



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE SUCRE  
ESCUELA DE CIENCIAS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

EVALUACIÓN DE UNA BASE DE PINTURA INDUSTRIAL FORMULADA CON  
EXTRACTOS DE PLANTAS DEL GÉNERO *ALOE* COMO POSIBLE  
RECUBRIMIENTO INHIBIDOR DE CORROSIÓN  
(Modalidad: Tesis de grado)

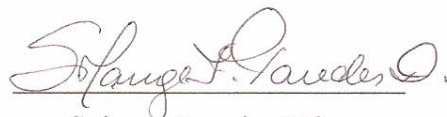
ASYURI DEL VALLE ROQUEZ RAMOS

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN QUÍMICA

CUMANÁ, 2013

EVALUACIÓN DE UNA BASE DE PINTURA INDUSTRIAL FORMULADA CON  
EXTRACTOS DE PLANTAS DEL GÉNERO *ALOE* COMO POSIBLE  
RECUBRIMIENTO INHIBIDOR DE CORROSIÓN

APROBADO POR:




Solange Paredes MSc.

(Asesora)



Haydelba D' Armas, PhD.

(Co-Asesora)



Profa. Shailili Moreno

(Jurado principal)



Prof. Benjamín Hidalgo-Prada

(Jurado principal)

## **DEDICATORIA**

A:

Dios todopoderoso quien siempre estuvo a mi lado acompañándome en cada paso, por darme sabiduría, entendimiento y fortaleza para afrontar mí día a día y por nunca hacerme perder ni la fe ni la esperanza, incluso en medio de la tormenta... Esto es para ti padre mío.

Mis padres Yuraima y Asdrubal por su apoyo a lo largo de todos estos años, por sus palabras de aliento siempre que las necesité... Mi lucha es de ustedes también. Los amo!!!

Todos mis tíos en especial a César, José Luis, Ángel y Aura (Q.E.P.D) también a mis primos Arbi, Edgardo, Aurys y mis abuelos Luis y Ana (Q.E.P.D) por ser mí día a día, por siempre estar presente y apoyarme en todo momento; por sus palabras de aliento y por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

Mis hermanos César y Yolaidy por apoyarme y estar allí siempre. Con mucho afecto. Esto es para ustedes!!!

Mis compañeros y amigos que compartieron conmigo momentos especiales dentro y fuera de la universidad.

## **AGRADECIMIENTO**

A:

Dios por haberme dado la vida, acompañarme todos los días, iluminarme el camino y por sostenerme en aquellos momentos que pensé que podía caer, además de permitirme culminar con éxito mi carrera.

Mis padres, que me dieron la vida y han estado siempre a mi lado. Por darme mi formación, por estar conmigo de forma incondicional, por ser mi orgullo y fuente de inspiración. Gracias a ustedes mi camino ha sido más fácil de transitar. Los amo.

Ivan Heredia por todo su amor y apoyo brindado.

La Universidad de Oriente por permitirme desarrollar mi carrera a lo largo de estos años y ser mi segundo hogar, al Departamento de Química por forjar hijos útiles a la ciencia y sobre todo a la patria, a todos los profesores por ser la fuente de mis conocimientos y formación académica

El Instituto de Investigaciones en Biomedicina y Ciencias Aplicadas “Dra. SusanTai” específicamente el Laboratorio de Caracterización de Materiales, por haberme permitido la oportunidad de desarrollar mi trabajo de grado, especialmente al TSU. Etzel Guerra.

El Instituto Oceanográfico de Venezuela por permitirme utilizar las instalaciones de la Estación Hidrobiológica de Turpialito así como al personal que labora en la misma. También quiero expresarle mi agradecimiento al Prof. Gregorio Martínez coordinador del Laboratorio de Oceanografía y al TSU. Adelys Márquez.

Las empresas C.A Venezolana de Pinturas y Aluminio del Caroní, S.A (ALCASA), que son las principales suministradoras de las materias primas, gracias a cuya colaboración comenzó el proyecto que ha sido punto de partida de esta tesis y al Ing. José Avendaño por ser el enlace para lograr esto.

Los profesores José Imery y Baudilio Rondón (Q.E.P.D), por toda su colaboración y apoyo en todo momento, por facilitarme el área de búsqueda de muestras de las especies de *Aloe* y por haberme brindado sus conocimientos relacionados con ésta. Muchas gracias.

De una manera muy especial a la MSc Solange Paredes mi tutora por haber sido un gran apoyo para mí e incondicional en todo momento. Gracias por su dedicación, por su paciencia, sus conocimientos y sobre todo por ser un gran ejemplo a seguir.

También especialmente a la PhD Haydelba D` Armas mi co-tutora, gracias por todo el apoyo que me dio y por brindarme sus conocimientos y enseñarme muchas cosas.

Mis compañeros y amigos por regalarme su amistad, estar conmigo en todo este tiempo y por apoyarme siempre en especial durante la realización de este trabajo... Los quiero muchísimo.

# ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA .....	;
AGRADECIMIENTO .....	;
LISTA DE TABLAS .....	;
LISTA DE FIGURAS .....	;
LISTA DE ABREVIATURAS .....	;
RESUMEN .....	1
INTRODUCCIÓN .....	;
METODOLOGÍA .....	;
Recolección de las plantas .....	;
Preparación de los extractos .....	;
Análisis fitoquímico .....	;
Saponinas .....	;
Glicósidos cianogénicos .....	;
Glicósidos cardiotónicos .....	;
Taninos y polifenoles .....	;
Alcaloides .....	;
Triterpenos pentacíclicos y esteroides insaturados .....	;
Antraquinonas .....	;
Metilcetonas .....	;
Cumarinas .....	;
Flavonoides .....	;
Bastidores para los ensayos de corrosión atmosférica .....	;
Instalación de los bastidores en la zona de exposición .....	;
Preparación de las probetas metálicas para los ensayos de corrosión atmosférica .....	;
Probetas expuestas al ambiente marino .....	;
Formulación de la base de pintura industrial .....	;
Procedimiento para recubrir las probetas .....	;
Análisis de agente contaminante agresivo .....	;
Método de la vela húmeda .....	;
Técnicas de caracterización .....	;
Cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas (CG/EM) .....	;
<b>Marcador no definido.</b>	
Espectroscopia Infrarroja de Transformada de Fourier (IR-TF) .....	;
<b>Marcador no definido.</b>	
Microscopia óptica (MO) .....	;
Microscopía electrónica de barrido (MEB) .....	;
Resultados y discusión .....	;
Características de los extractos .....	;
Análisis fitoquímico .....	;
Análisis por cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas .....	;
Extracto acuoso de <i>Aloe vera</i> .....	;

Extracto acuso de <i>Aloe saponaria</i> .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Análisis de Espectroscopia de Emisión Atómica por plasma acoplado inductivamente (EEA-PAI).....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Pintura.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Análisis por Espectroscopia Infrarroja de Transformada de Fourier (IR-TF).....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Extractos .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Análisis base: extracto <i>Aloe vera</i> .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Análisis base: extracto <i>Aloe saponaria</i> .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Determinación de concentración de cloruros.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Inspección fotográfica.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
<i>Aloe vera</i> .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
<i>Aloe saponaria</i> .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Comparación entre las probetas recubiertas con solo extractos y las probetas sin recubrir.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Comparación de los recubrimientos base de pintura: extractos ( <i>Aloe vera</i> , <i>Aloe saponaria</i> ) con la pintura.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Análisis por Microscopía Óptica (MO) .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Análisis por MEB .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Correlación de los resultados .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
CONCLUSIONES .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
RECOMENDACIONES.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
BIBLIOGRAFÍAS .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
APÉNDICES .....	65
APÉNDICE A.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
APÉNDICE B .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
ANEXO .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>

## LISTA DE TABLAS

pág.

- Tabla 1. Composición química en porcentaje en masa de la aleación de aluminio AA3003. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 2. Familia de metabolitos presentes en los EAAV y EAAS identificadas por pruebas fitoquímicas. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 3. Compuestos químicos obtenidos por CG/EM presentes en el EAAV..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 4. Compuestos químicos obtenidos por CG/EM presentes en el EAAS. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 5. Características de las bases de pintura obtenidas por ICP-AES ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 6. Grupos funcionales de los compuestos obtenidos por IR-TF presentes en la pintura utilizada ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 7. Grupos funcionales de los compuestos obtenidos por IR-TF presentes en el extracto acuoso de *Aloe vera* ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 8. Grupos funcionales de los compuestos obtenidos por IR-TF presentes en el extracto acuoso de *Aloe saponaria* ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 9. Grupos funcionales de los compuestos obtenidos por IR-TF presentes en la base: extracto acuoso de *Aloe vera* (EAAV) a las diferentes proporciones. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 10. Grupos funcionales de los compuestos obtenidos por IR-TF presentes en la base: extracto acuoso de *Aloe saponaria* (EAAS) a las diferentes proporciones ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 11. Reporte de la cantidad de contaminante obtenido en la zona atmosférica del Golfo de Cariaco, zona de Turpialito, medidos mensualmente desde el momento de la exposición. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 12. Composición porcentual en masa de la superficie de la probeta sin recubrir ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 13. Composición porcentual en masa de la superficie de la probeta recubierta base: extracto de *Aloe saponaria* 70:30..... **¡Error! Marcador no definido.**



## LISTA DE FIGURAS

Pág.

- Figura 1. Especies de *Aloe*. (a) *Aloe saponaria* y (b) *Aloe vera*. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 2. Bastidor con las probetas y los sujetadores armados y graduados. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3. Sujetadores para los bastidores: (a) piezas que conforman el sujetador, (b) pieza de resina armada y (c) sujetador ensamblado. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 4. Ubicación geográfica de la instalación del bastidor para los ensayos de corrosión atmosférica. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 5. Instalación del bastidor para la zona atmosférica según la norma .... **¡Error! Marcador no definido.**
- ASTM G50-76 ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6. Método de la vela húmeda. Dispositivo para la captación de cloruros en la atmósfera. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7. Diseño de portamuestras, a) películas del material en el portamuestras y b) portamuestras en el equipo ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 8. Coloración de los extractos acuosos a) *Aloe vera* y b) *Aloe saponaria* .. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 9. Cromatograma de gases del extracto acuoso de *Aloe vera*; **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 10. Espectro de masas del 4-(3,4-dihidro-2,2,4-trimetil-2H-1-benzopirán-4-il)-fenol..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 11. Espectro de masas 9,10-antracenediona; **¡Error! Marcador no definido.** Toc350715557
- Figura 12. Cromatograma de gases del extracto acuoso de *Aloe saponaria* ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 13. Espectro de masas de 5-(hidroximetil)-2-furancarboxaldehído ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 14. Espectro de masas de ácido hexadecanoico ...; **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 15. Espectro IR-TF de la base de pintura utilizada indicando absorciones características de los grupos funcionales presentes..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 16. Espectro IR-TF del extracto acuoso de *Aloe vera* indicando absorciones características de los grupos funcionales presentes..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 17. Espectro IR-TF del EAAS y las absorciones características de los grupos funcionales presentes..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 18. Comparación de espectros IR-TF de pintura y proporciones de EAAS. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 19. Comparación de espectros IR-TF de la pintura y proporciones de EAAS. .... **¡Error! Marcador no definido.**

- Figura 20: Fotografías de las probetas (SR), las probetas recubiertas (EAAV), las probetas recubiertas (P) y las probetas recubiertas con las diferentes proporciones después de expuesta durante los 6 meses de la experimentación. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 21: Fotografías de las probetas (SR), las probetas recubiertas (EAAS), las probetas recubiertas (P) y las probetas recubiertas con las diferentes proporciones después de expuestas durante los 6 meses de la experimentación. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 22: Fotografías de las probetas (SR), las probetas recubiertas (EAAV) y las probetas recubiertas (EAAS) después de expuestas durante los 6 meses de la experimentación. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 23: Fotografías de las probetas recubiertas (P), las probetas recubiertas (EAAS) en la proporción 70:30, y las probetas recubiertas (EAAV) en la proporción 70:30 después de expuestas durante los 6 meses de la experimentación. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 24: Características típicas observadas en las superficies expuestas al medio corrosivo a través del microscopio óptico. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 25. Secuencia de imágenes del recubrimiento con solo la pintura. A) cámara fotográfica B) microscopio metalográfico a 10X C) microscopio óptico a 100X ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 26. Secuencia de imágenes del recubrimiento de pintura: EAAS 70:30. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 27. Micrografías tomadas por MEB de probetas sin recubrir. . **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 28. Espectro de EDS de la superficie de la probeta sin recubrir; **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 29. Micrografías por MEB de la superficie metálica recubierta EAAS ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 30. Micrografías por MEB de las probetas recubiertas con *Aloe vera* ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 31. Micrografías por MEB de las probetas recubiertas con base: extracto *Aloe saponaria* 70:30 ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 32. Espectro de EDS de la superficie de la probeta recubierta con base: extracto de *Aloe saponaria* 70:30. .... **¡Error! Marcador no definido.**

## LISTA DE ABREVIATURAS

EAAV: Extracto acuoso de *Aloe vera*

EAAV 80:20: Extracto acuoso de *Aloe vera* de proporción 80:20

EAAV 70:30: Extracto acuoso de *Aloe vera* de proporción 70:30

EAAV 60:40: Extracto acuoso de *Aloe vera* de proporción 60:40

EAAV 50:50: Extracto acuoso de *Aloe vera* de proporción 50:50

EAAS: Extracto acuoso de *Aloe saponaria*

EAAS 80:20: Extracto acuoso de *Aloe saponaria* de proporción 80:20

EAAS 70:30: Extracto acuoso de *Aloe saponaria* de proporción 70:30

EAAS 60:40: Extracto acuoso de *Aloe saponaria* de proporción 60:40

EAAS 50:50: Extracto acuoso de *Aloe saponaria* de proporción 50:50

CG/EM: Cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas

IR-TF: Espectroscopia Infrarroja de transformada de Fourier

MO: Microscopia óptica

MEB: Microscopia electrónica de barrido

EEA-PAI: Análisis de espectroscopia de emisión atómica por plasma acoplado inductivamente.



## RESUMEN

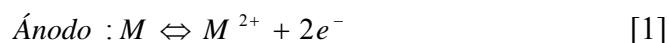
Este trabajo de investigación tuvo como propósito evaluar una base de pintura industrial formulada con extractos de plantas del género *Aloe* (*Aloe vera* y *Aloe saponaria*), como posible recubrimiento inhibidor de corrosión en la aleación de aluminio AA3003. Para ello se expusieron probetas de esta aleación a la atmósfera marina, utilizando las instalaciones de la Estación Hidrobiológica de Turpialito, del Instituto Oceanográfico de Venezuela. Se utilizó una solución de buffer fosfato salino para obtener los extractos acuosos de *Aloe vera* (EAAV) y extractos acuosos de *Aloe saponaria* (EAAS). Las pruebas fitoquímicas, arrojaron positiva la posible presencia de metabolitos como: alcaloides, saponinas, antraquinonas, flavonoides, cumarinas y glicósidos cardiotónicos en ambos extractos, a diferencia del EAAV que mostró la posible presencia de antraquinonas. A través del análisis de cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas se identificaron algunos de estos metabolitos. Se prepararon diferentes proporciones base: extracto (80:20, 70:30, 60:40, 50:50 (%v/v)) tanto para el EAAV como para el EAAS, en los cuales, a través de análisis de espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier se pudo constatar que los metabolitos estaban presentes aún después de la mezcla. Mediante microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido, se pudo visualizar que las probetas sin recubrir, como las recubiertas con solo los extractos, exhibieron corrosión por picaduras en su superficie, con incremento significativo con el tiempo de exposición al ambiente salino. Al comparar los recubrimientos de solo pintura con los recubrimientos formulados con los extractos se observó que los dosificados exhibieron mejor adherencia y mejor aspecto, en cuanto a que no se observaron ampollamientos. En la perspectiva que aquí se presenta, los extractos de *Aloe vera* y *Aloe saponaria* parecieran no degradarse al incorporarlos en la base de pintura, en vista de que los recubrimientos dosificados se mantuvieron ante las condiciones climáticas de temperatura y salinidad del medio donde fueron expuestas las probetas, y pudieran estar actuando como aditivos anticorrosivos orgánicos, lo cual hace la investigación interesante, teniendo en cuenta que estos extractos no son contaminantes y adicionalmente son relativamente económicos, ofreciendo una nueva alternativa al sector industrial.

