento disminuyó en comparación con la adición del 0.7 %. De esta forma se puede ver que existe un comportamiento variable de la consistencia de la mezcla de concreto a medida que aumenta la cantidad de exudado. Por otro lado, se puede destacar la favorabilidad del exudado en la manejabilidad en comparación con la mezcla control, al adicionar al menos 0.7 % de la sustancia en el agua de mezclado en proporción con el peso del cemento *Figura 31*.

### 5.5. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

En la siguiente tabla se muestran los datos experimentales de cargas de falla en kilo-newton y el diámetro de los cilindros en centímetros.



**Tabla 28** Datos de carga de falla y diámetros de los cilindros en el ensayo de resistencia

Muestra	Carga de falla (KN)				Diámetro Cilindro (cm)
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Promedio	
R55-00	144.8*	157.2	156.1	156.65	10.16
R55-03	158.6	163.3	161.2	161.03	10.16
R55-05	170.9	136.4*	168.0	169.45	10.16
R55-07	210.8	207.4	172.8*	209.10	10.16
R55-09	197.5	172.6*	198.7	198.10	10.16
R60-00	128.1*	152.8	155.9	154.35	10.16
R60-03	106.6	110.6	107.2	108.13	10.16
R60-05	131.4	148.5*	132.5	131.95	10.16
R60-07	119.3	121.6	119.9	120.27	10.16
R60-09	112.8*	137.3	140.1	138.70	10.16

De los tres datos de carga de falla por cada tipo de muestra (de la R55-00 a R60-09), se desecharon los datos atípicos (los datos acompañados de asterisco en la *Tabla 28*) y luego se obtuvo un promedio de los datos restantes.

Posteriormente, como se muestra en la *Tabla 29*, se expresó la carga de falla promedio en kilogramos y se dividió por el área de la sección del cilindro, obteniendo de esta manera la resistencia de cada muestra en kilogramos por unidad de área en  $\text{cm}^2$ , luego esta última se expresó en unidades de libras por pulgada cuadrada (psi), por ser la unidad de mejor familiarización.

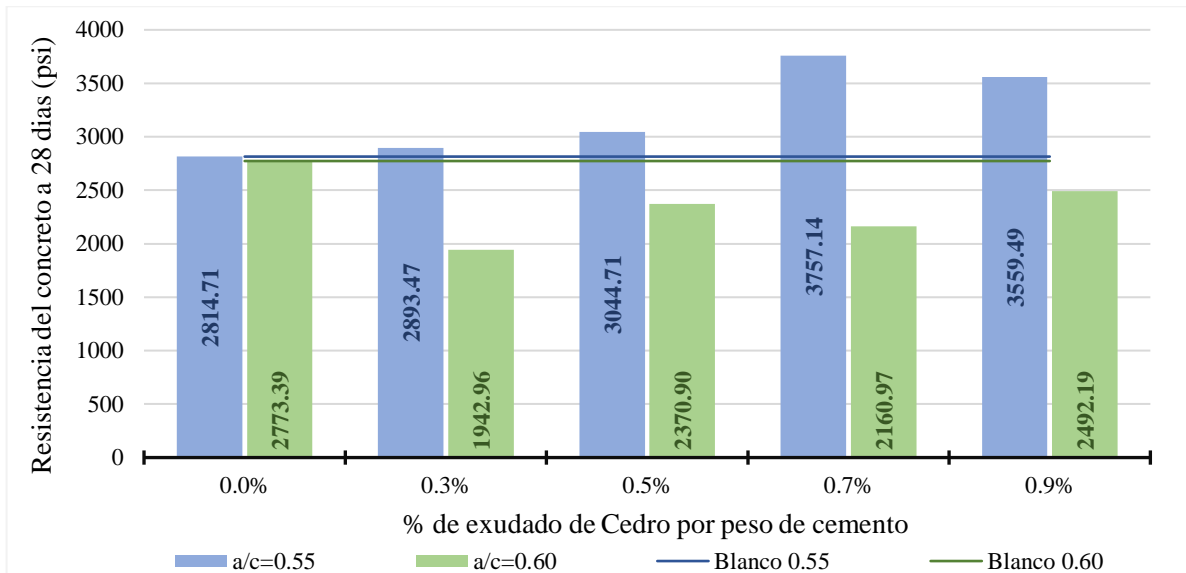
**Tabla 29** Resultados de resistencia a la compresión del concreto

Muestra	Carga de falla (Kg)	Área ( $\text{cm}^2$ )	Resistencia ( $\text{Kg/cm}^2$ )	Resistencia (psi)	Eficiencia respecto a la muestra blanco (%)
R55-00	15973.85	81.07	197.03	2814.71	-
R55-03	16420.83	81.07	202.54	2893.47	2.80%
R55-05	17279.09	81.07	213.13	3044.71	8.17%
R55-07	21322.26	81.07	263.00	3757.14	33.48%
R55-09	20200.57	81.07	249.16	3559.49	26.46%
R60-00	15739.32	81.07	194.14	2773.39	-
R60-03	11026.53	81.07	136.01	1942.96	-29.94%
R60-05	13455.15	81.07	165.96	2370.90	-14.51%
R60-07	12263.78	81.07	151.27	2160.97	-22.08%
R60-09	14143.46	81.07	174.45	2492.19	-10.14%



Ahora, para analizar los resultados de resistencia de los cilindros, así como las eficiencias al adicionar las diferentes cantidades de exudado respecto a las muestras blanco, se graficaron los resultados como se muestra a continuación.

**Figura 32** Resistencia del concreto en psi por adición de exudado



De la *Figura 32* el primer resultado que se puede ver es que la resistencia de las muestras blanco de ambas relaciones a/c tuvieron una diferencia entre sí de 41.33 psi que representa una disminución del 1.47 % de la resistencia al emplear una relación a/c de 0.6, esto significa una diferencia relativamente pequeña debido a que las cantidades de agua difieren levemente entre sí. Sin embargo, en todos los casos de la adición de distintas cantidades de exudado, los resultados de resistencia fueron favorables y desfavorables para las relaciones a/c de 0.55 y 0.60 respectivamente, en comparación con las respectivas muestras blanco.

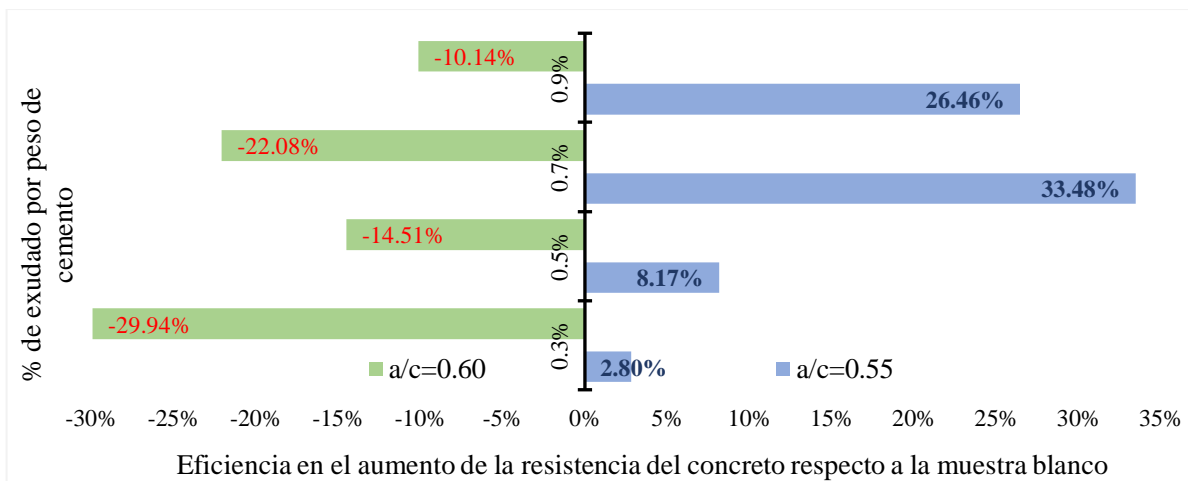
Ahora, lo que respecta a la incidencia de las distintas cantidades de exudado, a través de la *Figura 32* se puede notar que la resistencia bajo la relación a/c de 0.60, analizando individualmente cada porcentaje de adición de exudado, sufrió una disminución más pronunciada respecto a la resistencia obtenida bajo la relación a/c de 0.55. En relación con lo anterior, la mayor diferencia de resistencia se registró en las muestras con adición del 0.7 % del exudado, puesto que con una relación a/c de 0.55 la resistencia fue de 3757.14 psi mientras que con a/c de 0.60 fue de 2160.97 psi, lo que representó una disminución del 42.48 %. Sin embargo, con los demás porcentajes de adición de exudado, la disminución fue del 32.85 %,



22.13 % y 29.98 % para adiciones de 0.3 %, 0.5 % y 0.9 % respectivamente al emplear a/c de 0.6, las cuales siguen siendo disminuciones importantes respecto a la resistencia del concreto de relación a/c de 0.55.

De todo lo anterior, el resultado a simple vista es que la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días aumenta cuando se adiciona una cantidad de exudado desde 0.3 a 0.9 % del peso del cemento al agua de amasado correspondiente a una relación a/c de 0.55. Pero, de manera contraproducente, la resistencia disminuye al implementar una mayor cantidad de agua correspondiente a una relación a/c de 0.60. Estos resultados se simplifican en la *Figura 33*, donde se muestran las eficiencias en el aumento de la resistencia del concreto fabricado bajo cantidades variables de exudado, respecto de las muestras blanco de cada relación a/c.

**Figura 33** Eficiencia del exudado de Cedro sobre la resistencia a la compresión del concreto



Como se muestra en la *Figura 33*, la mayor eficiencia obtenida fue de 33.48 % bajo una concentración del 0.7 % de exudado y una cantidad de agua correspondiente a la relación a/c de 0.55, condiciones bajo las cuales se obtuvieron los resultados más favorables de penetración de cloruros en el concreto y probabilidad de corrosión del acero de refuerzo, además de un aumento de la manejabilidad de la mezcla fresca con respecto a la mezcla blanco. Por otro lado, es de notar que bajo esta misma cantidad de agua las eficiencias aumentaron con la adición de exudado desde 0.3 % a 0.7 %. Sin embargo, disminuyó a 26.46 % al implementar el 0.9% de la sustancia.





Por otro lado, las eficiencias bajo la relación a/c de 0.6 fueron negativas, lo que evidencia la disminución de la resistencia respecto a la muestra blanco, al emplear cualquiera de las cantidades involucradas de exudado en la mezcla de concreto. En relación con lo anterior, la eficiencia más negativa se presentó bajo la adición del 0.3 % de exudado, y la menos negativa bajo el 0.9 %; aun así, no hay tendencias claras que permitan correlacionar la disminución o aumento de la resistencia a medida que la cantidad de exudado en la mezcla se hace mayor.



## 6. CONCLUSIONES

Se pudo identificar una afectación notoria en el tiempo del fraguado de la pasta de cemento bajo adiciones del 1 % o mayores de exudado de Cedro, pasando de un tiempo de 130.4 min de fraguado inicial en la muestra control, a 410 min en el caso más crítico bajo la adición del 2.5 % de exudado con relación a/c 0.6. Lo anterior produjo un deterioro de las muestras cilíndricas de concreto en el tiempo normalizado de 24 horas para el endurecimiento, previo al curado en agua.

No se logró identificar dentro de los compuestos arrojados por la cromatografía (GC-MS) del exudado de Cedro, compuestos o grupos funcionales relacionados con los taninos y los fenoles. Los 10 compuestos identificados representan aproximadamente el 50 % de la muestra analizada. Sin embargo, se logró identificar, dentro de los tres compuestos de mayor presencia en el exudado, el Ftalato de dibutilo con un porcentaje del 14.839 % al cual se le atribuyen propiedades de plastificante, por lo que ha sido usado desde más de 50 años para dar flexibilidad al PVC. Al cual se podría atribuir alguna incidencia en el aumento de la manejabilidad de la mezcla al implementar el exudado.

Los resultados más favorables de reducción de la penetración de los cloruros se obtuvieron bajo las adiciones del 0.7 y 0.9% del exudado (las cuales provocaron mayor viscosidad en el agua de mezclado) para las dos relaciones0 agua/ cemento, siendo la concentración de 0.9% del exudado la que mostró mejor incidencia en ambos casos, para una relación a/c de 0.55 se presentó una disminución en la concentración de cloruros (% p/p) de 0.93 a 0.42 y para una relación a/c de 0.6 de 1.01 a 0.43. Lo anterior confirma, la incidencia de la viscosidad del agua de mezclado en la reducción de la penetración de los cloruros de acuerdo con los resultados de (E. F. Hernández et al., 2016).

La probabilidad de iniciación de la corrosión en el acero embebido en el concreto se mostró baja (por lo tanto favorable), solo en el caso de la adición del 0.7 % de exudado y bajo una relación a/c de 0.55 al final de los 90 días de exposición a los cloruros, mostrando potenciales eléctricos mayores a -0.20 V. Por otro lado, bajo las adiciones del 0.5 % y 0.9 % de exudado, también alcanzaron valores de potencial eléctrico mayores a -0.20 V, mostrando bajo riesgo de corrosión, sin embargo, a partir de los días 44 y 80 respectivamente, los potenciales



cayeron con valores menores a  $-0.35$  V obteniéndose de esta forma una probabilidad del 90 % de corrosión para estas muestras. Sin embargo, de manera general los potenciales fueron menos negativos en comparación con las muestras blanco, exceptuando la adición del 0.3 % de exudado, condición bajo la cual se presentaron los potenciales más negativos desde apenas el cuarto día de los ciclos de humectación y secado en solución salina.