Palabras o frases claves: *Aloe vera*, *Aloe saponaria*, recubrimientos ecológicos, inhibidor de corrosión, aleación de aluminio 3003.

## INTRODUCCIÓN

La corrosión es el deterioro de un material como consecuencia de un ataque electroquímico debido a su entorno (1). La actuación de este ataque, se debe a las pérdidas de electrones (oxidación) y la ganancia de ellos (reducción) en lugares distintos de la superficie metálica, a través del contacto con medios de conductividad electrolítica, en particular con el agua, soluciones salinas o la simple humedad de la atmósfera (2).

El metal que se oxida (ánodo), el cual se corroe cuando sus átomos metálicos dejan sus electrones en el seno del metal y pasan en forma de ión positivo a la disolución. Tiene lugar a la siguiente reacción (3):



Por otro lado, la zona catódica permanece inmune al ataque, ya que es la superficie metálica con menor tendencia termodinámica a la oxidación. En esta zona se reciben, a través de la masa metálica, los electrones liberados en el ánodo, que son suministrados a un captador (oxidante) presente en el electrolito en los procesos de reducción catódica.

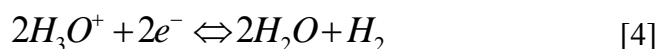
La reacción que se produce en el cátodo de forma general (3):



Cualquier oxidante puede actuar como captador de electrones, pero generalmente es el oxígeno disuelto en el electrolito o los protones del agua los que se comportan de tal manera en medios neutros y alcalinos. En medios ácidos es el ión hidrógeno el que capta los electrones. Las reacciones que tienen lugar en el cátodo son (3):



o bien



La corrosión electroquímica comprende a la corrosión atmosférica (2) ésta es la más importante en cuanto a las pérdidas económicas que se generan, y es uno de los procesos más estudiados ya que alrededor del 80% de las estructuras metálicas están bajo la

acción directa de la atmósfera. Si se asume que todas las atmósferas están compuestas de una mezcla de oxígeno (20%) y nitrógeno (78%), mientras el oxígeno presente en las atmósferas naturales es importante en corrosión atmosférica, este permanece constante a medida que progresa la corrosión atmosférica. Son los otros materiales presentes en la atmósfera que pueden variar considerablemente la rapidez de corrosión. Estos materiales son sólidos, líquidos y gaseosos (4).

**Sólidos:** Un ejemplo de sólidos que afectan es la sal presente en la mayoría de los ambientes marinos.

**Líquidos:** El mejor ejemplo de un líquido que afecta la corrosión, es el agua. La rapidez de corrosión es más fulminante cuando la superficie está húmeda que cuando está libre de agua líquida. No solo la cantidad de lluvia es importante, también su distribución en el tiempo y el tiempo requerido para su secado. La humedad puede ser beneficiosa para remover los agentes contaminantes de la superficie. La lluvia es muy efectiva en este proceso de limpieza, la neblina o humedad son menos efectivas porque incrementan los “tiempos de humedad”. La neblina o humedad son controladas por la humedad relativa del ambiente. El “tiempo de humedad” de una superficie es esencial para que se produzca la corrosión y depende del rocío y la humedad del aire.

**Gases:** Los gases que afectan la corrosión incluyen óxidos de nitrógeno y sulfuro los cuales están presentes en la lluvia ácida que es parte de la sociedad industrializada de hoy en día. Estos gases pueden disolverse en la humedad para crear condiciones más agresivas que en la lluvia ácida porque tienden a mantenerse en la superficie y a concentrarse.

**Temperatura:** Aunque en general al aumentar la temperatura se incrementa la rapidez de corrosión, puede tener un efecto beneficioso porque permite que se seque la superficie del metal. Este último efecto prevalece sobre el efecto en la rapidez de reacción.

De acuerdo a los distintos agentes contaminantes agresivos que pueden estar presentes en la atmósfera, esta se clasifica en rural, urbana, industrial y marina. Los factores de contaminación y climáticos determinan el comportamiento de una atmósfera haciéndola más o menos corrosiva. En general el aire no es puro ya que contiene humedad, polvos en suspensión y gases diversos. Factores como la humedad, temperatura, vientos e impurezas son las que fijan el comportamiento de los metales en una atmósfera determinada. Las impurezas presentes en el aire son algunas solubles en el agua y otras insolubles. Entre las sustancias solubles en el agua están el NaCl y el  $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$  y entre las insolubles se encuentran partículas de carbón y sílice, las cuales pueden absorber impurezas presentes en el aire, tales como  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$ . El depósito de estas finas partículas sobre el metal, favorece las reacciones de corrosión (5).

En medio ambiente marino el ion cloruro es uno de los que determina la agresividad relativa de dicha atmósfera. El NaCl disuelto aumenta la conductividad favoreciendo así los procesos electrolíticos de corrosión. A su vez los iones  $\text{Cl}^-$  fijados en la superficie del metal pueden también provocar corrosión por picadura en algunas aleaciones (5) dando lugar a penetraciones considerables sin apenas pérdida de masa. Estas características hacen que sea extremadamente peligrosa, ya que sólo se detectan cuando se ha producido el daño y por tanto no es posible tomar medidas preventivas (6).

Dentro de las aleaciones no ferrosas que son susceptibles a corroerse por picadura se encuentra la aleación de aluminio 3003 (AA3003) perteneciente a la serie Al-Mn y es quizás una de las más importantes aleaciones de Al que endurecen por deformación. Generalmente contiene 1,00-1,25% Mn, pequeños porcentajes de elementos aleantes como Mg, Cu, Ni y Zn e impurezas de Fe y Si (7).

Las propiedades de esta serie se deben a sus elementos aleantes, de los cuales destaca el manganeso el cual constituye el elemento aleante mayoritario. El manganeso que aumenta la dureza y la resistencia mecánica, así como la resistencia a la corrosión. Entre los otros metales aleantes que incorpora, el magnesio, aunque en un porcentaje muy



pequeño, proporciona un aumento de la resistencia mecánica de la aleación. También se encuentra un pequeño porcentaje de hierro y silicio en esta serie de aleantes que son impurezas que quedaron del proceso de obtención del aluminio (6).

Debido a sus excelentes propiedades mecánicas posee varios campos de aplicación; se utiliza, entre otras, en las industrias alimenticia, textil y automotriz. Específicamente para la fabricación de equipos químicos, ductos, y trabajos comunes de lámina metálica. Igualmente, se le utiliza en la manufactura de utensilios de cocina, recipientes a presión, elementos para construcción, bandejas para cubos de hielo, puertas para garajes, arcos para toldos, paneles para refrigeradores, líneas de gas, tanques de gasolina, intercambiadores de calor, piezas conformadas y, tanques de almacenamiento (8).

Por lo que la preocupación crece, sobre todo, por las estructuras de aluminio expuestas al medio ambiente, principalmente cuando éste corresponde a medios salinos o ácidos, a fin de evitar daños por corrosión y minimizar, de esta manera, pérdidas millonarias que trascienden en la economía mundial (9).

En la actualidad, se dispone de una amplia variedad de técnicas de protección de la corrosión que, utilizadas en forma apropiada, permiten extender la vida útil de servicio de las estructuras metálicas y prolongar los períodos de mantenimiento necesarios (10). Dentro de las técnicas de protección, se encuentran los recubrimientos, los cuales pueden clasificarse como metálicos o no metálicos. En el primer grupo, se trata de proteger un metal con una capa de otro metal lo más compacta y adherente posible, como es el caso de la técnica de galvanizado, el recubrimiento con zinc bien a través de inmersión (por ej.: al ser el zinc un reductor más fuerte que el hierro, sería el zinc el metal que se oxidaría, preservando al sustrato de hierro del ataque corrosivo) o por electrodeposición y los recubrimientos por proyección térmica de metales y cerámicas (11).

En cuanto al grupo de los recubrimientos no metálicos, se encuentran los orgánicos e inorgánicos. Estos últimos comprenden los esmaltes vítreos, revestimientos de vidrio y esmaltes de porcelana, cemento Portland (que es utilizado fundamentalmente para proteger las tuberías de hierro colado o de acero para conducción del agua); y los recubrimientos protectores obtenidos por transformación química, formados *in situ* por reacción con la superficie metálica (por ej.:  $\text{PbSO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (11).

Por otra parte, los recubrimientos orgánicos y, en particular, la aplicación de pinturas, constituyen el método más ampliamente utilizado en la protección contra la corrosión metálica, excepto en los casos en los que ejercen una función netamente decorativa (12). Según la Norma UNE-EN 971-1, las pinturas son un producto pigmentado, en forma líquida, pasta o polvo, que al ser aplicado sobre un sustrato forma una película opaca con propiedades específicas y protectoras (12). Los principales componentes de las pinturas son: el vehículo, formado por el ligante y los disolventes, los pigmentos y los aditivos. Los ligantes son los componentes que, al secarse, polimerizan o reaccionan formando una capa sólida; los disolventes permiten la aplicación del recubrimiento al reducir su viscosidad y los pigmentos confieren color y opacidad, así como una mejora de su resistencia mecánica y los aditivos sirven para mejorar las propiedades físicas y químicas de los recubrimientos (13).

Puede decirse que, aproximadamente, el 90% de las superficies metálicas está protegido con recubrimientos orgánicos, debido a la gran variedad de pinturas con diferentes características y resistencias, modos de aplicación, costos relativamente bajos (a la larga) y posibilidad de combinación con recubrimientos metálicos (metalizados, galvanizados). Éstas, entre otras, son las principales ventajas que inducen al empleo de este tipo de protección. A su vez, las pinturas ejercen diferentes tipos de protección sobre los sustratos metálicos en los que se aplican, como el efecto barrera y el efecto inhibidor. El efecto barrera se debe a que la capa de pintura que posee un carácter aislante, impidiendo la entrada del oxígeno o iones agresivos ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ) a la superficie del metal, resultando eficaz, debido a su impermeabilidad frente a estos agentes corrosivos.

En cambio, el efecto inhibidor es el mecanismo de protección anticorrosivo que presentan aquellas pinturas que, en su formulación, contienen pigmentos, por lo general, de naturaleza inorgánica, que actúan de algún modo impidiendo o retardando las reacciones de corrosión (14).

Otro aspecto importante en los recubrimientos orgánicos es el proceso de adsorción, en el que la transferencia entre el inhibidor de corrosión (adsorbato) y la superficie del metal a proteger (adsorbente) son retenidas como resultado de atracciones intermoleculares con las moléculas sólidas. Sin embargo, es necesario considerar que este proceso puede ser llevado a cabo a través de la fisisorción o la quimisorción (15).

La fisisorción es el proceso reversible que se produce cuando una molécula se adhiere por fuerza de atracción electrostática, entre los iones del inhibidor o dipolos y la superficie metálica cargada de electricidad; ocurriendo así la protección catódica del metal. Por el contrario, la quimisorción es un proceso irreversible, causada por la interacción entre los pares de electrones no compartidos o de los electrones con los metales para formar enlace covalente dativos. Este tipo de adsorción tiene lugar cuando hay heteroátomo con S, N y O; donde se produce la protección anódica del metal (16).

Actualmente, la tendencia de los recubrimientos orgánicos es reemplazar los pigmentos y aditivos anticorrosivos, de alta toxicidad y alto costo, por sustancias biodegradables que presenten baja toxicidad, fácil adquisición, que sean menos costosos y que logren el efecto inhibidor de la corrosión. Estudios recientes, en la búsqueda de pigmentos que cumplan con estos requerimientos han mostrado que ha habido un creciente interés en el empleo de extractos de plantas, como posibles inhibidores de la corrosión; esto es debido a que las plantas de *Aloe vera* y *Aloe saponaria* contienen una maravillosa fuente de compuestos químicos que pudiesen servir como pigmentos orgánicos haciéndolos atractivos a la industria, ya que se presentan como un producto sintetizado naturalmente, ambientalmente aceptable y cuyo proceso sería menos tóxico que el industrial (17).

La sábila o *Aloe vera*, fue nombrado formalmente *Aloe perfoliata* var. *vera* de Linneo en 1753, que es el punto de partida para la nomenclatura de planta con flores. Reynolds en 1966, sostuvo que se reconoció por primera vez como una especie distinta en 1768 por Miller, quien la llamó *Aloe barbadensis*. Sin embargo, Reynolds había pasado por alto una publicación de Burman un poco antes, quizá sólo unos pocos días, en 1768, en la que el taxón fue llamado *Aloe vera*. Por lo tanto, el nombre correcto es ahora *Aloe vera* (L.) Burm.f (18). Esta planta forma parte de la extensa familia de las liliáceas, xerófila típica, y se caracteriza por estar conformada casi totalmente por hojas erectas y rígidas, largas, de constitución carnosa, retinervadas y acanaladas, las cuales se originan en un tallo casi inexistente por poseer un tamaño minúsculo comparado con el resto de la planta (19).

*Aloe maculata* Medik., es conocida como *Aloe saponaria* (Ait.) Haw. Durante muchos años, estas plantas se han descrito como medianamente suculentas, de uso ornamental, que se caracterizan por presentar hojas carnosas agrupadas en rosetas basales, largas, estrechas y lanceoladas de color verde rojizo moteadas con puntos blancos y con los márgenes dentados (ver figura 1) (18).

Es importante reforzar el hecho que estas especies están adaptadas a vivir en zonas de poca disponibilidad de agua, y se caracterizan por poseer una gran cantidad de tejido de almacenamiento de agua. Aunque no es ampliamente discutido en la literatura, la pulpa de *Aloe* es probable que sea el tejido de almacenamiento de agua de esta planta. Otra característica es la posesión del metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM), una ruta fotosintética adicional que incluía ácido málico. En contraste con otras plantas, las plantas CAM absorben dióxido de carbono durante la noche, que se fija entonces por la síntesis de ácido málico. Así, en las horas de la mañana, el contenido de ácido málico es mucho mayor en los tejidos de las plantas CAM. Durante el día, es el ácido málico que se descarboxila y el dióxido de carbono liberado se convierte entonces en hidratos de carbono, en los que opera principalmente la corteza exterior de color verde. El ácido

málico está también presente en la pulpa, aunque su contenido no muestra variación diurna (18).

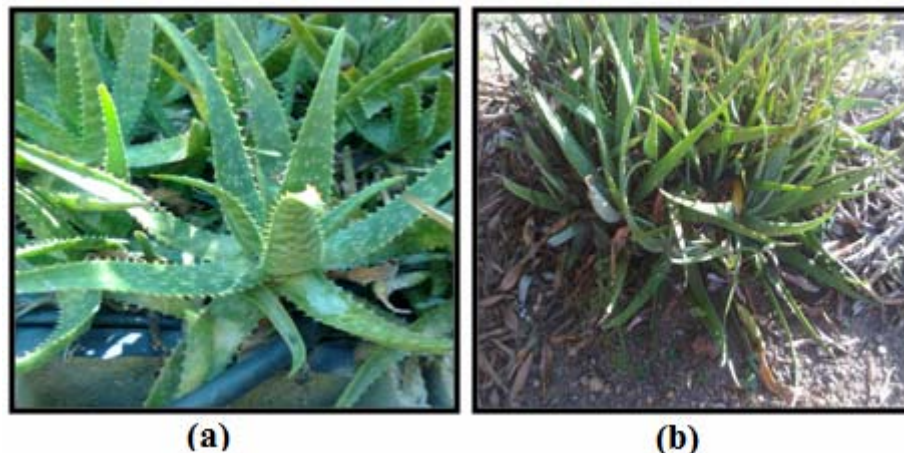


Figura 1. Especies de *Aloe*. (a) *Aloe saponaria* y (b) *Aloe vera*.