Por su parte, las probabilidades de corrosión del acero embebido en el concreto de relación a/c de 0.6, fueron del 90 % con valores de potencial menores a  $-0.35$  V de manera temprana, exceptuando las muestras con adición del 0.5 % de exudado, condición bajo la cual el tiempo para presentar potenciales en la zona de alto riesgo fue sustancialmente mayor (60 días), además se alcanzaron potenciales mayores a  $-0.20$ V.

La manejabilidad de la mezcla tuvo una mejora sustancial bajo la implementación de algunas dosificaciones del exudado, al pasar de asentamientos de 3.15 cm en la muestra blanco a 7.9 cm bajo la dosificación del 0.7 %, para una relación a/c de 0.55; y de 8 cm en la muestra blanco a 23 y 25 cm para las adiciones del 0.7 % y 0.9 % respectivamente, bajo una relación a/c de 0.6. Por otro lado, la manejabilidad fue afectada bajo las adiciones del 0.3 % y 0.5 % de exudado en ambas relaciones a/c, debido a que los asentamientos de la mezcla fueron menores que los de la mezcla control. De esta manera no se pudo evidenciar una tendencia definida de la manejabilidad del concreto a medida que se aumenta la cantidad de exudado.

Se obtuvo un incremento de la resistencia a la compresión del concreto bajo la relación a/c de 0.55, bajo la adición de cualquiera de las cantidades de exudado, obteniéndose eficiencias de 2.8 %, 8.17 %, 33.48 % y 26.46 % respecto a la muestra blanco bajo la adición de 0.3 %, 0.5 %, 0.7 % y 0.9 % de exudado respectivamente. Siendo la adición del 0.7 %, bajo la cual se obtuvo la mayor mejora en la resistencia, la menor concentración de cloruros a la profundidad más cercana del acero, el menor riesgo de corrosión con el mayor número de días en exposición a los cloruros y un aumento de la manejabilidad de la mezcla comparada con la mezcla control. Por otro lado, bajo la relación a/c de 0.6 e implementando cualquier adición de exudado, la resistencia del concreto se vio afectada significativamente, obteniéndose eficiencias negativas de -29.94 %, -14.51 %, -22.08 % y -10.14 % respecto a la muestra blanco bajo la adición del 0.3 %, 0.5 %, 0.7 % y 0.9 % de exudado respectivamente.



## 7. RECOMENDACIONES

A partir de la experiencia obtenida en el desarrollo de este trabajo, en relación con las limitaciones e inconvenientes enfrentados en todas las fases del proyecto, se hacen las siguientes recomendaciones a futuras investigaciones que se propongan trabajar sobre la misma temática o deseen implementar total o parcialmente la metodología de este trabajo.

Se recomienda recolectar el exudado de Cedro con al menos un mes de anticipación al inicio del proyecto, de esta forma se asegura la obtención a tiempo de las cantidades necesarias de la sustancia.

Emplear una maquina mezcladora para fabricar el concreto, de esta forma se ahorrará tiempo, esfuerzo físico y se obtendrán mezclas con mejor homogeneidad.

Antes de fabricar las mezclas de concreto adicionado con exudado, se sugiere realizar un ensayo que permita determinar los tiempos de fraguado inicial y final de la pasta de cemento con la sustancia, para luego correlacionar el tiempo de endurecimiento de las probetas antes de su curado en agua.

Para minimizar el tiempo de la exposición de las probetas de concreto a los cloruros, se recomienda implementar una cámara de niebla salina, ya sea mediante exposición cíclica o continua, de esta forma se ahorrará tiempo considerable en el desarrollo del proyecto.

Se recomienda realizar una investigación alrededor de la resistencia a la compresión del concreto empleando mayores adiciones de exudado de cedro bajo combinaciones de varias relaciones a/c. pues los resultados muestran un fuerte indicio de la mejora de la resistencia empleando el exudado.

Se recomienda caracterizar químicamente el exudado del Cedro, de manera que se puedan implementar métodos de análisis químicos específicos que permitan determinar el contenido de taninos y fenoles presentes en la sustancia y en general una mayor cantidad de compuestos implementando un método más eficaz y apropiado para el análisis fitoquímico.



## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña 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 ( Estudio del Caso: Sector Del Baluarte De San Ignacio Y La Cortina Entre Este Y El Baluarte De San Juan* Evan. Universidad de Cartagena.  
<https://doi.org/http://190.242.62.234:8080/jspui/handle/11227/1269>
- Aguilar López, J., Jaén Jiménez, J. C., Vargas Abarca, A. S., Jiménez Bonilla, P., Vega Guzmán, L., Herrera Núñez, J., ... Soto Fallas, R. M. (2012). Extracción y evaluación de taninos condensados a partir de la corteza de once especies maderables de Costa Rica (Extraction and evaluation of condensed tannins from bark of eleven species of trees from Costa Rica). *Tecnología En Marcha*, 25(4), 15–22. <https://doi.org/10.18845/tm.v25i4.615>
- Aguirre, Ana; Mejía de Gutiérrez, R. (2013). Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas. *Materiales de Construcción*, 63(309), 7–38. <https://doi.org/https://doi.org/10.3989/mc.2013.00313>
- ARGOS. (2014). Concretos modernos con valor agregado - Grandes Realidades | ArgosGrandes Realidades | Argos. Retrieved August 6, 2017, from <http://grandesrealidades.argos.co/concretos-modernos-con-valor-agregado/>
- Asociación-Colombia-de-Ingeniería-Sísmica. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistentes. *NSR-10. Título C: Concreto Estructural*. Bogota: Ministerio De Ambiente Vivienda Y Desarrollo Territorial.
- ASTM International. (2015). Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. *ASTM C 876 - 15*. West Conshohocken, PA: American Society of Testing Materials. <https://doi.org/10.1520/C0876-15>
- ASTM International. (2017). Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete. *ASTM C1218 / C1218M - 17*. West Conshohocken, PA: American Society of Testing Materials. [https://doi.org/10.1520/C1218\\_C1218M-17](https://doi.org/10.1520/C1218_C1218M-17)
- Babilonia Escallon, I., & Urango Rojas, S. P. (2015). *El Uso De Aditivos De Origen Natural Integral a Masas De Concreto Para La Protección Contra La Corrosión Del Acero*. Universidad de



Cartagena. Retrieved from <http://190.242.62.234:8080/jspui/handle/11227/2394>

- Barrios, M., Tejada, C., & Villabona, Á. (2016). Método de perfiles de difusión de cloruros para la estimación de la corrosión en ambientes marinos. *Prospectiva*, 14(1), 23–27. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15665/rp.v14i1.642>
- Becker, E. (2011). *DURABILIDAD DEL HORMIGÓN. Comportamiento Del Hormigón Estructural Durante Su Vida De Servicio*. LOMA NEGRA C.I.A.S.A. Buenos Aires: LOMA NEGRA.
- Berrocal Bravo, M. J., & Altamiranda Percy, E. D. (2013). *Evaluación de la eficiencia inhibidora de corrosión del extracto acuoso de aguacate (Persea Americana)*. Universidad de Cartagena. Retrieved from <http://190.242.62.234:8080/jspui/handle/11227/75>
- Bozo de González, M. I., Martínez Carrizo, M., León de Pinto, G., Sanabria, L., Bravo, A., Herrera, J., & Igartuburu, J. (2008). Caracterización estructural de dos oligosacáridos y del núcleo del polisacárido de la goma de Cedrela odorata. *Afinidad*, 65(538), 445–450. Retrieved from <http://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/282454/370324>
- Bustamante, C. A., & Gonzales, D. A. (2014). *Evaluación, diagnóstico y propuesta de intervención para la patología del puente román ubicado en el barrio manga*. Universidad de Cartagena. Retrieved from <http://190.242.62.234:8080/jspui/handle/11227/1366>
- Bustamante Martelo, G. L., & Castillo Brieva, J. L. (2012). *Evaluación y diagnóstico patológico de la iglesia Santo Toribio de Mogrovejo de Cartagena de Indias*. Universidad de Cartagena. Retrieved from <http://190.242.62.234:8080/jspui/handle/11227/236>
- Cárdenas Lopez, D., Castaño Arboleda, N., Sua Tunjano, S., Montero, M., & 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. CONVENCIÓN SOBRE EL COMERCIO INTERNACIONAL DE ESPECIES AMENAZADAS DE FAUNA Y FLORA SILVESTRES: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Carvajal, A. M., & Guzmán, F. (2005). Estudio de Aditivos Inhibidores de Corrosión para Estructuras de Hormigón Armado. Análisis de Potencial de Corrosión. *Revista de La Construcción*, 4(2), 25–29. Retrieved from





<https://basesdedatos.unicartagena.edu.co:2440/servlet/articulo?codigo=4204484#?>

- Cemex Colombia. (2014). Catálogo soluciones cemex. *Cemex*, 1, 162. Retrieved from <http://www.cemexcolombia.com/SolucionesConstructor/files/CatalogoDeSoluciones.pdf>
- Cui, S. W. (2005). *FOOD CARBOHYDRATES, Chemistry, Physical Properties, and Applications*. (S. W. Cui, Ed.). Boca Raton: CRC Press - Taylor & Francis Group LLC.
- Del Valle, A., Pérez, T., & Martínez, M. (2001). El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado. *Secretaria de Comunicaciones Y Transportes Instituto Mexicano Del Transporte*, (182), 75. <https://doi.org/0188-7297>
- Fang, C., Long, Y., & Shen, D. (2015). The influences of different organic fractions in refuse on the sorption and bioavailability of dibutyl phthalate. *Chemistry and Ecology*, 31(2), 539–549. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1080/02757540.2015.1043284>
- Farzanehfara, V., Faizia, M., Naderia, N., & Kobarfardb, F. (2017). Development of an analytical method for dibutyl phthalate determination using surrogate analyte approach. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 16(1), 140–145.
- García Díaz, Y., & Méndez Medina, W. (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*. Universidad de Cartagena. Retrieved from <http://190.242.62.234:8080/jspui/handle/11227/2968>
- Global Biodiversity Information Facility. (2015). *Cedrela odorata* - Spanish cedar -- Discover Life. Retrieved September 3, 2017, from <http://www.discoverlife.org/mp/20q?search=Cedrela+odorata>
- Grubbs, F. E. (1950). Sample Criteria for Testing Outlying Observations. *The Annals of Mathematical Statistics*, 21(1), 27–58. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177729885>
- Grubbs, F. E. (1969). Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples. *Technometrics*, 11(1), 1–21. <https://doi.org/10.1080/00401706.1969.10490657>
- Guevara, G., Hidalgo, C., Pizarro, M., Rodríguez, I., Rojas, L., & Segura, G. (2012). Efecto de la variación agua /cemento en el concreto. *Tecnología En Marcha*, 25(2), 80–86.



<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18845/tm.v25i2.1632>

- Gutiérrez, M. C., & Droguet, M. (2002). La cromatografía de gases y la espectrometría de masas: Identificación de compuestos causantes de mal olor (pp. 35–41). *BOLETÍN INTEXTER* (U.P.C.). Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/2733/5CROMGASES.pdf>
- Hernández, E. F., Cano-Barrita, P. F., & Torres-Acosta, A. A. (2016). Influence of cactus mucilage and marine brown algae extract on the compressive strength and durability of concrete. *Materiales de Construcción*, 66(321), 1–14. <https://doi.org/10.3989/mc.2016.07514>
- Hernández, E., López, J., Sánchez, V., Vargas, J., & Salazar, J. (2016). Early Performance and Genetic Gain of Cedrela Odorata Families From Wide-Ranging Sites in Mexico. *Journal of Tropical Forest Science*, 28(4), 446–456.
- ICONTEC. (1992). Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto. *Norma Técnica Colombiana NTC 396*. Bogotá: Instituto de Normas Técnicas y Certificación.
- ICONTEC. (2000). Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra. *Norma Técnica Colombiana NTC 550*. Bogotá: Instituto de Normas Técnicas y Certificación.
- ICONTEC. (2010). Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto. *Norma Técnica Colombiana NTC 673*. Bogotá: Instituto de Normas Técnicas y Certificación.
- INCONTEC. (2000). Especificaciones de los agregados para el concreto. *Norma Técnica Colombiana NTC 174*. Bogotá: Instituto de Normas Técnicas y Certificación.
- INVIAS. (2007a). Consistencia Normal Del Cemento. *Norma de Ensayo I.N.V.E. 310-07*. Bogotá: Instituto Nacional de Vías.
- INVIAS. (2007b). Resistencia a la compresión de cilindros de concreto. *Norma de Ensayo I.N.V.E. 410-07*. Bogotá: Instituto Nacional de Vías.
- INVIAS. (2007c). Tiempo De Fraguado Del Cemento Hidráulico Método Del Aparato De Vicat. *Norma de Ensayo I.N.V.E. 305-07*. Bogotá: Instituto Nacional de Vías.
- Kim, S., Thiessen, P. A., Bolton, E. E., Chen, J., Fu, G., Gindulyte, A., ... Bryant, S. H. (2016, January



4). PubChem Substance and Compound databases. <https://doi.org/10.1093/nar/gkv951>

Lamus Báez, F., & Andrade Pardo, S. (2015). Concreto Reforzado Fundamentos. In *Concreto Reforzado Fundamentos* (Primera, p. 225). Bogota: ECOE Ediciones 2015. Retrieved from <http://site.ebrary.com/lib/bibliounicartagenasp/reader.action?docID=11200751>

Limas, C. A., & Rodriguez, D. A. (2015). *Estudio patológico y de vulnerabilidad sísmica del claustro de la merced de cartagena de indias*. Universidad de Cartagena. Retrieved from <http://190.242.62.234:8080/jspui/handle/11227/2068>

Loaiza Fernandez, S., & Vidales Manrique, A. (2013). *Evaluación de la capacidad inhibidora de la corrosión de los extractos del árbol de Neem (Azadirachta indica) en medio salino*. Universidad de Cartagena. Retrieved from <http://190.242.62.234:8080/jspui/handle/11227/70>

McCORMAC, J. C., & BROWN, R. H. (2011). *Diseño de concreto reforzado* (8th ed.). Mexico: Alfaomega Grupo Editor S.A.

Mirhosseini, H., & Amid, B. T. (2012). A review study on chemical composition and molecular structure of newly plant gum exudates and seed gums. *Food Research International*, 46(1), 387–398. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.11.017>

Nussinovitch, A. (2010). *PLANT GUM EXUDATES OF THE WORLD: Sources, Distribution, Properties and Applications*. Boca Raton: CRC Press - Taylor & Francis Group LLC.

Okeniyi, J. O., Loto, C. A., & Popoola, A. P. I. (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. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.052>

ONAC. (2017). Organismo Nacional de Acreditación de Colombia. Retrieved August 10, 2017, from <http://www.onac.org.co/modulos/contenido/default.asp?idmodulo=211&pagina=5&idmoduloreferer=208&tiporeferer=areas&objid=19&objnombre=Concreto>

Paredes, J., Prieto, J., & Santos, E. (2013, May). *Corrosión del acero en elementos de hormigón armado: vigas y columnas*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil - Ecuador. Retrieved from <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/24384>



- Pedroza, D. E., Villalobos, M. A., Meza, P. J., & Paz, I. C. (2016). Evaluación de extractos de cáscara de cacao (*theobroma cacao* L.) como inhibidores de corrosión en acero al carbón. *CT&F - Ciencia, Tecnología Y Futuro*, ISSN-E 0122-5383, Vol. 6, N°. 3, 2016, Págs. 147-156, 6, 147–156. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5854549>
- Pérez del Rio, A. L., & Pardo Pérez, D. (2014). *Diagnóstico Patológico y de Vulnerabilidad Sísmica del Antiguo Club Cartagena*. Universidad de Cartagena. Retrieved from <http://190.242.62.234:8080/jspui/handle/11227/548>
- Pérez Méndez, L. R. (2010). *Vida Útil Residual De Estructuras De Hormigón Armado Afectadas Por Corrosión*. Universidad Politécnica de Madrid. Retrieved from [http://oa.upm.es/5753/1/TESIS\\_MASTER\\_LETICIA\\_RAFAELINA\\_PEREZ\\_MENDEZ.pdf](http://oa.upm.es/5753/1/TESIS_MASTER_LETICIA_RAFAELINA_PEREZ_MENDEZ.pdf)
- Porto Quintián, J. (2005). Manual de Patologías en las Estructuras de Hormigón Armado. Retrieved February 23, 2018, from <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn401.html>
- Rincon, F. J. (2013). *Propiedades Físicoquímica, Reológica y funcionalidad de la goma de semilla de Prosopis juliflora "cuji."* Universidad de Córdoba. Retrieved from <http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/10764>
- Rosales Castro, M., Honorato Salazar, J. A., Santos García, A. B., Pérez López, M. E., Colotl Hernández, G., & Sánchez Monsalvo, V. (2016). Composición química de las hojas y ramas de *Cedrela odorata* L. de dos plantaciones forestales como fuente de materia prima lignocelulósica. *Madera Y Bosques*, 22(2), 131–146. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5757905.pdf>
- Sánchez de Guzmán, D. (2011). *Durabilidad y Patología del Concreto*. (Asocreto, Ed.) (2nd ed.). Bogota. Retrieved from Asociación Colombiana de Productores de Concreto
- Sánchez De Guzmán, D. (2004). Nuevas tendencias en la especificación y diseño de mezclas de concreto. In *X Reunión del concreto*. Cartagena de Indias: Asocreto.
- Shi, X., Xie, N., Fortune, K., & Gong, J. (2012). Durability of steel reinforced concrete in chloride environments: An overview. *Construction and Building Materials*, 30, 125–138. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.038>
- Sika-colombia S.A.S. (2014, September). Aditivos para Concreto, 1–28. Retrieved from



<https://col.sika.com/dms/getdocument.get/269d0f31-fb62-3538-bcca-0b37aad65e17/BROCHURE ADITIVOS PARA CONCRETO.pdf>.

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*, 35, 270–280. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.001>

Tecnología y Procesos Industriales, G. técnica. (n.d.). Corrosión en la industria de alimentos parte ii - Tipos de corrosion. *Corrosion*, 1–7.

Torres, A., Celis, C., Martinez, W., & Lomelí, M. (2010). Mejora en la durabilidad de materiales base cemento, utilizando adiciones deshidratadas de dos cactáceas. *Sanfandila, Qro. Publicación Técnica No. 326*. Instituto mexicano del transporte. Secretaria de comunicaciones y transportes. Retrieved from <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt326.pdf>

Torres, A., Martinez, W., Lomelí, M., & Perez, A. (2010). Adiciones en base a cactus como inhibidor de corrosión para acero de refuerzo en concreto. *Sanfandila, Qro. Publicación Técnica No. 328*. Instituto mexicano del transporte. Secretaria de comunicaciones y transportes. Retrieved from <http://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt328.pdf>

TOXEMENT. (2015, September). Prevención de la corrosión del acero de refuerzo en estructuras de concreto con productos Toxement. Retrieved September 6, 2017, from [http://www.toxement.com.co/media/2281/documento\\_prevenio-n\\_corrosio-n.pdf](http://www.toxement.com.co/media/2281/documento_prevenio-n_corrosio-n.pdf)

Universia-Colombia. (2013, August). Más de 26 mil millones de pesos pierde la industria colombiana debido a la corrosión de materiales. Retrieved August 25, 2017, from <http://noticias.universia.net.co/actualidad/noticia/2013/08/29/1045848/mas-26-mil-millones-pesos-pierde-industria-colombiana-debido-corrosion-materiales.html>

Vázquez Florez, A. A., Alvarez Parrilla, E., López Díaz, J. A., Medrano Wall, A., & De La Rosa, L. A. (2012). Taninos hidrolizables y condensados: naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo. *Tecnociencia Chihuahua*, 6(2), 84–93. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.7699>

Villabona Duran, P. Y., & Gómez Méndez, L. (2012). *Determinación de la corrosión en probetas de hormigón sumergidas en solución salina*. Universida de Cartagena. Retrieved from <http://190.242.62.234:8080/jspui/handle/11227/145>



Villagrán, Y. A. (2012). *Estimaciones del ingreso de cloruro en hormigón y de la despasivación localizada de armaduras*. Universidad Nacional de la Plata. Retrieved from <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/51234>

Vives Perez, L. C. (2016). *Generación de presión osmótica mediante aprovechamiento del gradiente de salinidad en los procesos de osmosis retardada y de desalinización del agua de mar*. Universidad de Cartagena. Retrieved from <http://190.242.62.234:8080/jspui/handle/11227/2869>



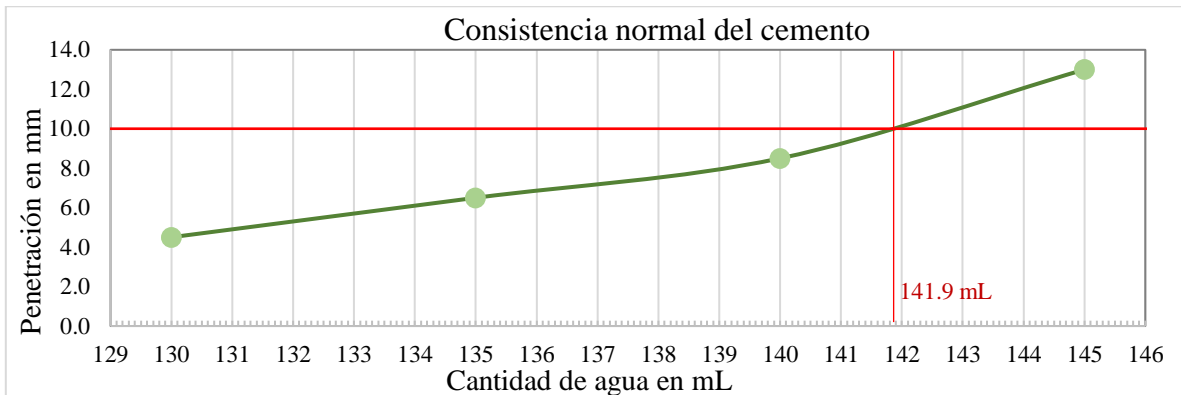
# **ANEXOS**

## ANEXO 1. PRUEBAS PRELIMINARES

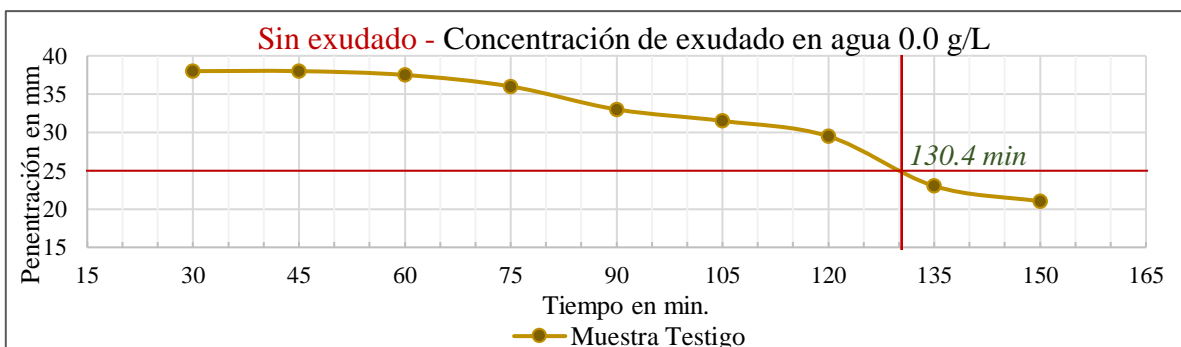
### Anexo 1A. Ensayo de asentamiento de las mezclas de concreto, preliminares