Investigaciones llevadas a cabo con *Aloe vera*, por ejemplo, atribuyen el efecto inhibitor de esta planta a la gran riqueza de compuestos heterocíclicos de alta masa molar con heteroátomos y centros  $\pi$  en su estructura molecular. Dentro de estos compuestos se encuentran los taninos, saponinas, esteroides, resinas, hidratos de carbono (arabinosa, galactosa, polisacáridos) y antraquinonas. Adicionalmente, contiene varios compuestos biológicamente activos, como la aloína A o barbaloina [(10S)-10-glucopiranosil-1,8-dihidroxi-3-(hidroximetil)-9(10H)-antracena,  $C_{21}H_{22}O_9$ , (M=418,39 g/mol)], la aloína B o isobarbaloina [(10R)-10-glucopiranosil-1,8-dihidroxi-3-(hidroximetil)-9(10H)-antracena,  $C_{21}H_{22}O_9$ , (M= 418,39 g/mol)], y las Aloe emodinas [4-([7-butilo-5H-pirrol 2,3-b] pirazin-6-il)-fenol,  $C_{16}H_{17}N_3O$ , (M= 267,33g/mol)] y el [1,8-dihidroxi-3-(hidroximetil)-9,10-antraquinona,  $C_{15}H_{10}O_5$ , (M= 270,2 g/mol)]. La estructura molecular, tanto de la aloína A como de la aloína B, revela un vínculo con la antraquinona con una pentosa de 5 átomos de oxígeno, mientras que las Aloe emodinas contienen compuestos orgánicos heterocíclicos con nitrógeno o átomos de oxígeno (20).

Otros grupos de investigadores, también, han reportado que las antraquinonas presentes en *Aloe vera* son las responsables de minimizar las reacciones de corrosión. A modo de

referencia se puede mencionar el estudio donde utilizaron las antraquinonas presentes en *Aloe vera barbadensis* como inhibidores de la corrosión en aceros, aluminio, cobre y cinc. (21). Por su parte, investigaciones llevadas a cabo sobre inhibidores de corrosión biodegradables, en superficies de acero al carbono utilizando concentraciones de 2000 mg/l de extracto de nuez moscada, en solución 1 mol/l de HCl obtuvieron una eficiencia de 90,91% (22).

En otros estudios se utilizaron extractos de hojas de plantas como calabaza acanalada *Telferia occidentalis* (TO), nim o lila india, *Azadirachta indica* (AI), y flor de Jamaica, *Hibiscus sabdariffa* (HS), así como extractos de las semillas de cola amarga, *Garcinia kola* (GK), y se encontró que inhiben el proceso de corrosión del acero dulce en soluciones ácidas de HCl 2 mol/l y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mol/l (23). En publicaciones recientes, presentaron por primera vez la acción inhibidora de la raíz de *ginseng* en la corrosión del aluminio en solución de HCl a temperaturas de 30 a 60°C (24). Por otro lado, en estudios de corrosión del zinc utilizaron concentraciones de *Aloe vera* de 0; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0; y 10,0 (% v/v) en solución de HCl 2 mol/l a temperaturas de 30 y 40°C y reportaron una eficiencia de inhibición de corrosión de un 67,1% para la concentración de 10 % v/v a una temperatura de 30°C (20).

Estos resultados y los de otras investigaciones demuestran que los compuestos orgánicos, presentes en los extractos de plantas, ejercen un efecto inhibidor de la corrosión, teniendo en cuenta que los efectos sinérgicos y/o antagónicos pueden desempeñar un papel importante en la eficiencia de la inhibición (20).

Una de las formas de prevenir los problemas asociados a la corrosión, es mediante el uso de inhibidores. Sin embargo, la mayoría de los inhibidores que se manipulan actualmente son costosos y extremadamente tóxicos, lo que genera un fuerte impacto ambiental y una creciente preocupación en el campo de los recubrimientos. Por tal motivo, se busca reemplazarlos por inhibidores ecológicamente aceptables y que, a su vez, sean económicos, factibles, disponibles y de baja toxicidad. Dentro de este marco

de ideas, en este trabajo de investigación se plantearon los siguientes objetivos, a fin de contribuir en este campo de estudio:

Obtener extractos acuosos de dos especies pertenecientes al género *Aloe* (*Aloe Vera* y *Aloe Saponaria*), colectadas en la ciudad de Cumaná.

Determinar, por método fitoquímico, las familias de metabolitos secundarios presentes en los extractos obtenidos de las especies del género *Aloe* seleccionadas.

Preparar mezclas de base de pintura industrial (P) con los extractos acuosos (EA) en proporciones P: EA: 80:20, 70:30, 60:40, 50:50.

Caracterizar, mediante cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas la mayoría de los compuestos químicos presentes en cada uno de los extractos obtenidos.

Exponer al ambiente probetas de la aleación comercial de aluminio AA3003 recubiertas con la base de pintura industrial reformulada con los extractos de plantas.

Evaluar por método fotográfico, microscopia óptica y microscopía electrónica de barrido (MEB) la superficie de la aleación de aluminio AA3003 recubierta, antes y después de expuestas al ambiente marino.

Correlacionar la capacidad inhibidora del recubrimiento en función del tiempo de exposición al ambiente y de las proporciones base de pintura: extracto utilizadas.

## METODOLOGÍA

### **Recolección de las plantas**

Las especies del género *Aloe* fueron recolectadas en el sector de La Llanada Vieja, situada a 10° 25' 16" latitud norte y 64° 11' 3" longitud oeste en la ciudad de Cumaná, estado Sucre, Venezuela. Luego de recolectadas, las plantas fueron trasladadas al Laboratorio de Genética Vegetal del Departamento de Biología EC-518, las cuales se identificaron como *Aloe vera* y *Aloe saponaria*.

### **Preparación de los extractos**

Las cuatro (4) plantas recolectadas de cada especie, se trasladaron hasta el Laboratorio de Productos Naturales EC-308, donde se procedió a enjuagarlas suavemente para luego retirarle la hoja o mesófilo exterior verde y se conservó la pulpa. La maceración de la pulpa se realizó a través del método acuoso, el cual consistió en macerar la pulpa de cada especie con una porción de buffer fosfato salino. Esta mezcla se dejó durante 24 horas en refrigeración. Transcurrido este lapso de tiempo, se filtró, y el filtrado que se recolectó constituyó el extracto acuoso (25,26).

### **Análisis fitoquímico**

Luego de obtener los extractos acuosos, se procedió a determinar los metabolitos secundarios presentes, tales como saponinas, alcaloides, glicósidos cianogénicos, glicósidos cardiotónicos, taninos, polifenoles, antraquinonas, triterpenos pentacíclicos y esteroides insaturados, entre otros (27, 28).

#### Saponinas

La presencia de saponinas se determinó mezclando vigorosamente una pequeña porción del extracto con aproximadamente 5 ml de agua destilada, la formación de espuma persistente, durante al menos 15 minutos, indicó el resultado positivo de la prueba.



#### Glicósidos cianogénicos

Se disolvió una fracción del extracto en cloroformo, y se calentó entre 50-70°C en un tubo de ensayo cerrado; los vapores generados se pusieron en contacto con papel de filtro impregnado con una solución al 1% de ácido pícrico y carbonato de sodio al 10%. La aparición de una coloración roja sobre el papel de filtro, indicó el resultado positivo de la prueba.

#### Glicósidos cardiotónicos

Una pequeña porción del extracto se disolvió en cloroformo, seguidamente esta preparación se hizo reaccionar con una mezcla (1:1) recién preparada de ácido 3,5-dinitrobenzoico (2%) y KOH (0,7 mol/l). El resultado positivo de la prueba está dado por la aparición de una coloración azul o violeta.

#### Taninos y polifenoles

Para detectar la presencia de taninos y polifenoles, se tomó una parte del extracto crudo y se dividió en dos porciones. La primera porción se mezcló con cloruro de hierro (III) al 1%, el cambio a una coloración parda indicó la presencia de compuestos fenólicos en la solución. La segunda porción se le añadió una solución de gelatina al 1% en NaCl al 1%, con el fin de determinar la presencia de taninos, los cuales se evidenciaron al producirse un precipitado blanco.

#### Alcaloides

Para determinar la presencia de alcaloides se tomó una porción del extracto y se mezcló con HCl al 10%, luego se agitó con cloroformo. Esto produjo dos fases, una acuosa y otra orgánica, esta última se reservó. La fase acuosa se alcalinizó con una solución de NaOH al 10%, posteriormente se extrajo con cloroformo y de la cual se obtuvieron dos fases. Las tres fases fueron analizadas por separado con el reactivo de Dragendorff, con la finalidad de detectar alcaloides débilmente básicos. El resultado positivo de la prueba se verificó al obtener una coloración anaranjada-rojiza al colocar el reactivo.

### Triterpenos pentacíclicos y esteroides insaturados

El extracto se disolvió en cloroformo y se hidrolizó con HCl al 10%, donde resultaron dos (2) fases: una acuosa y otra orgánica. Se tomaron ambas fases y se analizaron agregándole el reactivo de Liebermann-Burchard (unas gotas de ácido sulfúrico concentrado con unas gotas de anhídrido acético). La aparición de una coloración azul a verde indicó la presencia de esteroides, mientras que la aparición de una coloración roja, rosada o violeta indicó la presencia de triterpenos.

### Antraquinonas

Se mezcló el extracto con KOH (0,5 mol/l), luego se acidificó con ácido acético y se agitó con benceno, donde se obtuvieron dos fases (acuosa y orgánica). Seguidamente, se tomó la fase orgánica y se alcalinizó con hidróxido de amonio; la aparición de una coloración roja, indicó el resultado positivo de la prueba.

### Metilencetonas

Se tomó una porción del extracto y luego se trató con el reactivo de Baljet (mezcla 1:1 de 1 g de ácido pícrico en 100 ml de etanol y 10 g de NaOH en 100 ml de agua). La aparición de una coloración roja indicó la presencia de metilencetonas.

### Cumarinas

Para determinar la presencia de cumarinas, se tomó una fracción del extracto y se disolvió en etanol en un tubo de ensayo, luego se tapó con un papel de filtro impregnado en una solución diluida de NaOH y se llevó a baño de María a 100°C por algunos minutos. Seguidamente, se dejó secar el papel de filtro y el mismo se examinó bajo luz UV; como la fluorescencia es amarilla indicó la presencia de cumarinas.

### Flavonoides

Se mezcló una porción del extracto con cloroformo, se le agregó una viruta de magnesio y luego se le añadió gota a gota HCl hasta que terminó el desprendimiento de hidrógeno.

Luego, se observaron los cambios de color durante 10 minutos. La aparición de una coloración rosada, roja, violeta o anaranjada indicó la presencia de un núcleo de la  $\gamma$ -benzopirona, tales como: flavonas, flavonoides, flavanonas, flavanoles, xantonas. Las isoflavonas, charconas y auronas no dieron coloración.

### **Bastidores para los ensayos de corrosión atmosférica**

Se utilizó un bastidor de 2 m x 1 m, el cual posee una capacidad para colocar 140 probetas de 0,1 m x 0,15 m, evitándose el contacto entre ellas mediante aisladores, como se muestra en la figura 2. Los sujetadores constan de tres partes, dos piezas elaboradas con una mezcla de resina de poliéster y un tornillo de acero inoxidable con tuerca y arandelas resistente a la corrosión, para mantener la probeta fija según la norma ASTM G50-76 (29) ver figura 3.

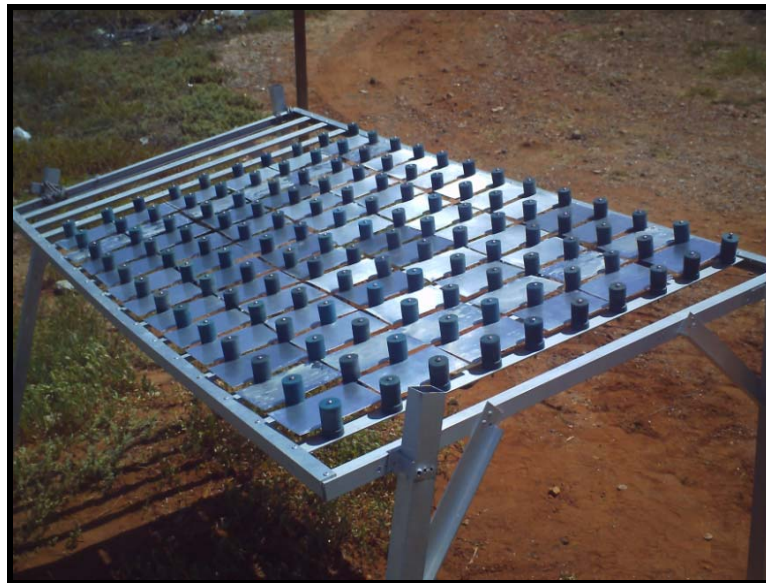


Figura 2. Bastidor con las probetas y los sujetadores armados y graduados.



Figura 3. Sujetadores para los bastidores: (a) piezas que conforman el sujetador, (b) pieza de resina armada y (c) sujetador ensamblado.

### Instalación de los bastidores en la zona de exposición

El bastidor fue colocado en las instalaciones de la Estación Hidrobiológica de Turpialito, del Instituto Oceanográfico de Venezuela (IOV), ubicado en la localidad del Golfo de Cariaco, estado Sucre (ver figura 4), a  $10^{\circ} 26' 70''$  latitud norte y  $64^{\circ} 01' 87''$  longitud oeste.

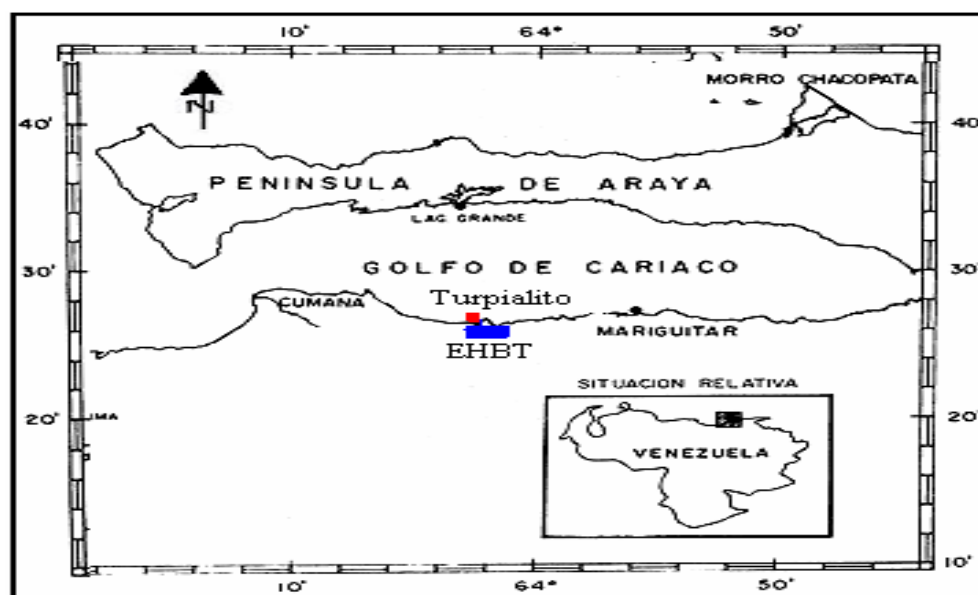


Figura 4. Ubicación geográfica de la instalación del bastidor para los ensayos de corrosión atmosférica.

El bastidor se colocó a unos 5 m de la línea de marea alta, por lo cual no está sometida a las olas ni al salpicado, al menos fuera de tempestades. Se ubicó de cara al mar y a los vientos. El bastidor presenta un ángulo de exposición de  $30^{\circ}$  respecto a la horizontal y

altura de 0,76 m del suelo hasta la parte más baja del bastidor, como se recomienda en la norma ASTM G50-76 (29) y como se ilustra en la figura 5.



Figura 5. Instalación del bastidor para la zona atmosférica según la norma ASTM G50-76

### **Preparación de las probetas metálicas para los ensayos de corrosión atmosférica**

Las probetas de aluminio AA3003 fueron suministradas por la empresa Aluminios del Caroní, S.A (ALCASA) en forma de láminas de 1,5 m x 0,4 m y espesor de 0,7 mm. Con la composición química que se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química en porcentaje en masa de la aleación de aluminio AA3003.

ELEMENTO	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti	B	Cr	Zn	Al
% en masa	0,2100	0,6900	0,1083	1,0770	0,0030	0,0010	0,0030	0,0010	0,0124	Balance
Rango de ALCASA	0,18 – 0,28	0,74 máx.	0,010 – 0,20	1,00 – 1,25	0,056 máx.	0,005 – 0,05	0,05 máx.	0,05 máx.	0,10 máx.	

De las láminas suministradas se cortaron setenta y dos (72) probetas de dimensiones de 0,1 m x 0,15 m según la norma ASTM G1 (30) para una experimentación de seis (6)

meses. Se realizó un desbaste metalográfico a cada una de ellas, usando cintas abrasivas de SiC número 400 para eliminar irregularidades superficiales provenientes de fábrica, luego se lavaron con detergente comercial y agua destilada. Posteriormente, se les aplicaron los diferentes recubrimientos se dejaron secar bien y se envolvieron en papel bond, reservándose en un lugar seco hasta el momento de la exposición, cuidando de no tocar la superficie que se expondría al ambiente marino.

### **Probetas expuestas al ambiente marino**

Para el experimento se consideró exponer probetas de muestras de aluminio 3003 con las siguientes condiciones:

Probetas sin recubrir (en condición de recibida de planta).

Probetas recubiertas con solo pintura.

Probetas recubiertas con solo extractos.

Probetas recubiertas con pintura formulada con las diferentes proporciones de los extractos.

Luego se expusieron las probetas al ambiente con retiros mensuales de doce (12) cupones hasta completar el lapso de experimentación establecido de seis (6) meses.

### **Formulación de la base de pintura industrial**

La base de pintura industrial fue suministrada por la empresa Venezolana de Pintura (ver anexo). Para la formulación, se mezcló en un vaso de precipitado hasta completa homogeneidad la base de pintura industrial con el extracto con las siguientes proporciones (base: extracto): 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 (%v/v). No se observó ninguna separación física para el momento que se realizó la mezcla, ni durante la aplicación de la misma en la superficie.

### **Procedimiento para recubrir las probetas**

El procedimiento para recubrir los cupones de aluminio 3003 con: (a) la pintura sola, (b) con solo los extractos y (c) con la pintura formulada, fue el siguiente:

Se aplicó una capa y se dejó secar por cuatro (4) horas aproximadamente. Este procedimiento se repitió cuatro (4) veces hasta obtener un recubrimiento uniforme.

Para el recubrimiento se tuvieron presentes las normas de brochabilidad COVENIN 0472-93 (31) y tiempo de secado ASTM D1640-03 (32). La norma COVENIN 0472-93 establece un medio subjetivo para determinar la brochabilidad de la pintura, evaluando la resistencia que ofrece la pintura al deslizamiento de la brocha en términos de fácil, regular o difícil y si la brocha deja huellas. La norma de secado indica que se debe tocar ligeramente la película con la punta del dedo bien limpia e inmediatamente colocarla contra un vidrio limpio y claro, y observar si la película se torna pegajosa.

Se puede considerar la aplicación de todos los recubrimientos en estudio como en la categoría de buena brochabilidad, deslizamiento fácil y secado rápido.

### **Análisis de agente contaminante agresivo**

#### Método de la vela húmeda

Este dispositivo es utilizado para captar iones de cloruros atmosféricos presentes en la zona costera donde se encuentra ubicada la estación Turpialito. Está diseñado según la Asociación Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) y conformado por una vela colectora, un frasco colector, un soporte, y un protector como se observa en la figura 6 (5).

La vela colectora está constituida por un cilindro de material inerte (polietileno) de 2,5 cm de diámetro envuelto con una gasa quirúrgica, la cual debe tener un área de aproximadamente de 100 cm<sup>2</sup>. El cilindro se introduce en un tapón de goma, haciendo pasar dos puntas de la gasa por dos tubos de vidrio de 1 cm de diámetro colocados en la parte inferior del cilindro.

El frasco colector es un erlenmeyer de 1 litro de capacidad en el que se añaden 250 ml de una solución de glicerina al 20% y en éste se inserta el tapón para fijar el cilindro y los extremos de la gasa hasta que se impregne con la solución que se encuentra en el fondo del frasco.

Posteriormente, la vela húmeda se coloca en posición central de la base del soporte que se encuentra a una altura de un metro con respecto al nivel del suelo.



Se hizo una recolección mensual de la solución y se analizaron en el Laboratorio de Oceanografía Química del IOV, por el método volumétrico de Mohr, para determinar la velocidad de deposición de iones cloruros en  $\text{mg}/\text{m}^2$  día (33), y de esta manera tener un registro durante el tiempo de experimentación de seis (6) meses.



Figura 6. Método de la vela húmeda. Dispositivo para la captación de cloruros en la atmósfera.

### **Técnicas de caracterización**

#### Cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas (CG/EM)

Se utilizó esta técnica para verificar los resultados obtenidos por análisis fitoquímicos y determinar la proporción de los compuestos químicos presentes en los extractos acuosos de *Aloe vera* y *Aloe saponaria*. Para ello fue necesario liofilizar las muestras ya que, se



hicieron pruebas preliminares con los extractos crudos y no arrojaron los resultados esperados.

La espectrometría de masas es uno de los métodos más usados para determinar la masa molar de un compuesto e, incluso, obtener la fórmula molecular correspondiente. También, proporciona información sobre la estructura, subestructuras o fragmentación y los grupos funcionales presentes en la molécula. La fragmentación característica de cada clase de compuesto, es aprovechada para la ubicación de ciertos grupos funcionales en sitios particulares de las moléculas (33). La cromatografía de gases acoplada a un detector de masas (CG/EM), es una de las técnicas más completa que permite mediante el patrón de fragmentación identificar compuestos de mezclas orgánicas (33).

El equipo utilizado para el análisis fue un cromatógrafo de gases marca Varian modelo Saturn 2000, con una fuente de ionización por impacto electrónico y un detector de trampa de iones. Las muestras liofilizadas (extractos acuosos de *Aloe vera* y *Aloe saponaria*) fueron inyectadas en una columna CP-SIL-8CB-MS de 30 m x 0,25 D.I. y helio como gas de arrastre, a una rapidez de 1 ml por minuto. La temperatura del inyector fue de 280°C, la temperatura inicial del horno fue de 100°C con una rapidez de calentamiento de 5°C por minuto hasta alcanzar la temperatura final de 295°C. Posteriormente, se identificaron los componentes por comparación computarizada con las librerías Wiley, Saturn y NIST del equipo.

#### Espectroscopia Infrarroja de Transformada de Fourier (IR-TF)

La radiación infrarroja corresponde a energías relacionadas con las vibraciones moleculares. Los espectrometros de infrarrojo (IR) cubren las regiones de tensión (estiramiento) y deformación (flexión) molecular, permitiendo observar absorción por parte de las moléculas en estas regiones. El análisis del espectro IR ofrece información sobre los grupos funcionales presentes en las estructuras de los compuestos aislados.

Se empleó esta técnica para examinar la pintura sola, los extractos de *Aloe vera* y *Aloe saponaria* y la pintura dosificada con los extractos. Se utilizó un espectrómetro Thermo

Scientific de FT-IR iS10 marca Nicolet con unidad Smart OMNI-Transmission. Este equipo se encuentra ubicado en el Laboratorio de Tamices Moleculares del (Núcleo Monagas) de la Universidad de Oriente.

El empleo de esta técnica consistió en mezclar tanto el extracto liofilizado de *Aloe vera* como el extracto liofilizado de *Aloe saponaria* con KBr y prensarla hasta obtener una pastilla delgada, luego introducirla en el portamuestra del infrarrojo para su análisis (33). También se prepararon películas de la base: extracto acuoso de *Aloe vera* a diferentes proporciones así como películas de la base: extracto acuoso de *Aloe saponaria* a diferentes proporciones para luego montarlas en el portamuestras y ser analizadas, como se muestra en la figura 7.



Figura 7. Diseño de portamuestras, a) películas del material en el portamuestras y b) portamuestras en el equipo

### Microscopia Óptica (MO)

El Microscopio Óptico empleado, para observar la superficie de las probetas expuestas al ambiente marino, fue un microscopio metalográfico Olympus GX51 que permitió obtener magnificaciones de 50X, 100X, 200X y 500X aumentos y que esta acoplado a un analizador de imagen IA32, marca LECO para el registro de las fotografías.

Se inspeccionaron probetas expuestas al ambiente marino recubiertas con la pintura, con los extractos y con la base formulada así como probetas expuestas sin recubrir. Se hizo un registro fotográfico de los detalles más relevantes de la superficie de las probetas.

### Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

La Microscopía Electrónica de Barrido es una de las técnicas más versátiles para la visualización y el análisis de las características microestructurales de muestras sólidas, debido, principalmente, a su elevada resolución y a su gran profundidad de campo. Mediante este análisis, se barre la superficie de la muestra con un haz de electrones de alta energía a través de un rastreo programado y, como resultado de ello, se originan en la superficie diversos tipos de interacciones haz de electrones/muestra que proporcionan información característica, como morfológica y topográfica de la superficie del material examinado (33).

De las muestras expuestas al ambiente marino se cortaron muestras de aproximadamente 4 cm<sup>2</sup>, posteriormente se fijaron al porta muestras del MEB con cinta conductora de grafito y pintura de oro-paladio en los bordes, para hacer la muestra conductora al haz de electrones. Se hizo una inspección en: el material sin recubrir, el material recubierto con solo los extractos, el material recubierto con la pintura y el material recubierto con la pintura: extracto, a fin de evaluar los recubrimientos y el comportamiento a la corrosión de la aleación en medio ambiente marino. Se utilizó un microscopio electrónico de barrido MEB- HITACHI S-2400, ubicado en el Centro de Microscopía de la Facultad de Ingeniería, Escuela de Metalurgia de la Universidad Central de Venezuela.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características de los extractos

Los extractos acuosos obtenidos con el buffer fosfato salino presentaron características diferentes. En el caso del extracto de *Aloe vera*, éste presentó mayor viscosidad, olor penetrante y color rosado debido a la presencia de grupos antraquinónicos en comparación con el extracto de *Aloe saponaria*, que exhibió menor viscosidad, olor agradable y coloración amarillo claro, como se ilustra en la figura 8.

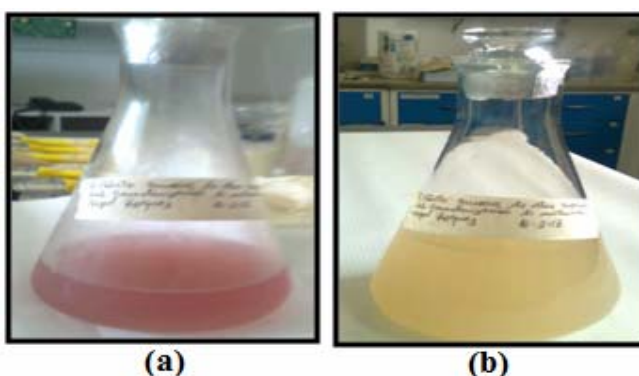


Figura 8. Coloración de los extractos acuosos a) *Aloe vera* y b) *Aloe saponaria*

Las antraquinonas son compuestos aromáticos polihidroxilados, que constituyen el numeroso grupo de sustancias polifenólicas, que conforman la base y la fuente de una importante cantidad de colorantes, y pueden encontrarse en diversos géneros y especies de las familias: *Leguminosas*, *Rubiaceas*, *Lilaceas* (18, 34).

### Análisis fitoquímico

El género *Aloe* presenta familia de compuestos químicos que poseen la capacidad de contrarrestar el efecto de la corrosión, sobre algunos materiales utilizados en el área de ingeniería, sin necesidad de adicionar otro aditivo químico. Es por ello que la industria comercial de pinturas, está empleando plantas de este género para la formulación de recubrimientos anticorrosivos (17). La lista de esta familia de compuestos es amplia y

variada, por lo que en este trabajo se efectuaron algunas pruebas químicas, para identificar familias de metabolitos de mayor importancia para la industria.

Con cada uno de los extractos acuosos, se llevaron a cabo una serie de reacciones analíticas encaminadas a poner de manifiesto, de forma cualitativa, la posible presencia de los distintos grupos fitoquímicos, que caracterizan a los extractos objeto de esta investigación. El resultado del análisis se encuentra resumido en la tabla 2, resultando positiva la presencia de los siguientes metabolitos: alcaloides, saponinas, flavonoides, cumarinas y glicósidos cardiotónicos en ambos extractos; sin embargo, el extracto acuoso de *Aloe vera* mostró la presencia de antraquinonas a diferencia del extracto acuoso de *Aloe saponaria*.

Tabla 2. Familia de metabolitos presentes en los extractos acuosos de *Aloe vera* y *Aloe saponaria* identificadas por pruebas fitoquímicas.

Familia de metabolitos	Prueba	Prueba positiva	EAAV	EAAS
Saponinas	Espuma	Espuma	+	+
Alcaloides	Dragendorff	Precipitado naranja	+	+
Glicósidos cianogénicos	Grignard	Manchas rojas	-	-
Glicósidos cardiotónicos	Kedde	Azul o violeta	+	+
Taninos	Gelatina-sal	Precipitado blanco	-	-
Polifenoles	Cloruro de Fe (II)	Coloración parda	-	-
Triterpenos	Liebermann-Burchard	Coloración roja	-	-
Esteroles	Liebermann-Burchard	Coloración azul	-	-
Antraquinonas	Bornträger	Capa roja alcalina	+	-
Metilencetonas	Baljet	Coloración roja	-	-
Cumarinas	Papel de filtro + luz UV	Fluorescencia amarilla	+	+
Flavonoides	Shinoda	Coloración roja	+	+

EAAV: extracto acuoso *Aloe vera*; EAAS: extracto acuoso *Aloe saponaria*; +: detectado; -: no detectado

Las familias de metabolitos secundarios detectados en los extractos acuosos de estas dos especies de plantas, son los que probablemente bloquean las reacciones de corrosión en el metal cuando es expuesto a un medio corrosivo, de acuerdo con algunos autores (35).

Por otra parte, los metabolitos secundarios que no fueron detectados y que están presentes en estos extractos puede ser debido, a que se encuentran en concentraciones muy bajas, imperceptibles a las pruebas fitoquímicas realizadas.

### **Análisis por cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas.**

#### Extracto acuoso de *Aloe vera*

En la figura 9 se presenta el cromatograma correspondiente al extracto acuoso de *Aloe vera*. Se evidenció la presencia de constituyentes químicos como flavonoides, cetonas, ésteres aromáticos, antraquinonas, hidrocarburos, entre otros y descritos en la tabla 3 de forma más explícita con su respectivo nombre, fórmula molecular, ion molecular, familia química y el tiempo de retención de cada compuesto.