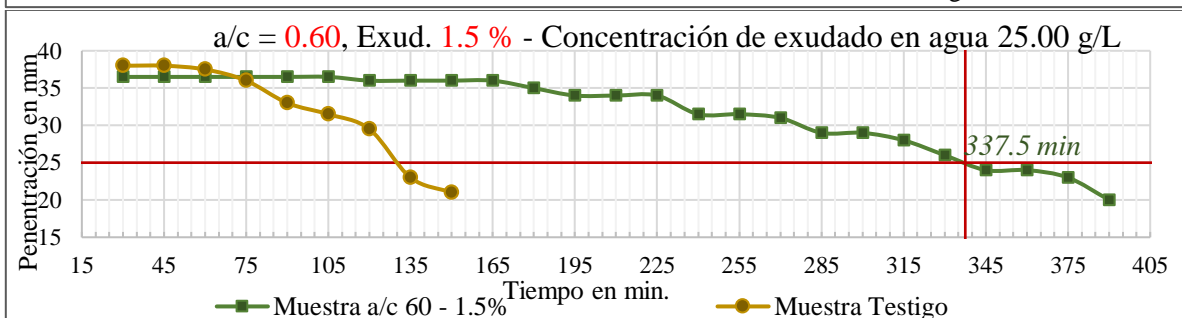
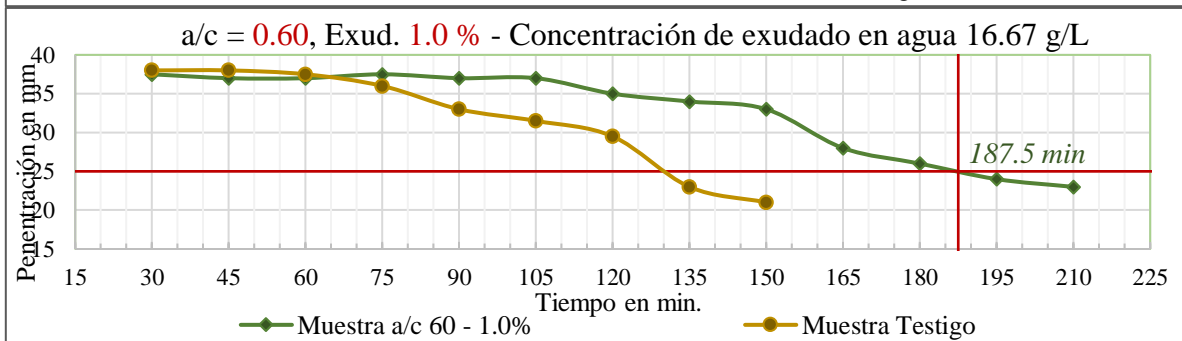
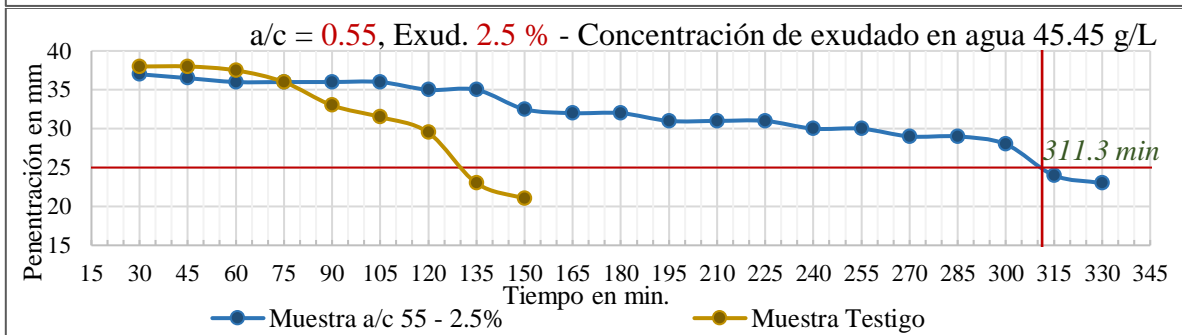
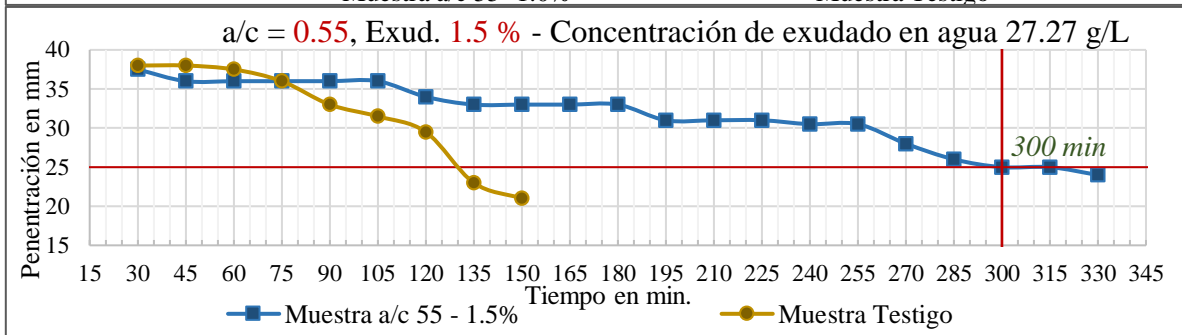
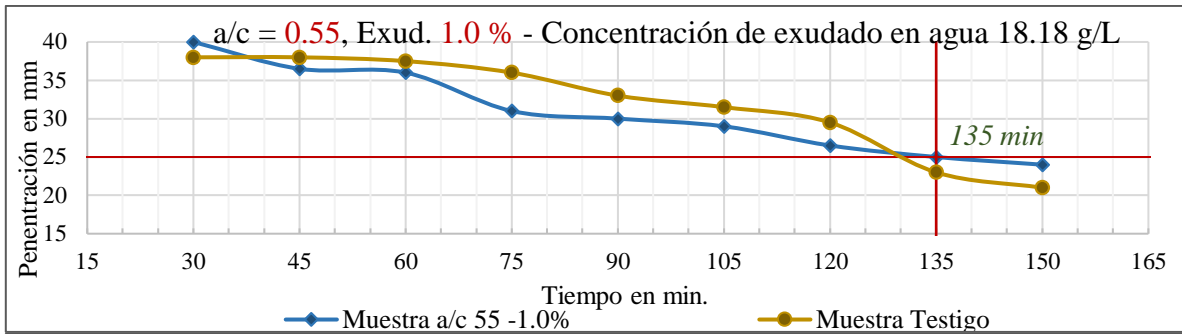


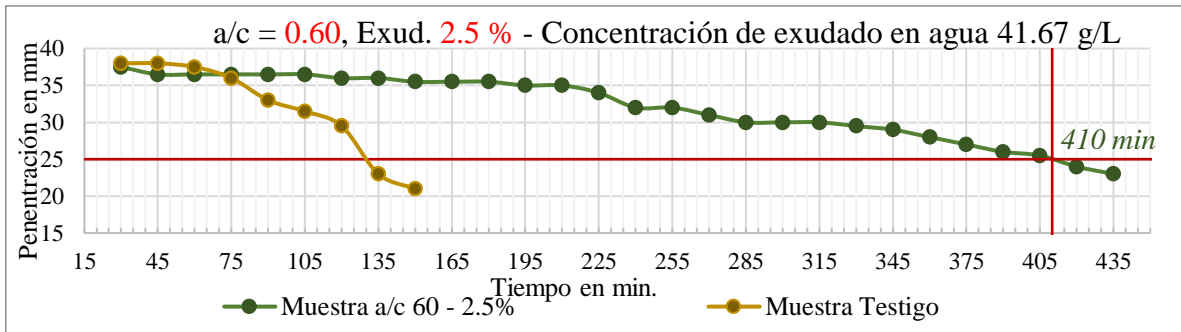
### Anexo 1B. Grafica de ensayo de consistencia normal de la pasta de cemento



### Anexo 1C. Graficas de ensayo tiempo de fraguado inicial de la pasta de cemento







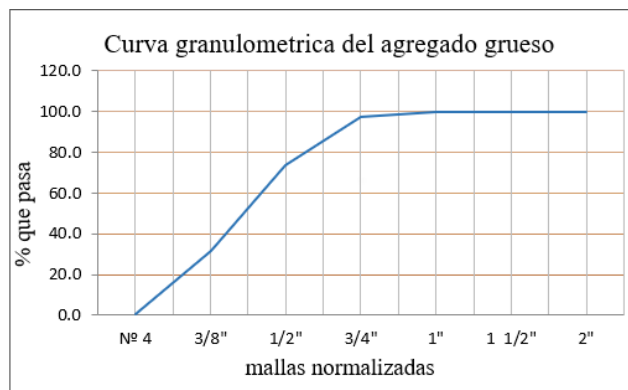
### Anexo 1D: Proceso de ensayo de tiempo de fraguado



## ANEXO 2. FABRICACIÓN DE LAS MEZCLAS Y CONSTRUCCIÓN DE LAS PROBETAS DE CONCRETO

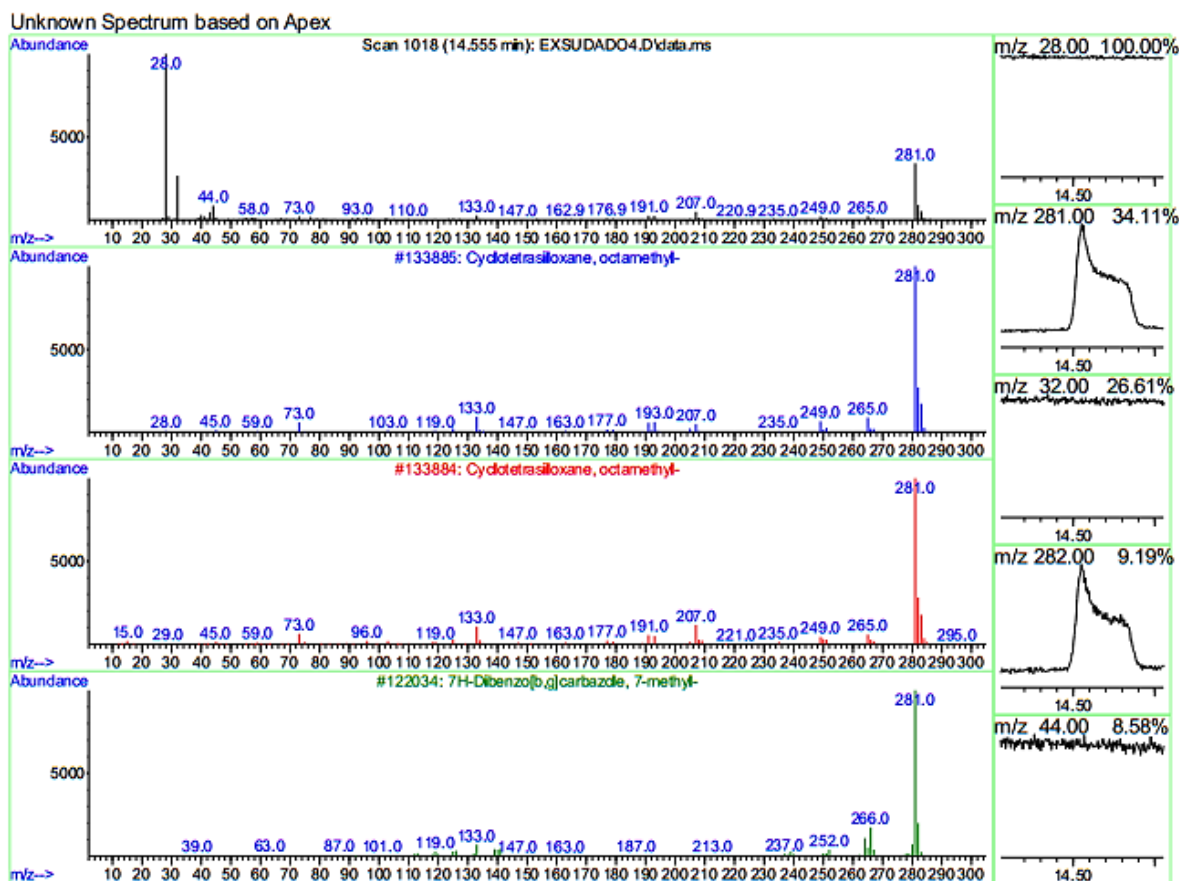


GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO				TM= 3/4"
Peso inicial del agregado grueso (g)= 1994.4				TMN= 1/2"
				TM 3/4"
Malla	Peso retenido (g)	% retenido	% retenido acumulado	% que pasa
2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	55.60	2.79	2.79	97.21
1/2"	465.80	23.36	26.14	73.86
3/8"	845.40	42.39	68.53	31.47
Nº 4	615.50	30.86	99.39	0.61
cazuela	12.10	0.61	100.00	0.00
	1994.40	100.00		



## ANEXO 3. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL EXUDADO

### Anexo 3A. Espectros de masa asociados a cada pico cromatográfico



Data File: C:\MSDCHEM\1\2016\ORL\EXSUDADO4.D

Sample : exsudado

Peak Number: 1 at 14.555 min Area: 3055228 Area % 0.89

The 3 best hits from each library. Ref# CAS# Qual

D:\Database\NIST08.L

- |   |                                     |        |             |    |
|---|-------------------------------------|--------|-------------|----|
| 1 | Cyclotetrasiloxane, octamethyl-     | 133885 | 000556-67-2 | 91 |
| 2 | Cyclotetrasiloxane, octamethyl-     | 133884 | 000556-67-2 | 72 |
| 3 | 7H-Dibenzo[b,g]carbazole, 7-methyl- | 122034 | 003557-49-1 | 53 |

Lo anterior es el espectro de masa del compuesto asociado al tiempo de retención de 14.555 minutos, los demás espectros se encuentran en <https://app.box.com/v/Cromatografia>



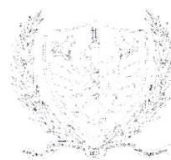
Anexo 3C. Resultado del ensayo de viscosidad del exudado de C. Odorata L.