Solo se presentan los espectros de masas de los compuestos que se encuentran en mayor proporción y posiblemente responsables del efecto inhibitor, los demás cromatogramas se pueden visualizar en el apéndice A.

Tabla 3. Compuestos químicos obtenidos por CG/EM presentes en el extracto acuoso de *Aloe vera*.

<b>Nombre</b>	<b>Familia química</b>	<b>Fórmula molecular</b>	<b>Ion molecular [M]<sup>+</sup></b>	<b>Tiempo de retención</b>
1-heptadeceno	Alqueno	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub>	238	5,001
Trans-3-metil-4-hexanal	Aldehído	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O	112	6,400
3,6-dimetil-6-(1-metiletil)-2-ciclohexen-1-ona	Cetona	C <sub>11</sub> H <sub>18</sub> O	166	8,450

Tabla 3. Continuación

Nombre	Familia química	Fórmula molecular	Ion molecular [M] <sup>+</sup>	Tiempo de retención
4,5-dimetil-2-ciclohexen-1-ona	Cetona	C <sub>8</sub> H <sub>12</sub> O	124	9,150
E-1,9-dodecadieno	Alqueno	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub>	166	9,843
1,1-dibutoxi-butano	Alcano	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> O <sub>2</sub>	202	10,733
1,1,3-trimetilciclopentano	Cicloalcano	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	112	12,750
Butilato hidroxitolueno	Fenol	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	220	14,566
Éster metilílico del ácido 14-metilpentadecanoico	Éster	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	270	15,100
1,1,3-trimelciclohexano	Cicloalcano	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	126	16,150
3,9beta,14,15-diepoxipregn-16-en-20-ano,3,11,beta,18-triacetoxi(4S,5R,10E,12Z,16R,18R,19aR,23aR)-4-hidroxi-5,16a,21-trimetil-4,5,6,7,16,16 <sup>a</sup> ,22,23-octahidro-3H,18H,19aH-spiro[16,18-metano[1,6,12]trioxaciclooctadecino[3,4-d]cromano-17,2-oxirano]-3,9,14-triona	Tricotícenos	C <sub>27</sub> H <sub>34</sub> O <sub>9</sub>	502	17,000
4-(3,4-dihidro-2,2,4-trimetil-2H-1-benzopirán-4-il)-fenol	Flavonoide	C <sub>18</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	268	18,467
Éster dibutilílico del ácido 1,2-bencenodicarboxílico	Éster	C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub>	278	19,716
Éster metilílico del ácido 9-hexadecanoico	Éster	C <sub>17</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	268	20,284
9,10-antracénodiona	Antraquinona	C <sub>14</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	208	20,684
1-tetradeceno	Alqueno	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub>	196	21,945
1-tetradecanol acetato	Éster	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	256	22,335
Éster metílico del ácido 14-metilheptadecanoico	Éster	C <sub>19</sub> H <sub>38</sub> O <sub>2</sub>	298	26,932

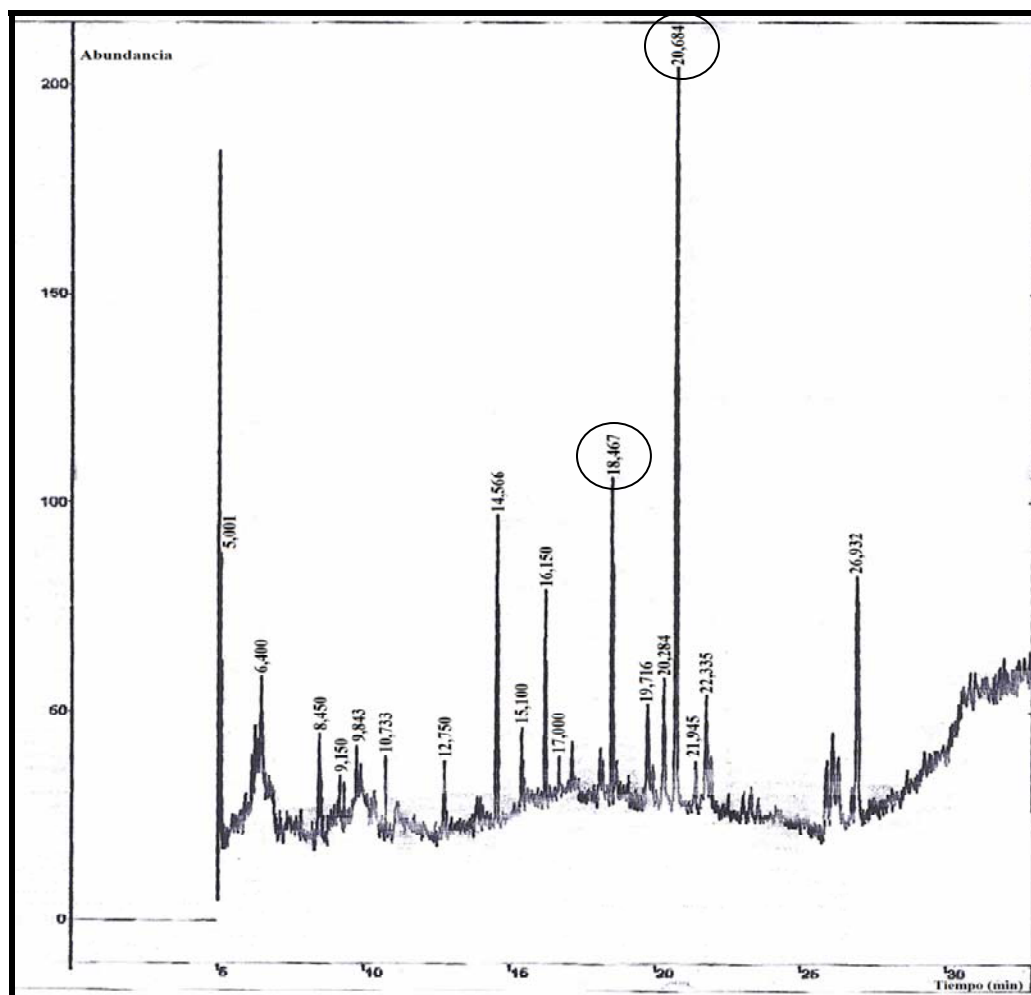


Figura 9. Cromatograma de gases del extracto acuoso de *Aloe vera*

A partir del cromatograma de la figura 9, se hizo un análisis en el tiempo de retención de 18,467 min correspondiente al flavonoide y a un tiempo de retención de 20,684 min de la antraquinona, debido a que éstos son los que se encuentran en mayor proporción.

En la figura 10 se presenta el espectro de masas del 4-(3,4-dihidro-2, 2,4-trimetil-2H-1-benzopiran-4-il)-fenol de fórmula molecular  $C_{18}H_{20}O_2$ , masa molecular (268,3554 g/mol) y un tiempo de retención (TR = 18,467 min), el cual desplegó un ión molecular a  $m/z$  268 [M<sup>+</sup>].

Desde el punto de vista químico, el flavonoide es un antioxidante, es decir un compuesto químico que previene la oxidación de otra especie química. También puede definirse



como aquella sustancia que cuando se encuentra presente a concentraciones mucho menores que las de un sustrato oxidable, disminuye o inhibe significativamente la oxidación de dicho sustrato, por lo que los antioxidantes desempeñan un papel fundamental en la protección de estructuras metálicas que pudiesen ser dañadas (36).

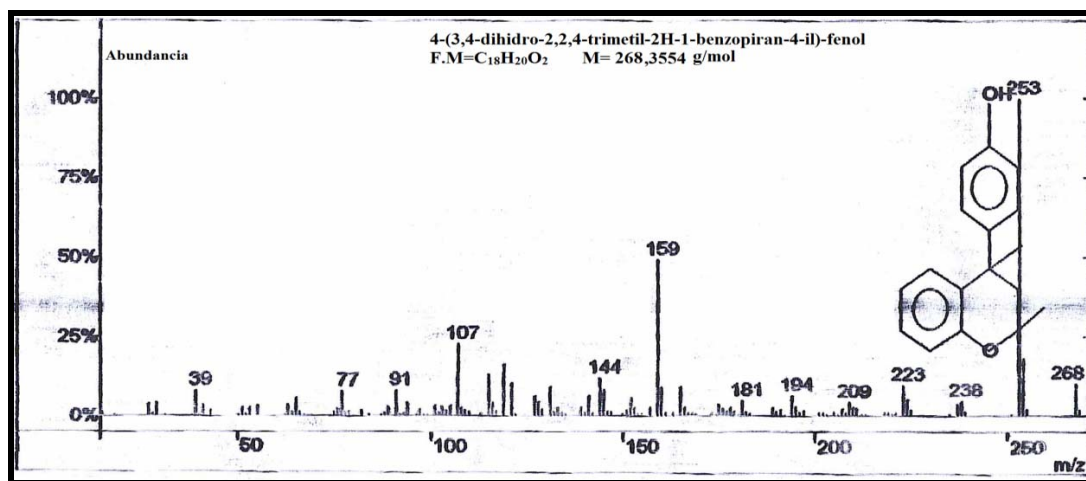


Figura 10. Espectro de masas del 4-(3,4-dihidro-2,2,4-trimetil-2H-1-benzopiran-4-il)-fenol

En la figura 11, se muestra el espectro de masa de la antraquinona 9,10-antracenediona, de fórmula molecular C<sub>14</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>, masa molecular (208,2158 g/mol) y un tiempo de retención (TR = 20,684 min), el cual desplegó un ión molecular a m/z 208 [M<sup>+</sup>].

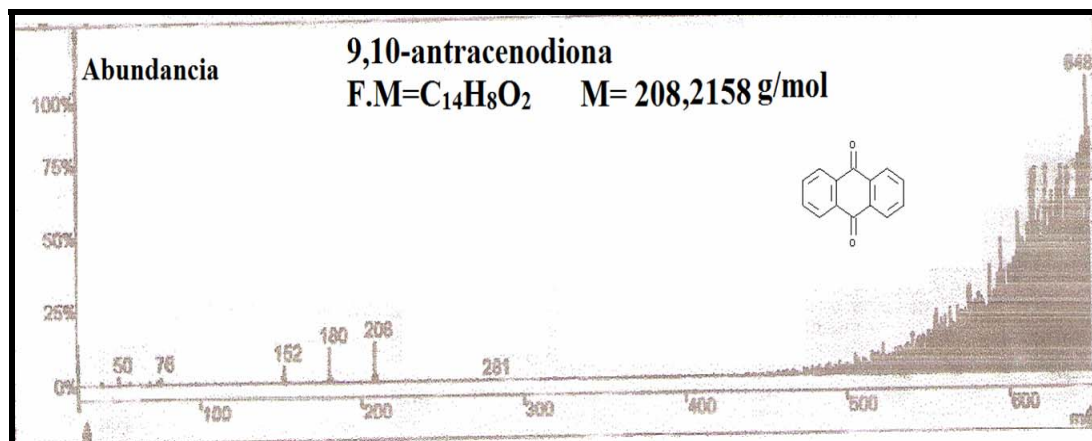


Figura 11. Espectro de masas 9,10-antracenediona

Las antraquinonas son una clase de metabolitos secundarios vegetales con una funcionalidad *p*-quinoide en un núcleo antracénico. La antraquinona o 9,10-dioxoantraceno es un compuesto aromático, derivado del antraceno. Sus sinónimos en la industria y el comercio son 9,10-antraceno diona, antradiona, antraceno-9,10-quinona. Las antraquinonas se encuentran en forma natural en algunas plantas (Rubiobarbo, Espino Cerval y el género *Aloe*), hongos, líquenes e insectos donde sirve como esqueleto básico para sus pigmentos. Las antraquinonas del *Aloe vera* son uno de sus componentes más efectivos, tienen una amplia gama de propiedades como laxantes, analgésicas y además tiene propiedades inhibitoras de corrosión (34,37).

#### Extracto acuoso de *Aloe saponaria*

La identificación estructural de los compuestos presentes en el extracto acuoso de *Aloe saponaria* se muestra en el cromatograma de la figura 12. Se evidenció la presencia de 4 constituyentes químicos como cetona, aldehído, compuesto inorgánico y el ácido graso: hexadecanoico definidos en la tabla 4. A continuación se presentan los espectros de masas de los compuestos más significativos para esta investigación (aldehído y ácido hexadecanoico), el resto de los espectros se encuentran en el apéndice A.

Tabla 4. Compuestos químicos obtenidos por CG/EM presentes en el extracto acuoso de *Aloe saponaria*.

Nombre	Familia química	Fórmula molecular	Ion molecular [M] <sup>+</sup>	Tiempo de retención
2,3-dihidro-3,5-dihidroxi-6-metil4H-pirano-4-ona	Cetona	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	144	5,001
Tetradecametilcicloheptasiloxano	Compuesto inorgánico	C <sub>14</sub> H <sub>42</sub> O <sub>7</sub> Si <sub>7</sub>	518	14,000
5-(hidroximetil)-2-furancarboxaldehido	Aldehído	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	126	16,196
Ácido hexadecanoico	Ácido graso	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	256	18,502

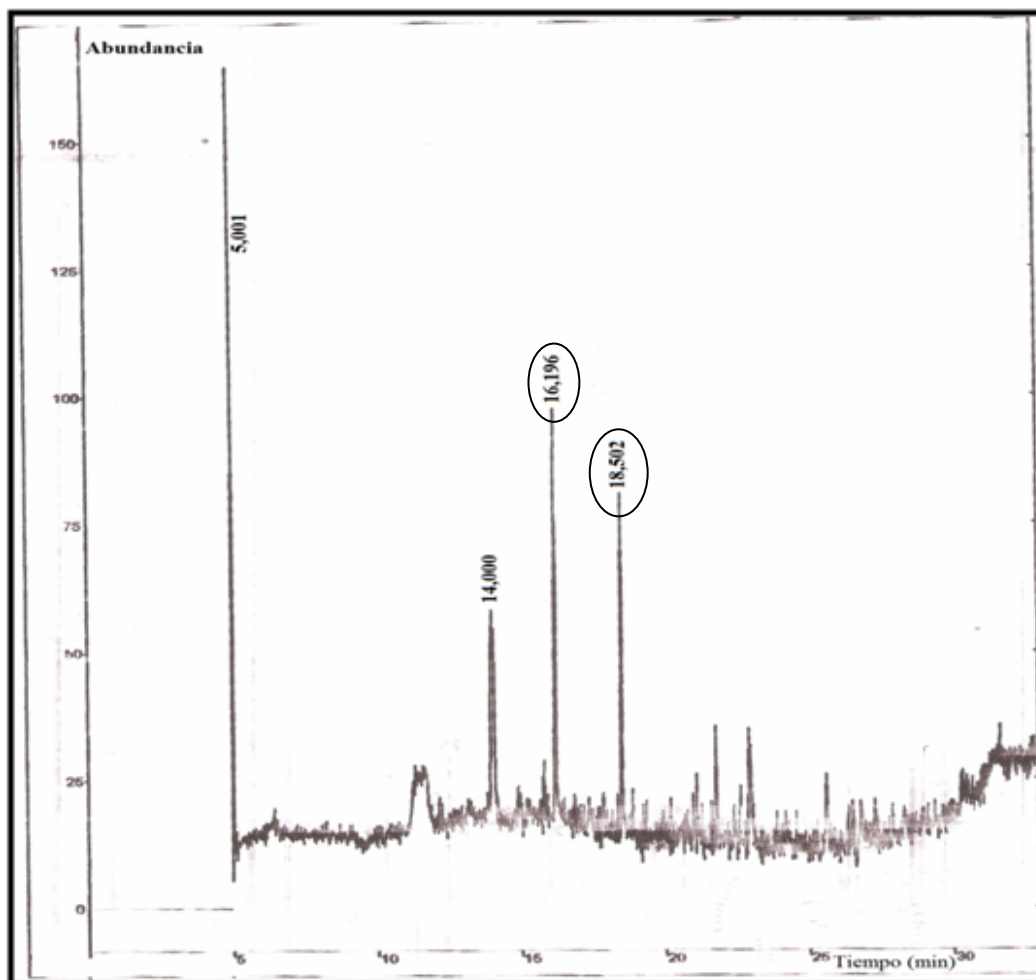


Figura 12. Cromatograma de gases del extracto acuoso de *Aloe saponaria*

A partir del cromatograma de la figura 12 se hizo un análisis en el tiempo de retención de 16,196 min correspondiente al aldehído y a un tiempo de retención de 18,502 min correspondiente al ácido hexadecanoico, debido a que estos son los que se encuentran en mayor proporción. Sin embargo, estos compuestos no han sido reportados en la literatura como contribuyentes a la protección contra la corrosión en sistemas metálicos.

En la figura 13, se muestra el espectro de masa del aldehído 5-(hidroximetil)-2-furancarboxaldehído, de fórmula molecular  $C_6H_6O_3$ , masa molecular (126,1108 g/mol) y un tiempo de retención (TR = 16,196 min), el cual evidenció un ión molecular a  $m/z$  126 [M+].

El compuesto 5-(hidroximetil)-2-furancarboxaldehido, presenta entre otros, los sinónimos: 5-hidroximetil-2-furfural, 5-hidroximetilfurfural y 5-HMF. Este compuesto es un aldehído aromático de origen natural; recientemente fue aislado de una alga roja marina (*Laurencia undulata*) y presentó propiedades antioxidantes significativas. Adicionalmente, 5-HMF se encuentra patentado, como agente de origen natural, no tóxico y eficaz contra la formación de células falciformes (38).

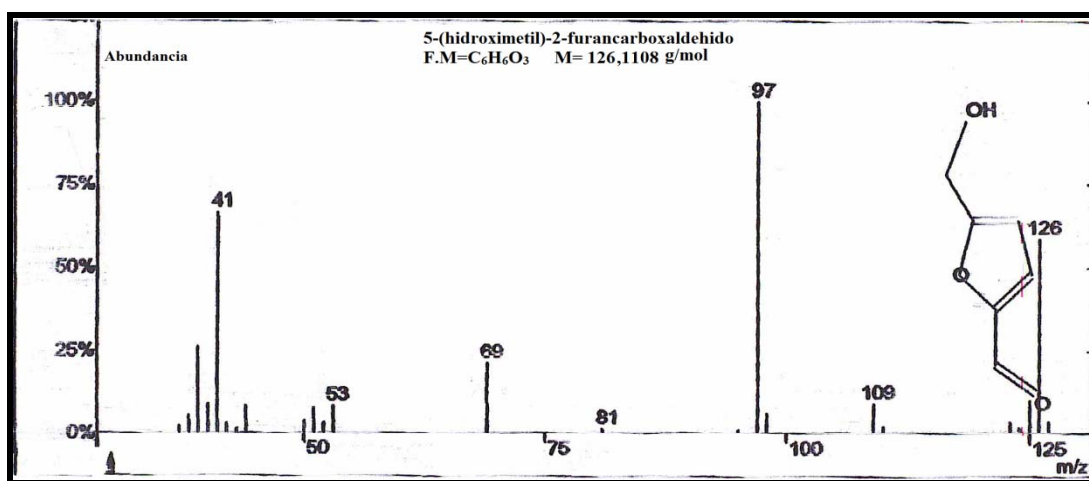


Figura 13. Espectro de masas de 5-(hidroximetil)-2-furancarboxaldehido

En la figura 14, se muestra el espectro de masa del ácido hexadecanoico o ácido palmítico, de fórmula molecular C<sub>16</sub>H<sub>32</sub>O<sub>2</sub>, masa molecular (256,4290 g/mol) y un tiempo de retención (TR = 18,502 min), con un ión molecular a m/z 256 [M+].

El ácido hexadecanoico es uno de los ácidos grasos más comunes en los lípidos y ha sido reportado en una amplia variedad de especies terrestres y marinas. Además, algunos registros señalan que el ácido hexadecanoico, al igual que ácido octadecanoico, posee propiedad apópticas (39).

El mecanismo de acción de la actividad antimicrobiana de los ácidos grasos es debido a la inhibición del transporte de membrana, lo que resulta en una carencia nutricional de las células. Algunos autores sugieren que los ácidos grasos son los inhibidores más

efectivos de bacterias Gram-positivas, reportando entre ellos los ácidos tetradecanoico y hexadecanoico como inhibidores efectivos de estas bacterias (40).

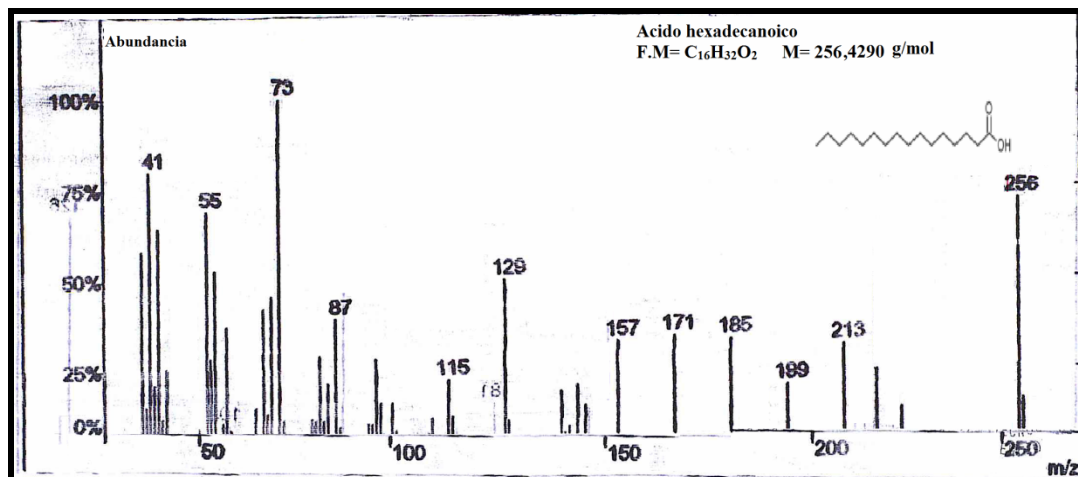


Figura 14. Espectro de masas de ácido hexadecanoico

Comparando los resultados de los análisis de cromatografía obtenidos del *Aloe vera* y los del *Aloe saponaria* (tabla 3 y tabla 4) con los análisis fitoquímico (tabla 2), se puede decir que la cromatografía de gases corroboró la presencia de antraquinonas y flavonoides en el extracto de *Aloe vera*, mientras que los cromatogramas del *Aloe saponaria* no evidenciaron los compuestos obtenidos con el análisis fitoquímico, lo cual pudiera estar atribuido a que en este extracto las concentraciones de los compuestos identificados por las pruebas fitoquímicas se encuentran en proporciones muy bajas y no pudieron ser detectados por el cromatógrafo o que la librería del cromatógrafo no los tiene en la base de datos.

Por otra parte, al comparar los análisis de cromatografía obtenidos del *Aloe vera* con los del *Aloe saponaria* (tabla 3 y tabla 4), se observa que los compuestos comunes son aldehídos y cetonas. La *Aloe vera* es más rica en metabolitos secundarios entre ellos se encuentran la antraquinona y el flavonoide, los cuales no se detectaron en el extracto de *Aloe saponaria*.

La ausencia de antraquinona y flavonoides en el *Aloe saponaria* no indica que no estén presentes en el extractos, es posible que estén en concentraciones muy bajas y no pueden ser detectados mediante los análisis empleados para la caracterización. También hay que tener presente que estas plantas son originarias del continente Africano, ambientes diferentes al nuestro en cuanto a temperatura, pH del suelo, latitud y altitud; y ellas se han ido adaptando al medio, lo que repercute en sus metabolitos secundarios y por ende en los niveles de concentración (18, 41).

### **Análisis de Espectroscopia de Emisión Atómica por plasma acoplado inductivamente (EEA-API)**

#### Pintura

En la tabla 5, se presentan los resultados obtenidos por ICP-AES de dos bases de pintura industrial suministradas por la empresa Venezolana de Pintura (VP), de las cuales se escogió la base 1 ya que, esta no contenía dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) para dosificarla con los extractos acuosos de *Aloe Vera* y *Aloe saponaria*.

Es de resaltar que el dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) se usa como pigmento blanco por sus propiedades de dispersión, su estabilidad química y su supuesta no toxicidad, constituyéndose como el pigmento inorgánico más importante en términos de producción mundial. Se usa universalmente en: pinturas y recubrimientos anticorrosivos (42).

Actualmente, las pinturas sin dióxido de titanio están siendo diseñadas para ofrecer un excelente equilibrio de características de rendimiento y permitir el desarrollo de recubrimientos respetuosos del medio ambiente.

Tabla 5. Características de las bases de pintura obtenidas por ICP-AES

Muestra	%Ti	% $\text{TiO}_2$
Base 1**	No se detectó	No se detectó
Base 2**	6,4±0,9	10,7±0,9

\*\*Bases de pintura suministradas por la empresa Venezolana de Pintura

### Análisis por Espectroscopia Infrarroja de Transformada de Fourier (IR-TF)

El espectro IR-TF de la figura 15 correspondiente a la base de pintura sin dióxido de titanio (Base 1, tabla 5) presentó las siguientes bandas de absorción: una a  $1744\text{ cm}^{-1}$  debido al estiramiento del enlace (C=O); otra absorción a  $1218\text{ cm}^{-1}$  ocasionada por la tensión del enlace (-C-O), y una banda a  $948\text{ cm}^{-1}$  asignable a la deformación del enlace (C-H) del anillo aromático correspondiente a posibles ésteres aromáticos.

También presentó varias bandas de absorción para hidrocarburos aromáticos: una señal a  $3148\text{ cm}^{-1}$  debido al estiramiento del (= C - H) del anillo aromático; otra a  $2028\text{ cm}^{-1}$  generada por las absorciones características del sistema aromático o sobretonos; una banda a  $1650\text{ cm}^{-1}$  producida por la tensión (C = C); otra a  $1496\text{ cm}^{-1}$  generada por el enlace (C-C), y una señal a  $802\text{ cm}^{-1}$  correspondiente a la deformación del sistema (C-H) del anillo aromático.

Los dos picos débiles observados a  $2977\text{ cm}^{-1}$  y a  $2892\text{ cm}^{-1}$  son producidos por la tensión (=C-H) de los aldehídos; la señal a  $1700\text{ cm}^{-1}$  es ocasionada por el estiramiento del enlace (C=O), y la que se presenta a  $1220\text{ cm}^{-1}$  es debida a la deformación del enlace (C-H) del anillo aromático, correspondiente a aldehídos aromáticos. Verificándose así que efectivamente la pintura no contiene dióxido de titanio.

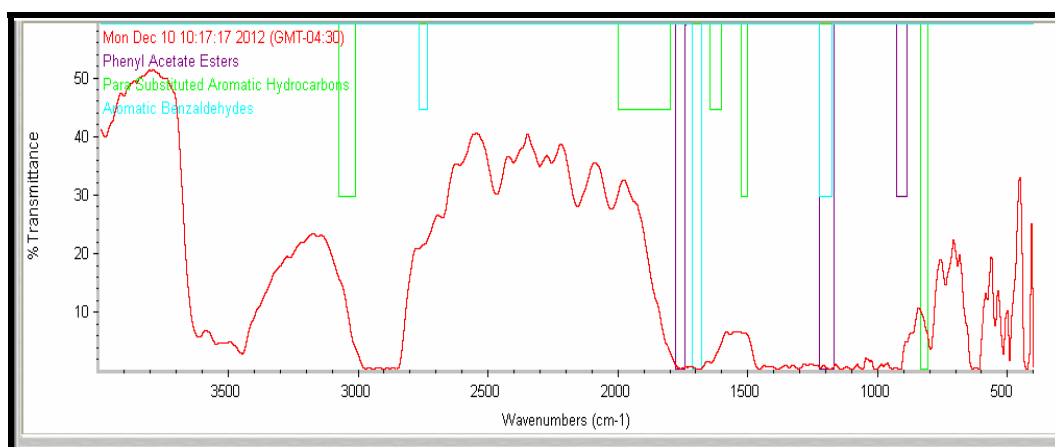


Figura 15. Espectro IR-TF de la base de pintura utilizada, indicando absorciones características de los grupos funcionales presentes.

En la tabla 6, se encuentra un resumen de las diferentes absorciones correspondientes con cada grupo funcional y la familia química del compuesto. La base de pintura posee un éster alifático como el acetato de vinilo ( $C_4H_6O_2$ ), una emulsión del hidrocarburo alifático etileno ( $C_2H_4$ ), agua ( $H_2O$ ) y algún compuesto de la familia de los aldehídos aromáticos; confirmándose la composición de la ficha técnica de la pintura para los ésteres y los hidrocarburos.

Tabla 6. Grupos funcionales de los compuestos obtenidos por IR-TF presentes en la base de pintura utilizada

Ésteres aromáticos		Hidrocarburos aromáticos		Aldehídos aromáticos	
1744 $cm^{-1}$	C=O	3148 $cm^{-1}$	C-H	2892 $cm^{-1}$ y 2977 $cm^{-1}$	C-H
1218 $cm^{-1}$	C-O	1650 $cm^{-1}$	C=C	1700 $cm^{-1}$	C=O
948 $cm^{-1}$	C-H	1496 $cm^{-1}$ 802 $cm^{-1}$	C-C C-H	1220 $cm^{-1}$	C-H

### Extractos

El espectro IR-TF del extracto acuoso de *Aloe vera* (figura 16) presenta dos bandas características, una absorción a 1535  $cm^{-1}$  y otra a 1375  $cm^{-1}$  con una señal intensa que puede ser causada por la tensión de un enlace N=O, correspondientes a compuestos nitro alifáticos.

Los dos picos de absorción a 3074  $cm^{-1}$  y a 3197  $cm^{-1}$  son ocasionados por el estiramiento del enlace carbono hidrógeno alifático (-C-H); y una absorción a 1612  $cm^{-1}$  causada por la distorsión del enlace C=C, estas bandas son características de olefinas generales.

También, se observaron varias bandas de absorción para hidrocarburos alifáticos: una señal a 2854  $cm^{-1}$  debido a la tensión del (= C – H); otra a 1454  $cm^{-1}$  causada por el enlace (C-C), y una banda a 1375  $cm^{-1}$  asignable a la flexión de sistema (C- H).



El espectro IR-TF del extracto acuoso de *Aloe saponaria* (figura 17) presentó las siguientes bandas: una absorción a  $1735\text{ cm}^{-1}$  debido al estiramiento del enlace ( $\text{C}=\text{O}$ ); otra a  $1257\text{ cm}^{-1}$  ocasionada por la tensión del enlace ( $-\text{C}-\text{O}$ ), y una banda a  $1033\text{ cm}^{-1}$  producida por la deformación del enlace ( $\text{C}-\text{H}$ ) del anillo aromático correspondiente a posibles ésteres alifáticos.

Además, se observan varias bandas de absorción para hidrocarburos alifáticos: una señal a  $2923\text{ cm}^{-1}$  debido a la tensión del ( $=\text{C}-\text{H}$ ); otra a  $1458\text{ cm}^{-1}$  ocasionada por el enlace ( $\text{C}-\text{C}$ ), y una señal a  $1377\text{ cm}^{-1}$  generada por la flexión de sistema ( $\text{C}-\text{H}$ ).