$\gamma$ (1/s)	Control		55-03		55-05		55-09		g (1/s)	Control		55-03		55-05		55-09	
	$\eta$ (Pa.s)	$\eta$ (cP)	$\eta$ (Pa.s)	$\eta$ (cP)	$\eta$ (Pa.s)	$\eta$ (cP)	$\eta$ (Pa.s)	$\eta$ (cP)		$\eta$ (Pa.s)	$\eta$ (cP)	$\eta$ (Pa.s)	$\eta$ (cP)	$\eta$ (Pa.s)	$\eta$ (cP)	$\eta$ (Pa.s)	$\eta$ (cP)
0.0012	1.384	1384	1.526	1526	0.4402	440.2	1.166	1166	1.2000	0.00113	1.13	0.0063	6.296	0.01096	10.96	0.00893	8.932
0.0013	1.384	1384	1.099	1099	0.7158	715.8	0.7971	797.1	1.4000	0.000433	0.4333	0.00683	6.831	0.00652	6.524	0.00769	7.686
0.0015	1.257	1257	1.11	1110	0.4937	493.7	0.8217	821.7	1.6000	0.000803	0.8028	0.00502	5.017	0.00515	5.15	0.00771	7.713
0.0017	0.9862	986.2	0.8506	850.6	0.5203	520.3	0.6799	679.9	1.9000	0.001743	1.743	0.003	3.002	0.00821	8.207	0.00661	6.612
0.0020	0.9551	955.1	1.096	1096	0.6676	667.6	0.5805	580.5	2.2000	0.002132	2.132	0.00242	2.418	0.00415	4.15	0.00676	6.76
0.0023	0.8893	889.3	1.144	1144	0.4898	489.8	0.4485	448.5	2.5000	0.001821	1.821	0.00302	3.018	0.00575	5.749	0.00702	7.023
0.0026	0.8389	838.9	1.403	1403	0.4241	424.1	0.4655	465.5	2.8000	0.001679	1.679	0.0046	4.597	0.00791	7.914	0.00752	7.518
0.0030	0.6334	633.4	1.074	1074	0.5288	528.8	0.4403	440.3	3.3000	0.000828	0.8284	0.00423	4.225	0.00541	5.405	0.00694	6.936
0.0035	0.5891	589.1	0.4795	479.5	0.4528	452.8	0.3408	340.8	3.8000	0.0016	1.6	0.00264	2.643	0.00474	4.742	0.00623	6.228
0.0040	0.5199	519.9	0.5868	586.8	0.3916	391.6	0.3108	310.8	4.3000	0.001752	1.752	0.00337	3.373	0.00606	6.063	0.00717	7.17
0.0047	0.4571	457.1	0.6115	611.5	0.2881	288.1	0.2844	284.4	5.0000	0.001008	1.008	0.00349	3.492	0.0055	5.502	0.00624	6.238
0.0053	0.4243	424.3	0.4814	481.4	0.3499	349.9	0.2104	210.4	5.7000	0.001749	1.749	0.0028	2.8	0.00609	6.092	0.00624	6.236
0.0061	0.3672	367.2	0.433	433	0.3419	341.9	0.2156	215.6	6.6000	0.000936	0.9362	0.00336	3.36	0.00524	5.236	0.00615	6.146
0.0071	0.3274	327.4	0.3952	395.2	0.1637	163.7	0.1707	170.7	7.6000	0.001326	1.326	0.00284	2.841	0.00519	5.187	0.0061	6.104
0.0081	0.297	297	0.4034	403.4	0.1729	172.9	0.1447	144.7	8.7000	0.001162	1.162	0.00252	2.519	0.00512	5.116	0.00579	5.789
0.0093	0.2898	289.8	0.2949	294.9	0.1937	193.7	0.1278	127.8	10.0000	0.000905	0.9045	0.0029	2.899	0.00493	4.928	0.00595	5.952
0.0110	0.2467	246.7	0.271	271	0.1666	166.6	0.1062	106.2	11.0000	0.000912	0.9124	0.00295	2.949	0.00508	5.08	0.00598	5.982
0.0120	0.2333	233.3	0.2206	220.6	0.1531	153.1	0.09765	97.65	13.0000	0.000893	0.8929	0.00285	2.852	0.00511	5.109	0.00594	5.936
0.0140	0.2207	220.7	0.2088	208.8	0.1513	151.3	0.09418	94.18	15.0000	0.000984	0.9844	0.00261	2.612	0.00493	4.934	0.00584	5.844
0.0160	0.2025	202.5	0.1574	157.4	0.1346	134.6	0.08344	83.44	17.0000	0.001092	1.092	0.00246	2.459	0.00486	4.857	0.00584	5.835
0.0190	0.179	179	0.1172	117.2	0.1322	132.2	0.07194	71.94	20.0000	0.000894	0.8935	0.00266	2.662	0.00483	4.827	0.00584	5.84
0.0220	0.167	167	0.1092	109.2	0.1297	129.7	0.06904	69.04	23.0000	0.001013	1.013	0.00263	2.634	0.00498	4.983	0.00592	5.922
0.0250	0.1678	167.8	0.08203	82.03	0.1219	121.9	0.04636	46.36	27.0000	0.000965	0.9645	0.00268	2.683	0.00475	4.749	0.00587	5.874
0.0280	0.1538	153.8	0.0807	80.7	0.0991	99.1	0.05146	51.46	31.0000	0.000939	0.9389	0.00245	2.452	0.00465	4.648	0.00575	5.751
0.0330	0.1453	145.3	0.05908	59.08	0.1008	100.8	0.04249	42.49	35.0000	0.00094	0.9399	0.00257	2.565	0.00469	4.686	0.00586	5.861
0.0380	0.1326	132.6	0.04254	42.54	0.09705	97.05	0.03388	33.88	40.0000	0.000993	0.9927	0.00251	2.512	0.00469	4.685	0.0058	5.796
0.0430	0.1231	123.1	0.03566	35.66	0.1006	100.6	0.03023	30.23	46.0000	0.000989	0.989	0.00262	2.617	0.00464	4.643	0.00579	5.794
0.0500	0.1174	117.4	0.03148	31.48	0.09656	96.56	0.02625	26.25	53.0000	0.000975	0.9754	0.0025	2.495	0.00463	4.63	0.0058	5.795
0.0570	0.1096	109.6	0.02549	25.49	0.08179	81.79	0.02218	22.18	61.0000	0.000971	0.9708	0.00244	2.442	0.00458	4.581	0.00578	5.782
0.0660	0.09863	98.63	0.02386	23.86	0.08126	81.26	0.01963	19.63	71.0000	0.000981	0.9814	0.0025	2.504	0.0047	4.7	0.00579	5.789
0.0760	0.08784	87.84	0.01725	17.25	0.08045	80.45	0.016	16	81.0000	0.001054	1.054	0.0025	2.496	0.00464	4.639	0.00578	5.782
0.0870	0.0818	81.8	0.01451	14.51	0.07221	72.21	0.01245	12.45	93.0000	0.000997	0.9966	0.0025	2.501	0.0046	4.603	0.0058	5.8
0.1000	0.07319	73.19	0.01137	11.37	0.06881	68.81	0.01146	11.46	110.0000	0.001013	1.013	0.00257	2.567	0.00467	4.668	0.00582	5.82
0.1100	0.06504	65.04	0.01104	11.04	0.06084	60.84	0.0076	7.597	120.0000	0.001034	1.034	0.00254	2.543	0.00467	4.672	0.00585	5.848
0.1300	0.05704	57.04	0.01033	10.33	0.05685	56.85	0.00798	7.979	140.0000	0.001212	1.212	0.00256	2.561	0.0047	4.701	0.00587	5.871
0.1500	0.05236	52.36	0.005565	5.565	0.05016	50.16	0.00471	4.706	160.0000	0.001461	1.461	0.00261	2.613	0.00471	4.708	0.00594	5.944
0.1700	0.04241	42.41	0.00464	4.64	0.04046	40.46	0.00558	5.575	190.0000	0.001517	1.517	0.00264	2.637	0.00476	4.764	0.00595	5.954
0.2000	0.03915	39.15	0.001462	1.462	0.02995	29.95	0.00444	4.438	220.0000	0.001641	1.641	0.00268	2.679	0.00479	4.792	0.00601	6.007
0.2300	0.03468	34.68	0.000504	0.504	0.01834	18.34	0.00403	4.031	250.0000	0.001808	1.808	0.00273	2.726	0.00481	4.81	0.00607	6.072
0.2700	0.02859	28.59	0.000673	0.673	0.009666	9.666	0.00362	3.623	280.0000	0.001967	1.967	0.00278	2.784	0.00485	4.852	0.00616	6.159
0.3100	0.02148	21.48	0.000872	0.872	0.000424	0.424	0.00342	3.417	330.0000	0.002221	2.221	0.00284	2.843	0.0049	4.895	0.00621	6.211
0.3500	0.01511	15.11	0.000668	0.668	0.005096	5.096	0.00473	4.731	380.0000	0.002378	2.378	0.00339	3.386	0.00495	4.948	0.0063	6.299
0.4000	0.01415	14.15	0.000923	0.923	0.006379	6.379	0.00524	5.238	430.0000	0.00257	2.57	0.00377	3.774	0.00499	4.99	0.00639	6.388
0.4600	0.01736	17.36	0.000489	0.489	0.001158	1.158	0.00636	6.356	500.0000	0.002778	2.778	0.00412	4.117	0.00506	5.056	0.00649	6.492
0.5300	0.01964	19.64	0.000787	0.787	0.007129	7.129	0.00839	8.391	570.0000	0.002863	2.863	0.00442	4.418	0.00517	5.171	0.0066	6.595
0.6100	0.01873	18.73	0.002928	2.928	0.01396	13.96	0.00828	8.277	660.0000	0.00309	3.09	0.0049	4.904	0.00543	5.431	0.00671	6.707
0.7100	0.01395	13.95	0.003704	3.704	0.01216	12.16	0.00772	7.717	760.0000	0.00318	3.18	0.00545	5.446	0.00648	6.483	0.00685	6.851
0.8100	0.00343	3.429	0.003082	3.082	0.003982	3.982	0.00773	7.733	870.0000	0.0034	3.4	0.00606	6.056	0.00708	7.079	0.00795	7.95
0.9300	0.00366	3.656	0.004641	4.641	0.00744	7.44	0.01173	11.73	1000.0000	0.00378	3.78	0.00654	6.538	0.00775	7.748	0.00875	8.753
1.1000	0.00351	3.509	0.007254	7.254	0.01233	12.33	0.01094	10.94									

$\eta$ : Viscosidad aparente

$\gamma$ : Tasa de corte

## ANEXO 4. RESULTADOS DEL ANALISIS DE CONTENIDO DE CLORUROS EN CONCRETO.



Universidad  
de Cartagena  
Fundada en 1827

Cartagena de indias DT y C, 31 de mayo de 2018

Estudiantes  
**Fidel Castillo Mercado**  
**Breiner Ramírez Arenilla**

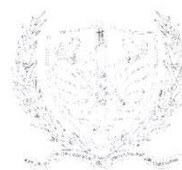
Cordial saludo,

A continuación hago entrega de los resultados del análisis químico del contenido de cloruros solubles en agua practicado a las muestras pulverizadas de concreto, de acuerdo a la norma ASTM C1218/C1218M.

CLORUROS SOLUBLES (RELACIÓN A/C=0.55)					
MUESTRA	PROFUNDIDAD (cm)	PESO (g)	VOLUMEN (mL)	CONCENTRACIÓN P/P	FACTOR DE DILUCIÓN
P55-00	0.50	1.2328	3.80	0.77	0.25
	1.00	1.0464	2.90	0.69	0.25
	2.00	1.018	2.25	0.55	0.25
P55-03	0.50	1.0405	3.50	0.84	0.25
	1.00	0.9434	2.45	0.65	0.25
	2.00	1.0125	2.60	0.64	0.25
P55-05	0.50	1.0622	3.25	0.76	0.25
	1.00	1.0256	2.25	0.55	0.25
	2.00	1.021	2.15	0.53	0.25
P55-07	0.50	1.0313	3.85	0.93	0.25
	1.00	1.1853	3.25	0.68	0.25
	2.00	1.1284	2.10	0.46	0.25
P55-09	0.50	1.0964	4.10	0.93	0.25
	1.00	1.0082	2.50	0.62	0.25
	2.00	1.0293	1.75	0.42	0.25

Cordialmente,

ORLANDO DE LA ROSA MERCADO, Q.F.  
ANALISTA  
QUÍMICO PROFESIONAL



**Universidad  
de Cartagena**  
Fundada en 1827

Cartagena de indias DT y C, 31 de mayo de 2018

Estudiantes  
**Fidel Castillo Mercado**  
**Breiner Ramírez Arenilla**

Cordial saludo,

A continuación hago entrega de los resultados del análisis químico del contenido de cloruros solubles en agua practicado a las muestras pulverizadas de concreto, de acuerdo a la norma ASTM C1218/C1218M.

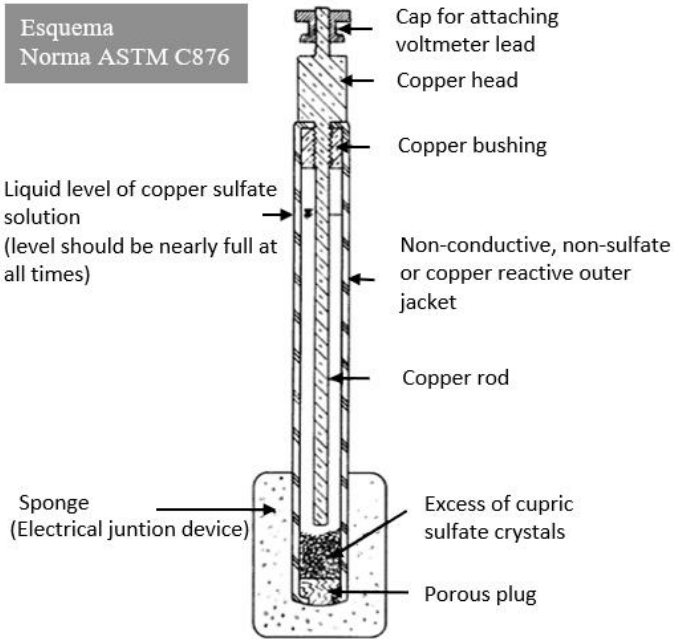
CLORUROS SOLUBLES (RELACIÓN A/C=0.60)					
MUESTRA	PROFUNDIDAD (cm)	PESO (g)	VOLUMEN (mL)	CONCENTRACIÓN P/P	FACTOR DE DILUCIÓN
P60-00	0.5	1.13	4.35	0.96	0.25
	1	1.1299	3.65	0.81	0.25
	2	1.0173	2.35	0.58	0.25
P60-03	0.5	1.0502	3.45	0.82	0.25
	1	1.0383	2.5	0.60	0.25
	2	1.0525	2.2	0.52	0.25
P60-05	0.5	1.0341	3.55	0.86	0.25
	1	1.0085	3.05	0.76	0.25
	2	1.0424	2.15	0.52	0.25
P60-07	0.5	1.1068	4.5	1.02	0.25
	1	1.0103	2.85	0.71	0.25
	2	1.0282	2.15	0.52	0.25
P60-09	0.5	1.0518	4.25	1.01	0.25
	1	1.0426	2.85	0.68	0.25
	2	1.1122	1.9	0.43	0.25

Cordialmente,

ORLANDO DE LA ROSA MERCADO, Q.F.  
ANALISTA  
QUÍMICO PROFESIONAL

# ANEXO 5. DETALLES DE LA PRUEBA DE POTENCIAL ELÉCTRICO DE CORROSIÓN MEDIANTE LA NORMA ASTM C876

Anexo 5A. Esquema del electrodo de referencia utilizado en este proyecto, de acuerdo con la norma ASTM C876







		E55-00			E55-03			E55-05			E55-07			E55-09			E60-00			E60-03			E60-05			E60-07			E60-09		
		mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo
07-mar		-290	1.893	Atipico	-516	-0.895	Bien	-253	-1.188	Bien	-316	-2.435	Atipico	-317	-2.131	Atipico	-414	-2.714	Atipico	-277	-2.038	Atipico	-250	-2.000	Atipico	-242	1.970	Atipico	-310	0.576	Bien
		-298	-0.344	Bien	-514	-0.436	Bien	-258	-1.061	Bien	-306	-0.802	Bien	-310	-0.595	Bien	-396	0.034	Bien	-272	-0.944	Bien	-246	-0.871	Bien	-246	0.898	Bien	-306	1.614	Bien
		-295	0.421	Bien	-518	-1.354	Bien	-253	-0.249	Bien	-299	0.362	Bien	-308	-0.240	Bien	-391	0.873	Bien	-270	-0.549	Bien	-245	-0.484	Bien	-247	0.623	Bien	-317	-1.354	Bien
		-295	0.303	Bien	-515	-0.666	Bien	-245	1.010	Bien	-296	0.767	Bien	-306	0.173	Bien	-398	-0.211	Bien	-269	-0.265	Bien	-244	-0.290	Bien	-248	0.424	Bien	-315	-0.951	Bien
		-302	-1.611	Bien	-507	1.170	Bien	-245	0.930	Bien	-296	0.815	Bien	-307	-0.063	Bien	-395	0.232	Bien	-267	0.129	Bien	-244	-0.037	Bien	-249	0.125	Bien	-315	-0.778	Bien
		-295	0.568	Bien	-510	0.482	Bien	-243	1.344	Bien	-298	0.524	Bien	-303	0.764	Bien	-392	0.583	Bien	-267	0.151	Bien	-243	0.258	Bien	-252	-0.424	Bien	-313	-0.346	Bien
		-294	0.657	Bien	-512	0.023	Bien	-258	-1.157	Bien	-300	0.071	Bien	-303	0.725	Bien	-395	0.140	Bien	-266	0.458	Bien	-243	0.323	Bien	-252	-0.524	Bien	-310	0.605	Bien
		-301	-1.198	Bien	-506	1.400	Bien	-255	-0.663	Bien	-298	0.411	Bien	-303	0.764	Bien	-395	0.217	Bien	-264	0.808	Bien	-242	0.613	Bien	-253	-0.798	Bien	-314	-0.519	Bien
		-297	-0.286	Bien	-516	-0.895	Bien	-245	0.962	Bien	-303	-0.382	Bien	-300	1.335	Bien	-394	0.354	Bien	-264	0.852	Bien	-240	1.032	Bien	-254	-1.097	Bien	-313	-0.231	Bien
		-298	-0.403	Bien	-507	1.170	Bien	-251	0.070	Bien	-297	0.670	Bien	-310	-0.733	Bien	-393	0.491	Bien	-262	1.399	Bien	-239	1.516	Bien	-255	-1.197	Bien	-307	1.383	Bien
8		-0.297144444			-0.5121			-0.25114			-0.299166667			-0.305377778			-0.394244444			-0.266855556			-0.242811111			-0.250677778			-0.312		
11-mar		-362	1.883	Atipico	-523	-2.369	Atipico	-266	-1.961	Atipico	-330	-1.961	Atipico	-281	1.729	Atipico	-479	-2.306	Atipico	-314	2.247	Atipico	-234	-1.967	Atipico	-252	-1.718	Atipico	-342	-1.786	Atipico
		-367	0.778	Bien	-512	-0.349	Bien	-260	-0.982	Bien	-323	-1.162	Bien	-283	1.485	Bien	-466	0.235	Bien	-321	0.974	Bien	-233	-1.438	Bien	-250	-0.891	Bien	-340	-1.289	Bien
		-368	0.417	Bien	-505	0.937	Bien	-250	0.502	Bien	-316	-0.262	Bien	-296	0.393	Bien	-465	0.430	Bien	-325	0.107	Bien	-230	-0.275	Bien	-244	0.614	Bien	-338	-0.581	Bien
		-369	0.350	Bien	-508	0.386	Bien	-250	0.581	Bien	-309	0.662	Bien	-297	0.318	Bien	-468	-0.156	Bien	-326	0.015	Bien	-228	0.113	Bien	-249	-0.832	Bien	-336	-0.241	Bien
		-370	0.056	Bien	-508	0.386	Bien	-256	-0.429	Bien	-317	-0.425	Bien	-299	0.141	Bien	-465	0.430	Bien	-326	0.015	Bien	-228	0.113	Bien	-241	1.588	Bien	-335	0.047	Bien
		-370	-0.034	Bien	-508	0.386	Bien	-254	-0.035	Bien	-314	-0.075	Bien	-306	-0.447	Bien	-463	0.821	Bien	-328	-0.317	Bien	-228	0.148	Bien	-247	-0.153	Bien	-335	0.126	Bien
		-371	-0.214	Bien	-504	1.120	Bien	-257	-0.524	Bien	-311	0.300	Bien	-310	-0.733	Bien	-470	-0.547	Bien	-328	-0.428	Bien	-227	0.465	Bien	-242	1.263	Bien	-334	0.492	Bien
		-372	-0.372	Bien	-511	-0.165	Bien	-251	0.423	Bien	-306	0.987	Bien	-312	-0.909	Bien	-471	-0.743	Bien	-329	-0.483	Bien	-226	0.853	Bien	-247	-0.006	Bien	-332	1.016	Bien
		-375	-1.071	Bien	-508	0.386	Bien	-246	1.102	Bien	-308	0.675	Bien	-312	-0.909	Bien	-462	1.016	Bien	-330	-0.742	Bien	-226	0.888	Bien	-247	-0.065	Bien	-331	1.069	Bien
		-378	-1.793	Atipico	-514	-0.716	Bien	-245	1.323	Bien	-304	1.262	Bien	-314	-1.069	Bien	-463	0.821	Bien	-333	-1.387	Bien	-226	1.100	Bien	-246	0.201	Bien	-331	1.147	Bien
12		-0.3701			-0.508666667			-0.252			-0.312055556			-0.303366667			-0.465888889			-0.327233333			-0.2281			-0.245833333			-0.334622222		
15-mar		-422	-1.357	Bien	-524	0.014	Bien	-256	-2.116	Atipico	-294	-1.867	Atipico	-269	1.243	Bien	-512	-0.730	Bien	-435	-1.272	Bien	-221	-2.484	Atipico	-456	-0.131	Bien	-313	-1.775	Atipico
		-414	-0.109	Bien	-525	-0.127	Bien	-241	-0.379	Bien	-287	-1.033	Bien	-269	1.086	Bien	-517	-1.666	Bien	-431	-0.763	Bien	-208	0.053	Bien	-453	0.657	Bien	-312	-1.657	Bien
		-407	0.982	Bien	-518	0.858	Bien	-245	-0.790	Bien	-287	-0.984	Bien	-279	-1.086	Bien	-506	0.393	Bien	-421	0.509	Bien	-206	0.407	Bien	-454	0.394	Bien	-300	0.402	Bien
		-402	1.762	Atipico	-519	0.717	Bien	-240	-0.254	Bien	-277	0.243	Bien	-280	-1.288	Bien	-506	0.393	Bien	-416	1.145	Bien	-210	-0.458	Bien	-458	-0.657	Bien	-295	1.178	Bien
		-409	0.671	Bien	-527	-0.408	Bien	-240	-0.208	Bien	-273	0.733	Bien	-273	0.190	Bien	-508	0.019	Bien	-428	-0.382	Bien	-207	0.230	Bien	-458	-0.657	Bien	-297	0.874	Bien
		-417	-0.577	Bien	-542	-2.518	Atipico	-232	0.637	Bien	-276	0.353	Bien	-275	-0.101	Bien	-506	0.393	Bien	-413	1.527	Bien	-206	0.446	Bien	-459	-0.919	Bien	-301	0.284	Bien
		-409	0.671	Bien	-523	0.155	Bien	-236	0.260	Bien	-276	0.316	Bien	-272	0.481	Bien	-516	-1.479	Bien	-425	0.000	Bien	-205	0.525	Bien	-450	1.444	Bien	-301	0.199	Bien
		-421	-1.201	Bien	-525	-0.127	Bien	-226	1.391	Bien	-279	-0.039	Bien	-276	-0.325	Bien	-506	0.393	Bien	-420	0.636	Bien	-205	0.604	Bien	-459	-0.919	Bien	-305	-0.425	Bien
		-417	-0.577	Bien	-521	0.436	Bien	-229	1.026	Bien	-271	0.954	Bien	-280	-1.332	Bien	-504	0.767	Bien	-424	0.127	Bien	-210	-0.478	Bien	-459	-0.919	Bien	-298	0.638	Bien
		-415	-0.265	Bien	-517	0.999	Bien	-234	0.432	Bien	-268	1.322	Bien	-269	1.131	Bien	-500	1.516	Bien	-437	-1.527	Bien	-202	1.154	Bien	-449	1.707	Atipico	-301	0.284	Bien
14		-0.414555556			-0.522111111			-0.235822222			-0.277288889			-0.27415			-0.5081			-0.425			-0.206466667			-0.456222222			-0.301011111		
19-mar		-465	-1.764	Atipico	-561	-1.876	Atipico	-218	0.764	Bien	-263	-1.792	Atipico	-269	-1.366	Bien	-495	-1.131	Bien	-431	-2.172	Atipico	-196	1.509	indicativo	-480	0.378	Bien	-312	-2.144	Atipico
		-460	-1.139	Bien	-542	-0.263	Bien	-234	-1.482	Bien	-260	-1.304	Bien	-267	-1.021	Bien	-486	0.459	Bien	-421	-0.762	Bien	-202	0.065	Bien	-480	0.378	Bien	-305	-1.027	Bien
		-459	-1.013	Bien	-538	0.076	Bien	-233	-1.381	Bien	-256	-0.509	Bien	-263	-0.569	Bien	-496	-1.307	Bien	-417	-0.197	Bien	-208	-1.169	Bien	-480	0.378	Bien	-294	0.496	Bien
		-452	-0.138	Bien	-535	0.331	Bien	-221	0.358	Bien	-254	-0.130	Bien	-269	-1.340	Bien	-483	0.989	Bien	-417	-0.197	Bien	-199	0.927	Bien	-476	0.937	Bien	-300	-0.374	Bien
		-450	0.113	Bien	-525	1.180	Bien	-227	-0.526	Bien	-247	1.152	Bien	-252	0.946	Bien	-492	-0.601	Bien	-416	-0.056	Bien	-205	-0.424	Bien	-492	-1.301	Bien	-296	0.191	Bien
		-448	0.363	Bien	-533	0.501	Bien	-225	-0.222	Bien	-247	1.080	Bien	-257	0.202	Bien	-484	0.813	Bien	-415	0.085	Bien	-204	-0.307	Bien	-490	-1.021	Bien	-293	0.670	Bien
		-446	0.613	Bien	-558	-1.621	Bien	-219	0.662	Bien	-254	-0.112	Bien	-256	0.428	Bien	-489	-0.071	Bien	-415	0.085	Bien	-208	-1.123	Bien	-493	-1.441	Bien	-298	-0.012	Bien
		-444	0.863	Bien	-535	0.331	Bien	-228	-0.627	Bien	-251	0.448	Bien	-255	0.587	Bien	-480	1.519	Bien	-410	0.790	Bien	-196	1.533	Bien	-486	-0.462	Bien	-294	0.467	Bien
		-444	0.863	Bien	-532	0.586	Bien	-215	1.140	Bien	-252	0.123	Bien	-248	1.411	Bien	-486	0.459	Bien	-408	1.072	Bien	-206	-0.727	Bien	-478	0.657	Bien	-296	0.249	Bien
		-441	1.239	Bien	-530	0.756	Bien	-214	1.314	Bien	-247	1.044	Bien	-254	0.720	Bien	-495	-1.131	Bien	-406	1.35										