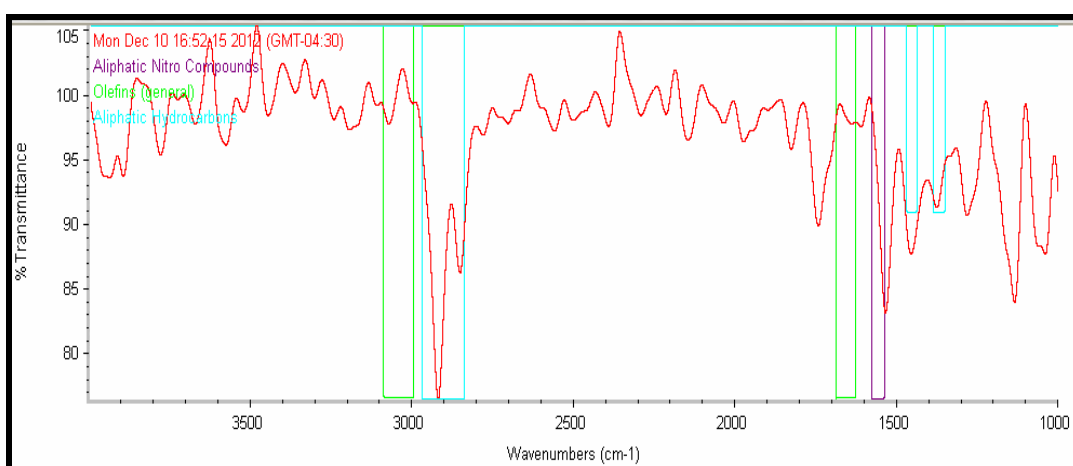


Figura 16. Espectro IR-TF del extracto acuoso de *Aloe vera*, indicando absorciones características de los grupos funcionales presentes.

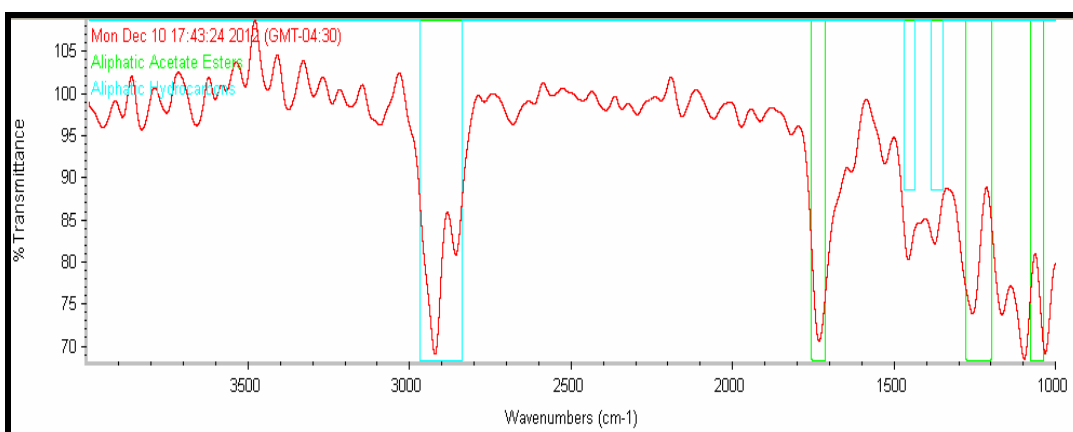


Figura 17. Espectro IR-TF del extracto acuoso de *Aloe saponaria*, indicando absorciones características de los grupos funcionales presentes.

En la tabla 7, se presentan los grupos funcionales determinados para el extracto acuoso de *Aloe vera*. Los hidrocarburos alifáticos y las olefinas también se registraron en el espectro de masas (ver tabla 3). Los compuestos nitro alifáticos presentes pueden ser debido a posibles familias de alcaloides que resultaron positivos en las pruebas fitoquímicas (tabla 2).

Por su parte, en la tabla 8, se exhiben los grupos funcionales como ésteres e hidrocarburos alifáticos para los extractos acuosos de *Aloe saponaria*, a pesar de que los análisis por CG/EM indicaron otras familias (ver tabla 4), quizás esto se debió al solapamiento de las bandas de absorción.

Tabla 7. Grupos funcionales de los compuestos obtenidos por IR-TF presentes en el extracto acuoso de *Aloe vera*

Compuestos nitro alifáticos		Olefinas generales		Hidrocarburos alifáticos	
1535cm <sup>-1</sup> y 1375 cm <sup>-1</sup>	N=O	3074 cm <sup>-1</sup> y 3197 cm <sup>-1</sup> 1612 cm <sup>-1</sup>	C-H  C=C	2854cm <sup>-1</sup>  1454cm <sup>-1</sup> 1375cm <sup>-1</sup>	C-H  C-C C-H

Tabla 8. Grupos funcionales de los compuestos obtenidos por IR-TF presentes en el extracto acuoso de *Aloe saponaria*

Ésteres alifáticos		Hidrocarburos alifáticos	
1735cm <sup>-1</sup>	C=O	2923 cm <sup>-1</sup>	C-H
1257 cm <sup>-1</sup>	C-O	1458 cm <sup>-1</sup>	C-C
1033 cm <sup>-1</sup>	C-H	1377 cm <sup>-1</sup>	C-H

#### Análisis base: extracto *Aloe vera*

En la figura 18 se presentan el conjunto de espectros IR-TF de todas las mezclas base de pintura: extracto *Aloe vera* junto con los espectros de la pintura y del extracto solo de *Aloe vera* a modo de comparación. Cada uno de estos espectros se encuentran en el apéndice B.

Como puede verse en la figura 18, luego de mezclar la base de pintura con el extracto solo, se registraron hidrocarburos alifáticos en la mayoría de las proporciones (excepto en EAAV 70:30), los cuales están presentes tanto en la base (figura 15) como en el extracto (figura 16). Los compuestos del extracto (nitroalifáticos y oleofinas) y los compuestos de la pintura (ésteres aromáticos y aldehídos aromáticos) no se observaron en las diferentes proporciones de extracto. Sin embargo, se registraron otros compuestos en las proporciones como sales aminoácidos en EAAV 70:30 y aldehídos alifáticos en EAAV 50:50. Es de hacer notar, que los compuestos que no se observan pueden ser debido a solapamiento entre las bandas de absorción.

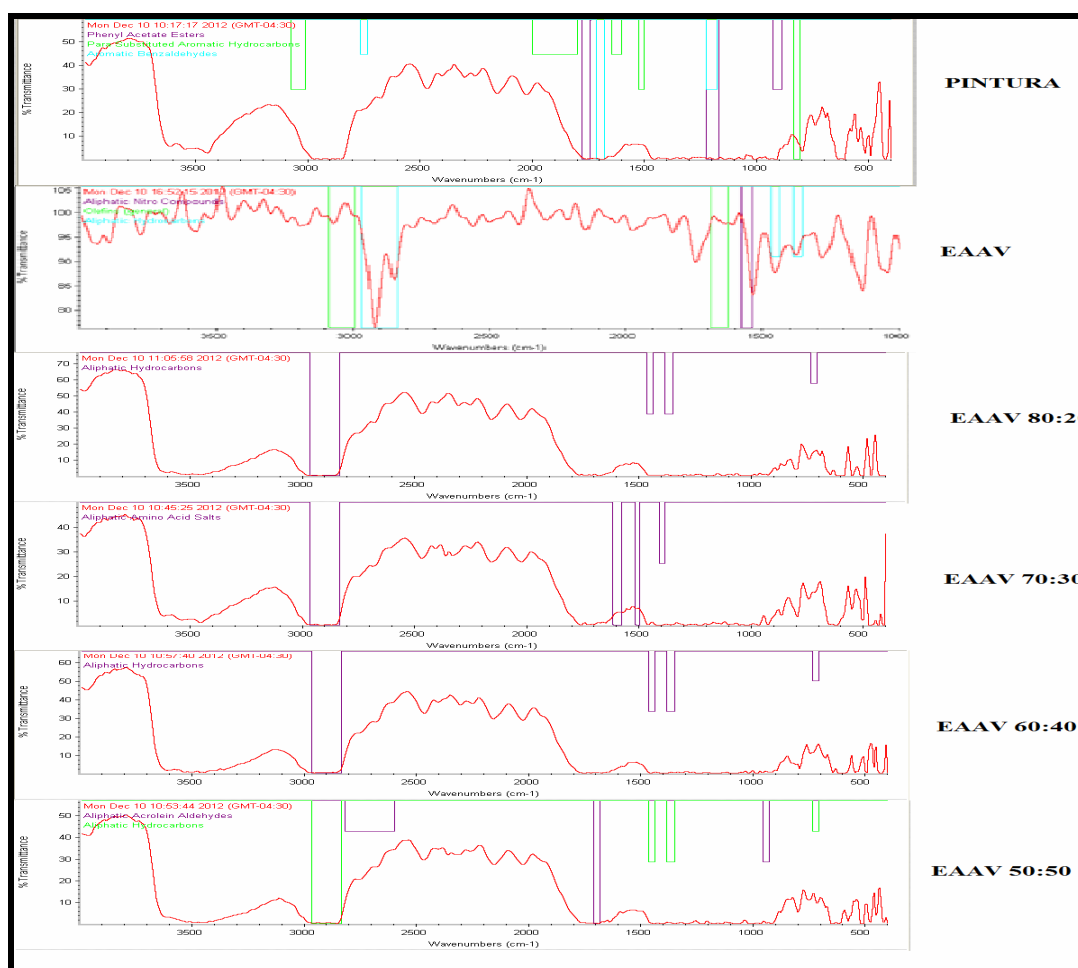


Figura 18. Comparación de espectros IR-TF de la pintura, EAAV, EAAV 80:20, EAAV 70:30, EAAV 60:40 y EAAV 50:50.

En la tabla 9, se resumen los grupos funcionales presentes en la mezcla base: extracto acuoso de *Aloe vera* a las diferentes proporciones. Tanto la base: extracto acuoso de *Aloe vera* a una proporción 80:20 (EAAV 80:20), base: extracto acuoso de *Aloe vera* a una proporción 60:40 (EAAV 60:40) y base: extracto acuoso de *Aloe vera* a una proporción 50:50 (EAAV 50:50) presentan grupos funcionales de hidrocarburos alifáticos. El EAAV 50:50 contiene adicionalmente aldehídos alifáticos obtenidos por CG/EM para el extracto acuoso de *Aloe vera* (tabla 3); mientras que la base: extracto acuoso de *Aloe vera* a una proporción 70:30 (EAAV 70:30), muestra solamente grupos funcionales de sales de aminoácidos alifáticos que pudieran estar relacionados con la familia de los alcaloides identificados con las pruebas fitoquímicas (tabla 2) y en el espectro IR-TF del extracto acuoso de *Aloe vera*, que se encuentra resumido en la tabla 7.

Tabla 9. Grupos funcionales de los compuestos obtenidos por IR-TF presentes en la base: extracto acuoso de *Aloe vera* (EAAV) a las diferentes proporciones.

EAAV 80:20		EAAV 70:30		EAAV 60:40		EAAV 50:50			
Hidrocarburos alifáticos		Sales de aminoácidos alifáticos		Hidrocarburos alifáticos		Aldehídos alifáticos		Hidrocarburos alifáticos	
2977 cm <sup>-1</sup>	C-H	2877 cm <sup>-1</sup>	C-H	2962 cm <sup>-1</sup>	C-H	2892 cm <sup>-1</sup> y 2970 cm <sup>-1</sup>	C-H	2970 cm <sup>-1</sup>	C-H
1458 cm <sup>-1</sup> y 1365 cm <sup>-1</sup>	C-C	1766 cm <sup>-1</sup>	C=O	1465 cm <sup>-1</sup> y 1388 cm <sup>-1</sup>	C-C	1735 cm <sup>-1</sup>	C=O	1450 cm <sup>-1</sup> y 1357 cm <sup>-1</sup>	C-C
647 cm <sup>-1</sup>	C-H	1465 cm <sup>-1</sup> 1365 cm <sup>-1</sup>	C-N C-O	794 cm <sup>-1</sup>	C-H	925 cm <sup>-1</sup>	C-H	655 cm <sup>-1</sup>	C-H

#### Análisis base: extracto *Aloe saponaria*

Un comportamiento semejante se observa en los espectros IR-TF correspondientes a las mezclas base de pintura: extracto *Aloe saponaria* (apéndice B). Como puede observarse en la figura 19 luego de la mezcla base de pintura: extracto solo se registraron hidrocarburos alifáticos en la mayoría de las proporciones, a excepción de EAAV 70:30 que registró compuestos de ésteres alifáticos, los cuales se encuentran tanto en la base de pintura (figura 15) como en el extracto (figura 17). Sin embargo, los análisis por CG/EM

para el extracto acuoso de *Aloe saponaria* (figura 12) arrojó cetona, aldehídos y ácidos alifáticos, los cuales no se apreciaron en el IR-TF, probablemente debido al solapamiento entre las bandas de absorción.

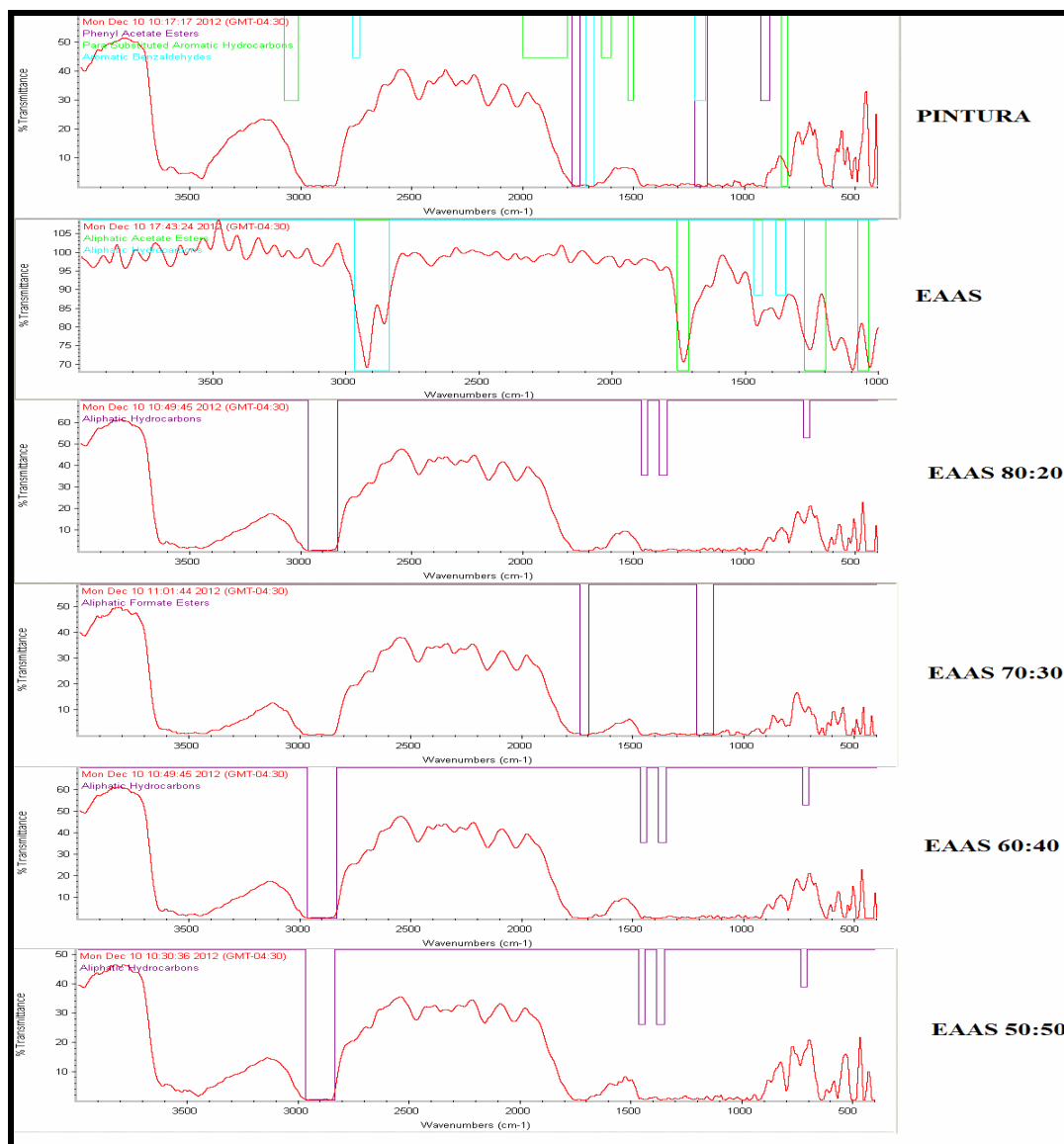


Figura 19. Comparación de espectros IR-TF de la pintura, EAAS, EAAS 80:20, EAAS 70:30, EAAS 60:40 y EAAS 50:50.