	E55-00			E55-03			E55-05			E55-07			E55-09			E60-00			E60-03			E60-05			E60-07			E60-09																																				
	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo																															
23-mar	-527	-2.745	Atipico	-537	-0.286	Bien	-199	-1.271	Bien	-257	-1.026	Bien	-234	-1.151	Bien	-490	-0.040	Bien	-431	-0.177	Bien	-175	0.000	Bien	-474	-1.263	Bien	-274	-0.473	Bien	-473	-0.030	Bien	-537	-0.286	Bien	-182	1.585	Bien	-254	-0.716	Bien	-230	-0.385	Bien	-495	-1.053	Bien	-432	-0.431	Bien	-176	-0.146	Bien	-467	0.374	Bien	-272	0.325	Bien				
	-470	0.121	Bien	-546	-0.536	Bien	-183	1.498	Bien	-236	1.110	Bien	-226	0.308	Bien	-490	-0.040	Bien	-433	-0.684	Bien	-177	-0.584	Bien	-474	-1.263	Bien	-275	-0.591	Bien	-470	0.121	Bien	-426	2.797	Atipico	-192	-0.015	Bien	-252	-0.510	Bien	-235	-1.352	Bien	-498	-1.660	Bien	-429	0.329	Bien	-178	-0.233	Bien	-462	1.544	Bien	-273	0.000	Bien				
	-469	0.171	Bien	-526	0.019	Bien	-191	0.036	Bien	-253	-0.613	Bien	-221	1.257	Bien	-490	-0.040	Bien	-422	2.104	Atipico	-170	1.401	Bien	-469	-0.094	Bien	-272	0.089	Bien	-471	0.070	Bien	-539	-0.342	Bien	-189	0.483	Bien	-260	-1.356	Bien	-218	1.767	Atipico	-484	1.174	Bien	-434	-0.938	Bien	-171	1.109	Bien	-471	-0.562	Bien	-266	1.922	Atipico				
	-462	0.523	Bien	-546	-0.536	Bien	-192	-0.033	Bien	-245	0.171	Bien	-226	0.399	Bien	-483	1.377	Bien	-425	1.343	Bien	-180	-1.547	Bien	-464	1.076	Bien	-277	-1.272	Bien	-463	0.473	Bien	-528	-0.036	Bien	-198	-1.117	Bien	-243	0.398	Bien	-232	-0.804	Bien	-484	1.174	Bien	-432	-0.431	Bien	-170		Bien	-466	0.608	Bien	-277	-1.272	Bien				
	-463	0.473	Bien	-543	-0.453	Bien	-198	-1.065	Bien	-238	0.873	Bien	-229	-0.239	Bien	-491	-0.243	Bien	-434	-0.938	Bien	-171		Bien	-466	0.608	Bien	-277	-1.272	Bien	-463	0.473	Bien	-543	-0.453	Bien	-198	-1.065	Bien	-238	0.873	Bien	-229	-0.239	Bien	-491	-0.243	Bien	-434	-0.938	Bien	-171		Bien	-466	0.608	Bien	-277	-1.272	Bien				
	-456	0.825	Bien	-539	-0.342	Bien	-192	-0.102	Bien	-230	1.667	Bien	-227	0.193	Bien	-493	-0.648	Bien	-431	-0.177	Bien	-170		Bien	-466	0.608	Bien	-277	-1.272	Bien	-456	0.825	Bien	-539	-0.342	Bien	-192	-0.102	Bien	-230	1.667	Bien	-227	0.193	Bien	-493	-0.648	Bien	-431	-0.177	Bien	-170		Bien	-466	0.608	Bien	-277	-1.272	Bien				
		-0.466333333			-0.537888889			-0.19161			-0.24656			-0.228866667			-0.4898			-0.431222222			-0.175			-0.4686			-0.273683333																																			
	24																																																															
	27-mar	-456	-1.055	Bien	-554	-1.791	Atipico	-202	-1.142	Bien	-213	1.833	Atipico	-216	-0.379	Bien	-517	-2.066	Atipico	-445	-2.068	Atipico	-176	-0.011	Bien	-527	-2.560	Atipico	-284	-1.643	Bien	-457	-1.374	Bien	-551	-1.332	Bien	-200	-0.825	Bien	-216	0.868	Bien	-212	1.191	Bien	-511	-1.105	Bien	-439	-0.734	Bien	-186	-1.623	Bien	-515	-0.334	Bien	-282	-1.398	Bien			
		-455	-0.735	Bien	-548	-0.873	Bien	-201	-1.029	Bien	-217	0.669	Bien	-215	-0.148	Bien	-505	-0.144	Bien	-438	-0.511	Bien	-169	1.004	Bien	-514	-0.148	Bien	-273	0.106	Bien	-449	1.183	Bien	-543	-0.107	Bien	-191	1.305	Bien	-217	0.469	Bien	-219	-1.625	Bien	-507	-0.464	Bien	-437	-0.289	Bien	-182	-1.027	Bien	-510	0.594	Bien	-276	-0.302	Bien			
-453		-0.096	Bien	-540	0.352	Bien	-193	0.739	Bien	-218	0.103	Bien	-217	-1.071	Bien	-505	-0.144	Bien	-437	-0.289	Bien	-178	-0.446	Bien	-514	-0.148	Bien	-275	-0.139	Bien	-450	0.863	Bien	-540	0.352	Bien	-189	1.668	Bien	-220	-0.329	Bien	-215	-0.009	Bien	-500	0.657	Bien	-435	0.156	Bien	-174	0.247	Bien	-509	0.779	Bien	-266	1.234	Bien				
-456		-1.055	Bien	-538	0.658	Bien	-198	-0.304	Bien	-220	-0.429	Bien	-213	1.099	Bien	-501	0.496	Bien	-433	0.600	Bien	-179	-0.608	Bien	-510	0.594	Bien	-277	-0.531	Bien	-452	0.224	Bien	-537	0.811	Bien	-198	-0.326	Bien	-220	-0.562	Bien	-212	1.468	Bien	-499	0.817	Bien	-432	0.823	Bien	-177	-0.221	Bien	-513	0.037	Bien	-268	0.907	Bien				
-449		1.183	Bien	-537	0.811	Bien	-194	0.558	Bien	-222	-1.028	Bien	-216	-0.517	Bien	-498	0.977	Bien	-431	1.045	Bien	-168	1.246	Bien	-512	0.223	Bien	-267	1.022	Bien	-449	1.183	Bien	-537	0.811	Bien	-194	0.558	Bien	-222	-1.028	Bien	-216	-0.517	Bien	-498	0.977	Bien	-431	1.045	Bien	-168	1.246	Bien	-512	0.223	Bien	-267	1.022	Bien				
-450		0.863	Bien	-535	1.117	Bien	-200	-0.644	Bien	-223	-1.534	Bien	-215	-0.009	Bien	-498	0.977	Bien	-430	1.267	Bien	-167	1.439	Bien	-508	0.965	Bien	-269	0.744	Bien	-450	0.863	Bien	-535	1.117	Bien	-200	-0.644	Bien	-223	-1.534	Bien	-215	-0.009	Bien	-498	0.977	Bien	-430	1.267	Bien	-167	1.439	Bien	-508	0.965	Bien	-269	0.744	Bien				
		-0.4527			-0.541			-0.19666			-0.219222222			-0.21498			-0.502666667			-0.434666667			-0.17553			-0.511666667			-0.27365																																			
28																																																																
04-abr		-458	-0.252	Bien	-500	-0.569	Bien	-186	0.000	Bien	-202	0.239	Bien	-213	-0.392	Bien	-484	-1.747	Atipico	-427	0.928	Bien	-162	0.841	Bien	-612	-1.063	Bien	-245	1.580	Bien	-447	1.878	Atipico	-492	0.515	Bien	-185	0.465	Bien	-195	2.061	Atipico	-205	0.717	Bien	-205	0.717	Bien	-478	0.532	Bien	-431	-0.309	Bien	-162	1.016	Bien	-618	-1.598	Bien	-251	0.292	Bien
		-448	1.684	Bien	-498	-0.298	Bien	-190	-0.984	Bien	-201	0.268	Bien	-208	0.381	Bien	-478	0.532	Bien	-433	-0.928	Bien	-169	-1.602	Bien	-596	0.366	Bien	-254	-0.511	Bien	-458	-0.252	Bien	-494	0.244	Bien	-183	0.984	Bien	-204	-0.529	Bien	-204	0.834	Bien	-478	0.532	Bien	-428	0.619	Bien	-165	-0.101	Bien	-589	0.991	Bien	-257	-1.167	Bien			
	-457	-0.058	Bien	-496	-0.027	Bien	-184	0.629	Bien	-204	-0.529	Bien	-210	0.060	Bien	-482	-0.987	Bien	-431	-0.309	Bien	-162	0.946	Bien	-590	0.902	Bien	-249	0.705	Bien	-460	-0.639	Bien	-505	-1.247	Bien	-187	-0.137	Bien	-208	-1.497	Bien	-216	-0.859	Bien	-479	0.152	Bien	-423	2.166	Atipico	-167	-0.764	Bien	-606	-0.527	Bien	-257	-1.118	Bien				
	-459	-0.445	Bien	-504	-1.112	Bien	-191	-1.258	Bien	-203	-0.245	Bien	-223	-1.866	Atipico	-475	1.671	Bien	-430	0.000	Bien	-167	-0.660	Bien	-600	0.009	Bien	-251	0.219	Bien	-457	-0.058	Bien	-500	-0.569	Bien	-185	0.273	Bien	-198	1.150	Bien	-202	1.126	Bien	-482	-0.987	Bien	-432	-0.619	Bien	-165	0.073	Bien	-612	-1.063	Bien	-245	1.580	Bien				
	-460	-0.639	Bien	-488	1.058	Bien	-181	1.553	Bien	-204	-0.558	Bien	0	30.664	Atipico	-480	-0.228	Bien	-434	-1.238	Bien	-161	1.295	Bien	-590	0.902	Bien	-257	-1.118	Bien	-460	-0.639	Bien	-488	1.058	Bien	-181	1.553	Bien	-204	-0.558	Bien	0	30.664	Atipico	-480	-0.228	Bien	-434	-1.238	Bien	-161	1.295	Bien	-590	0.902	Bien	-257	-1.118	Bien				
	-463	-1.220	Bien	-481	2.007	Atipico	-192	-1.531	Bien	-204	-0.359	Bien	0	30.664	Atipico	-478	0.532	Bien	-431	-0.309	Bien	-168	-1.044	Bien	-588	1.080	Bien	-251	0.219	Bien	-463	-1.220	Bien	-481	2.007	Atipico	-192	-1.531	Bien	-204	-0.359	Bien	0	30.664	Atipico	-478	0.532	Bien	-431	-0.309	Bien	-168	-1.044	Bien	-588	1.080	Bien	-251	0.219	Bien				
		-0.457777778			-0.497444444			-0.1862			-0.203144444			-0.208285714			-0.478888889			-0.430777778			-0.16471			-0.6001			-0.2519																																			
	36																																																															
	12-abr	-501	0.601	Bien	-525	-0.467	Bien	-586	-2.591	Atipico	-205	0.327	Bien	-217	-0.996	Bien	-525	-0.203	Bien	-464	0.294	Bien	-174	-0.884	Bien	-492	-2.211	Atipico	-556	1.914	Atipico	-500	1.063	Bien	-526	-0.727	Bien	-533	0.183	Bien	-205	0.581	Bien	-214	-0.305	Bien	-527	-0.711	Bien	-460	0.987	Bien	-173	-0.637	Bien	-484	-0.617	Bien	-576	-0.619	Bien			
		-504	-0.786	Bien	-526	-0.727	Bien	-542	-0.288	Bien	-204	0.836	Bien	-209	0.797	Bien	-527	-0.711	Bien	-460	0.987	Bien	-158	2.091	Atipico	-484	-0.617	Bien	-579	-0.999	Bien	-506	-1.711	Atipico	-528	-1.246	Bien	-521	0.811	Bien	-208	-0.777	Bien	-210	0.516	Bien	-521	0.813	Bien	-470	-0.745	Bien	-166	0.565	Bien	-473	1.573	Bien	-573	-0.239	Bien			
-500		1.063	Bien	-520	0.831	Bien	-524	0.654	Bien	-204	0.921	Bien	-208	1.013	Bien	-515	2.336	Atipico	-474	-1.437	Bien	-167	0.412	Bien	-478	0.578	Bien	-571	0.014	Bien	-500	1.063	Bien	-517	1.609	Bien	-544	-0.393	Bien	-205	0.369	Bien	-208	0.948	Bien	-523	0.305	Bien	-461	0.814	Bien	-173	-0.713	Bien	-480	0.179	Bien	-579	-0.999	Bien				
-504		-0.786	Bien	-518	1.350	Bien	-522	0.759	Bien	-210	-1.456	Bien	-207	1.208	Bien	-527	-0.711	Bien	-474	-1.437	Bien	-173	-0.637	Bien	-480	0.179	Bien	-561	1.280	Bien	-501	0.601	Bien	-526	-0.727	Bien	-528	0.445	Bien	-210	-1.498	Bien	-216	-0.650	Bien	-526	-0.457	Bien	-460	0.987	Bien	-170	-0.198	Bien	-478	0.578	Bien	-575	-0.492	Bien				
-503		-0.324	Bien																																																													

		E55-00			E55-03			E55-05			E55-07			E55-09			E60-00			E60-03			E60-05			E60-07			E60-09																																	
		mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo	mV	Z core	indicativo																												
20-abr	52	-498	0.762	Bien	-514	0.339	Bien	-475	-0.913	Bien	-177	-0.479	Bien	-200	-1.235	Bien	-515	0.288	Bien	-478	-0.751	Bien	-338	0.672	Bien	-485	-1.444	Bien	-583	-1.499	Bien	-503	-1.143	Bien	-512	0.533	Bien	-476	-1.000	Bien	-185	-2.172	Atipico	-182	0.901	Bien	-523	-1.247	Bien	-468	1.174	Bien	-338	0.764	Bien	-470	1.523	Bien	-573	-0.184	Bien	
		-501	-0.381	Bien	-503	1.405	Bien	-484	-1.695	Atipico	-177	-0.521	Bien	-191	-0.196	Bien	-523	-1.247	Bien	-468	1.174	Bien	-338	0.764	Bien	-470	1.523	Bien	-573	-0.184	Bien	-503	-1.143	Bien	-508	0.921	Bien	-450	1.261	Bien	-171	0.644	Bien	-185	0.528	Bien	-521	-0.863	Bien	-480	-1.136	Bien	-344	-0.566	Bien	-480	-0.455	Bien	-575	-0.447	Bien	
		-502	-0.762	Bien	-517	0.048	Bien	-470	-0.478	Bien	-171	0.686	Bien	-191	-0.243	Bien	-514	0.480	Bien	-464	1.944	Atipico	-334	1.793	Atipico	-474	0.732	Bien	-564	0.999	Bien	-502	-0.762	Bien	-508	0.921	Bien	-455	0.826	Bien	-170	1.004	Bien	-200	-1.235	Bien	-526	-1.823	Atipico	-477	-0.558	Bien	-344	-0.631	Bien	-480	-0.455	Bien	-572	-0.053	Bien	
		-501	-0.381	Bien	-523	-0.533	Bien	-453	1.000	Bien	-175	-0.140	Bien	-182	0.855	Bien	-512	0.863	Bien	-475	-0.173	Bien	-346	-1.066	Bien	-478	-0.059	Bien	-581	-1.236	Bien	-501	-0.381	Bien	-533	-1.502	Bien	-457	0.652	Bien	-177	-0.584	Bien	-175	1.625	Bien	-511	1.055	Bien	-471	0.597	Bien	-343	-0.288	Bien	-470	1.523	Bien	-575	-0.447	Bien	
		-500	0.000	Bien	-508	0.921	Bien	-455	0.826	Bien	-170	1.004	Bien	-200	-1.235	Bien	-526	-1.823	Atipico	-477	-0.558	Bien	-344	-0.631	Bien	-480	-0.455	Bien	-572	-0.053	Bien	-497	1.143	Bien	-531	-1.308	Bien	-458	0.565	Bien	-172	0.390	Bien	-199	-1.165	Bien	-517	-0.096	Bien	-478	-0.751	Bien	-338	0.855	Bien	-483	-1.048	Bien	-559	1.657	Bien	
		-495	1.905	Atipico	-526	-0.824	Bien	-467	-0.217	Bien	-169	1.173	Bien	-188	0.166	Bien	-515	0.288	Bien	-472	0.404	Bien	-342	-0.082	Bien	-480	-0.455	Bien	-570	0.210	Bien	-495	1.905	Atipico	-526	-0.824	Bien	-467	-0.217	Bien	-169	1.173	Bien	-188	0.166	Bien	-515	0.288	Bien	-472	0.404	Bien	-342	-0.082	Bien	-480	-0.455	Bien	-570	0.210	Bien	
			-0.500555556		-0.5175		-0.462333333		-0.1731		-0.18932				-0.515444444		-0.475222222		-0.342211111		-0.4777																																									
	28-abr	60	-486	1.008	Bien	-519	0.725	Bien	-495	-0.183	Bien	-187	-0.753	Bien	-219	1.055	Bien	-538	-0.674	Bien	-467	1.135	Bien	-412	-0.734	Bien	-482	1.133	Bien	-586	-1.392	Bien	-494	-0.485	Bien	-517	0.975	Bien	-496	-0.335	Bien	-181	0.010	Bien	-223	0.217	Bien	-530	0.610	Bien	-484	-1.473	Bien	-415	-1.271	Bien	-488	-0.486	Bien	-582	-0.857	Bien
			-489	0.448	Bien	-527	-0.275	Bien	-492	0.274	Bien	-188	-0.817	Bien	-233	-1.717	Atipico	-540	-0.995	Bien	-472	0.368	Bien	-409	-0.197	Bien	-485	0.324	Bien	-570	0.750	Bien	-487	-0.821	Bien	-515	1.225	Bien	-484	1.493	Bien	-170	1.459	Bien	-224	0.098	Bien	-520	2.214	Atipico	-468	0.982	Bien	-408	-0.018	Bien	-487	-0.216	Bien	-575	-0.080	Bien
			-488	0.635	Bien	-530	-0.650	Bien	-496	-0.335	Bien	-183	-0.235	Bien	-227	-0.520	Bien	-531	0.449	Bien	-483	-1.319	Bien	-409	-0.197	Bien	-484	0.594	Bien	-581	-0.723	Bien	-494	-0.485	Bien	-524	0.100	Bien	-489	0.731	Bien	-190	-1.076	Bien	-219	1.135	Bien	-537	-0.513	Bien	-467	1.135	Bien	-415	-1.271	Bien	-485	0.324	Bien	-566	1.285	Bien
		-500	-1.605	Bien	-522	0.350	Bien	-487	1.036	Bien	-186	-0.559	Bien	-224	0.138	Bien	-539	-0.834	Bien	-470	0.675	Bien	-409	-0.197	Bien	-494	-2.105	Atipico	-585	-1.258	Bien	-500	-1.605	Bien	-522	0.350	Bien	-487	1.036	Bien	-186	-0.559	Bien	-224	0.138	Bien	-539	-0.834	Bien	-470	0.675	Bien	-409	-0.197	Bien	-494	-2.105	Atipico	-585	-1.258	Bien	
		-500	-1.605	Bien	-523	0.225	Bien	-495	-0.183	Bien	-170	1.498	Bien	-228	-0.780	Bien	-537	-0.513	Bien	-476	-0.245	Bien	-402	1.056	Bien	-488	-0.486	Bien	-566	1.285	Bien	-486	1.008	Bien	-528	-0.400	Bien	-496	-0.335	Bien	-172	1.174	Bien	-218	1.334	Bien	-529	0.770	Bien	-480	-0.859	Bien	-400	1.414	Bien	-488	-0.486	Bien	-573	0.348	Bien	
		-486	1.008	Bien	-528	-0.400	Bien	-496	-0.335	Bien	-172	1.174	Bien	-218	1.334	Bien	-529	0.770	Bien	-480	-0.859	Bien	-400	1.414	Bien	-488	-0.486	Bien	-573	0.348	Bien	-490	0.261	Bien	-543	-2.276	Atipico	-508	-2.164	Atipico	-187	-0.701	Bien	-229	-0.959	Bien	-537	-0.513	Bien	-477	-0.399	Bien	-400	1.414	Bien	-481	1.403	Bien	-572	0.482	Bien	
			-0.4314		-0.522777778		-0.492222222		-0.18138		-0.22449				-0.535333333		-0.4744		-0.4079		-0.485333333																																									
08-may		70	-506	0.302	Bien	-564	-0.291	Bien	-529	-1.463	Bien	-196	-0.649	Bien	-345	-0.649	Bien	-539	0.123	Bien	-506	-1.762	Atipico	-548	0.071	Bien	-498	-0.647	Bien	-586	-0.324	Bien	-499	1.477	Bien	-561	0.956	Bien	-520	0.341	Bien	-196	-0.682	Bien	-339	0.216	Bien	-542	-0.492	Bien	-502	-0.567	Bien	-553	-1.114	Bien	-500	-1.409	Bien	-573	1.589	Bien
			-507	0.134	Bien	-564	-0.291	Bien	-528	-1.263	Bien	-194	-0.334	Bien	-351	-1.398	Bien	-538	0.328	Bien	-502	-0.567	Bien	-544	1.020	Bien	-496	0.114	Bien	-587	-0.471	Bien	-510	-0.369	Bien	-561	0.956	Bien	-520	0.341	Bien	-190	0.361	Bien	-349	-1.114	Bien	-533	1.352	Bien	-496	1.225	Bien	-553	-1.114	Bien	-496	0.114	Bien	-576	1.148	Bien
			-510	-0.369	Bien	-561	0.956	Bien	-520	0.341	Bien	-194	0.361	Bien	-349	-1.114	Bien	-533	1.352	Bien	-496	1.225	Bien	-553	-1.114	Bien	-496	0.114	Bien	-576	1.148	Bien	-510	-0.369	Bien	-561	0.956	Bien	-520	0.341	Bien	-197	-0.897	Bien	-332	1.067	Bien	-531	1.762	Atipico	-500	0.030	Bien	-547	0.308	Bien	-498	-0.647	Bien	-590	-0.912	Bien
		-518	-1.712	Atipico	-563	0.125	Bien	-520	0.341	Bien	-186	0.891	Bien	-330	1.364	Bien	-545	-1.106	Bien	-498	0.627	Bien	-550	-0.403	Bien	-493	1.256	Bien	-591	-1.060	Bien	-512	-0.705	Bien	-568	-1.953	Atipico	-529	-1.463	Bien	-186	0.891	Bien	-348	-0.998	Bien	-539	0.123	Bien	-502	-0.567	Bien	-543	1.257	Bien	-497	-0.266	Bien	-589	-0.765	Bien	
		-501	1.141	Bien	-561	0.956	Bien	-517	0.942	Bien	-195	-0.533	Bien	-337	0.448	Bien	-539	0.123	Bien	-495	1.523	Bien	-550	-0.403	Bien	-498	-0.647	Bien	-586	-0.324	Bien	-502	0.973	Bien	-564	-0.291	Bien	-516	1.142	Bien	-180	2.016	Atipico	-332	1.067	Bien	-545	-1.106	Bien	-502	-0.567	Bien	-553	-1.114	Bien	-496	0.114	Bien	-574	1.442	Bien	
		-513	-0.873	Bien	-566	-1.122	Bien	-519	0.541	Bien	-198	-1.063	Bien	-340	-0.004	Bien	-545	-1.106	Bien	-498	0.627	Bien	-542	1.494	Bien	-491	2.018	Atipico	-586	-0.324	Bien	-513	-0.873	Bien	-566	-1.122	Bien	-519	0.541	Bien	-198	-1.063	Bien	-340	-0.004	Bien	-545	-1.106	Bien	-498	0.627	Bien	-542	1.494	Bien	-491	2.018	Atipico	-586	-0.324	Bien	
			-0.506666667		-0.562777778		-0.5217		-0.193033333		-0.339811111				-0.540555556		-0.493444444		-0.5483		-0.496888889																																									
	18-may	80	-518	0.058	Bien	-569	0.433	Bien	-540	0.000	Bien	-198	0.683	Bien	-409	-2.561	Atipico	-558	-0.214	Bien	-500	1.408	Bien	-535	-0.351	Bien	-504	1.597	Bien	-586	-0.149	Bien	-524	-0.812	Bien	-572	-0.866	Bien	-542	-0.663	Bien	-201	-0.686	Bien	-400	-0.448	Bien	-560	-0.520	Bien	-506	0.023	Bien	-528	0.878	Bien	-515	-0.745	Bien	-592	-1.266	Bien
			-529	-1.536	Bien	-575	-2.165	Atipico	-538	0.663	Bien	-204	-1.364	Bien	-398	0.021	Bien	-553	0.551	Bien	-509	-0.669	Bien	-531	0.351	Bien	-512	-0.106	Bien	-584	0.223	Bien	-521	-0.377	Bien	-568	0.866	Bien	-536	1.325	Bien	-193	1.446	Bien	-396	0.514	Bien	-548	1.316	Bien	-512	-1.362	Bien	-541	-1.404	Bien	-514	-0.532	Bien	-586	-0.149	Bien
			-516	0.348	Bien	-570	0.000	Bien	-536	1.325	Bien	-195	0.986	Bien	-398	0.021	Bien	-557	-0.061	Bien	-504	0.485	Bien	-533	0.000	Bien	-508	0.745	Bien	-586	-0.149	Bien	-516	0.348	Bien	-570	0.000	Bien	-544	-1.325	Bien	-201	-0.540	Bien	-397	0.256	Bien	-569	-1.897	Atipico	-511	-1.131	Bien	-538	-0.878	Bien	-516	-0.958	Bien	-593	-1.452	Bien
		-518	0.058	Bien	-570	0.000	Bien	-544	-1.325	Bien	-201	-0.540	Bien	-397	0.256	Bien	-569	-1.897	Atipico	-511	-1.131	Bien	-538																																							