En la tabla 10, se listan los grupos funcionales para la mezcla base: extracto acuoso de *Aloe saponaria* a las diferentes proporciones, donde la base: extracto acuoso de *Aloe saponaria* a una proporción 80:20 (EAAS 80:20), base: extracto acuoso de *Aloe*

*saponaria* a una proporción 60:40 (EAAS 60:40) y base: extracto acuoso de *Aloe saponaria* a una proporción 50:50 (EAAS 50:50) presentan grupos funcionales de hidrocarburos alifáticos lo cual concuerda tanto con lo presentado en los grupos funcionales de la pintura (tabla 6) como del extracto acuoso de *Aloe saponaria* (tabla 8), sin embargo la base: extracto acuso de *Aloe saponaria* 70:30 (EAAS 70:30) muestra solamente ésteres alifáticos; lo cual ratifica que posee tanto compuestos de la pintura como del extracto acuoso de *Aloe saponaria*.

Tabla 10. Grupos funcionales de los compuestos obtenidos por IR-TF presentes en la base: extracto acuoso de *Aloe saponaria* (EAAS) a las diferentes proporciones.

EAAS 80:20		EAAS 70:30		EAAS 60:40		EAAS 50:50	
Hidrocarburos alifáticos		Ésteres alifáticos		Hidrocarburos alifáticos		Hidrocarburos alifáticos	
2885 cm <sup>-1</sup>	C-H	1735 cm <sup>-1</sup>	C=O	2900 cm <sup>-1</sup>	C-H	2962 cm <sup>-1</sup>	C-H
1465 cm <sup>-1</sup> y 1388 cm <sup>-1</sup>	C-C	1226 cm <sup>-1</sup>	C-O	1492 cm <sup>-1</sup> y 1365 cm <sup>-1</sup>	C-C	1373 cm <sup>-1</sup> y 1218 cm <sup>-1</sup>	C-C
632 cm <sup>-1</sup>	C-H	1056 cm <sup>-1</sup>	C-H	640 cm <sup>-1</sup>	C-H	647 cm <sup>-1</sup>	C-H

### Determinación de concentración de cloruros

Como la estación de ensayos de corrosión atmosférica se encuentra situada cerca del mar (figura 5), se analizó la influencia marina mediante un dispositivo captador especial (vela húmeda), dado que el NaCl presente en los aerosoles marinos influye decisivamente en la corrosión de los metales expuestos a este tipo de atmósfera.

En la tabla 11, se presenta la velocidad promedio de deposición de los iones Cl<sup>-</sup>, expresada en miligramos de Cl<sup>-</sup> por metro cuadrado por día (mg/m<sup>2</sup>.día), obtenida periódicamente durante el tiempo de experimentación (abril-septiembre) en la estación colocada en la Bahía de Turpialito.

Se obtuvo un valor promedio de deposición de 122,59 mg/m<sup>2</sup>.día que está dentro del rango establecido para una atmósfera medianamente agresiva (0,3 y 300 mg/m<sup>2</sup>.día) (5).

Tabla 11. Reporte de la cantidad de contaminante obtenido en la zona atmosférica del Golfo de Cariaco, zona de Turpialito, medidos mensualmente desde el momento de la exposición.

<b>Periodo</b>	<b>Cloruros (mg/m<sup>2</sup>.día)</b>
Abril	177,97
Mayo	154,54
Junio	139,04
Julio	102,71
Agosto	79,16
Septiembre	82,17
$\bar{X}$	122,59

### **Inspección fotográfica**

Se realizó una inspección de campo mensual al panel de probetas expuestas, a fin de observar el comportamiento de las mismas a las condiciones atmosféricas de la Bahía de Turpialito, en los seis meses de experimentación.

#### *Aloe vera*

En la figura 20, se presenta el registro fotográfico realizado al conjunto de probetas testigos (sin recubrir-SR), las probetas recubiertas con solo la base de pintura (P), las probetas recubiertas solo con el extracto acuoso de *Aloe vera* (EAAV), y las probetas recubiertas con las diferentes proporciones base de pintura: extracto.

De la inspección visual se obtuvieron los siguientes resultados:

- Las probetas SR presentaron picaduras desde el primer mes de exposición, incrementándose a medida que transcurrió el tiempo de experimentación. También se observaron productos de corrosión propios del aluminio y contaminantes de polvo característicos del sector.
- En las probetas recubiertas con EAAV, se formó una película blanca no uniforme en la superficie del metal posiblemente debido a la precipitación de las sales presentes en el buffer fosfato salino con el cual fue preparado el extracto acuoso. Se apreció un mayor grado de ataque corrosivo en comparación con las probetas SR.
- En las probetas recubiertas solo con la pintura (P), se observaron pequeños ampollamientos en la pintura así como desprendimiento de la misma.

- En las probetas recubiertas con las proporciones (base: extracto) 80:20, 70:30, 60:40 y 50:50; el recubrimiento no presentó daños de desprendimiento y ampollamiento en comparación con las probetas recubiertas solo con la pintura (P).

#### *Aloe saponaria*

En la figura 21, se presenta el registro fotográfico realizado al conjunto de probetas recubiertas solo con el extracto acuoso de *Aloe saponaria* (EAAS) y las probetas recubiertas con las diferentes proporciones base de pintura: extracto. Se incluyen las probetas testigos (sin recubrir-SR) y las probetas recubiertas con solo la base de pintura (P) a modo de comparación. Los resultados de esta experiencia fueron los siguientes:

- El recubrimiento del extracto *Aloe saponaria* presentó comportamiento semejante al recubrimiento de extracto *Aloe vera*, es decir, formó una capa blanquecina a lo largo de la superficie de las probetas metálicas debido posiblemente, como se comentó anteriormente, a la precipitación de las sales del buffer utilizado para la preparación del extracto. También, se observó deterioro por picadura en estas probetas, es decir el extracto puro no protegió la superficie metálica del ambiente salino y el grado de degradación del metal fue semejante al de las probetas testigo.
- En el caso de las probetas recubiertas con las diferentes proporciones de (base: extracto) 80:20, 70:30, 60:40 y 50:50; los recubrimientos se mantuvieron firmes a la superficie y tampoco presentaron los ampollamientos observados en el recubrimiento con solo pintura.



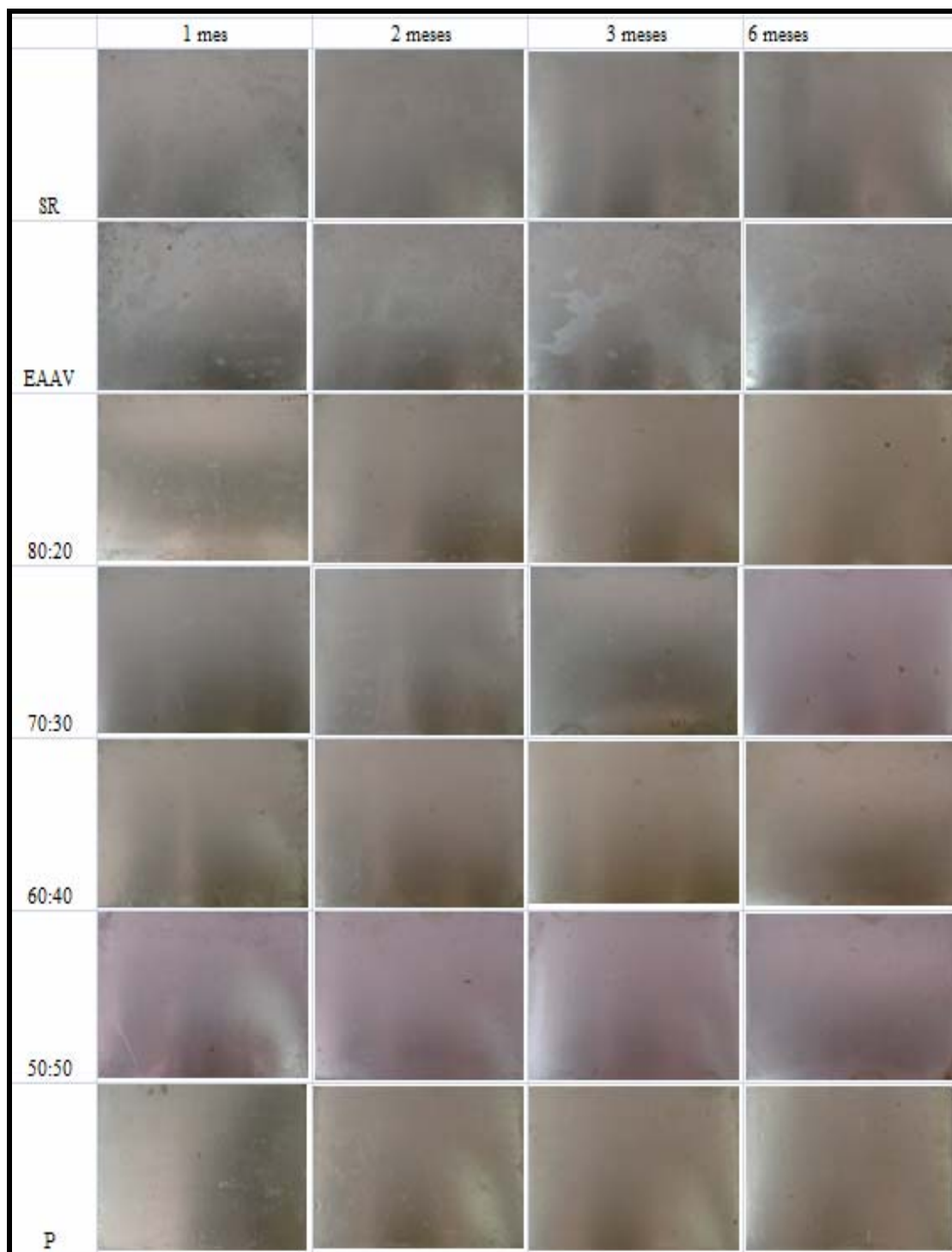


Figura 20: Fotografías de las probetas sin recubrir (SR), las probetas recubiertas solo con el extracto acuoso de *Aloe vera* (EAAV), las probetas recubiertas con solo la pintura (P) y las probetas recubiertas con las diferentes proporciones, después de expuesta durante los 6 meses de la experimentación.

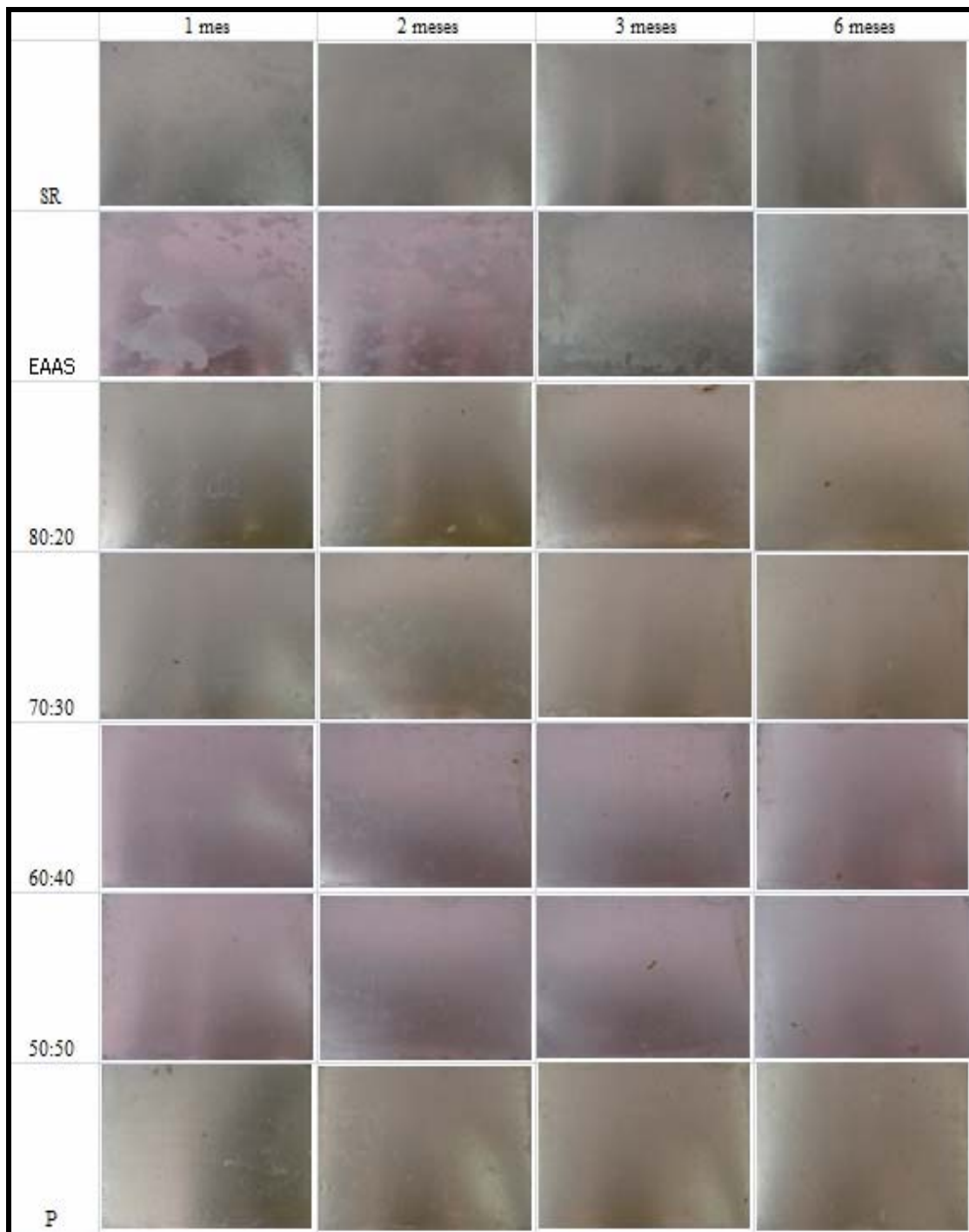


Figura 21: Fotografías de las probetas sin recubrir (SR), las probetas recubiertas solo con el extracto acuoso de *Aloe saponaria* (EAAS), recubiertas con solo la pintura (P) y las probetas recubiertas con las diferentes proporciones, después de expuestas durante los 6 meses de la experimentación.

Comparación entre las probetas recubiertas con solo los extractos (*Aloe vera* y *Aloe saponaria*) y las probetas sin recubrir

Al comparar este conjunto de probetas se percibe que el deterioro de las probetas recubiertas con el extracto *Aloe saponaria* (EAAS) es menor que en las probetas recubiertas con el extracto de *Aloe vera* (EAAV), sin embargo, el grado de ataque corrosivo es semejante al ocurrido en las probetas testigos (sin recubrir-SR). En la figura 22 se presenta el bloque de probetas examinadas.

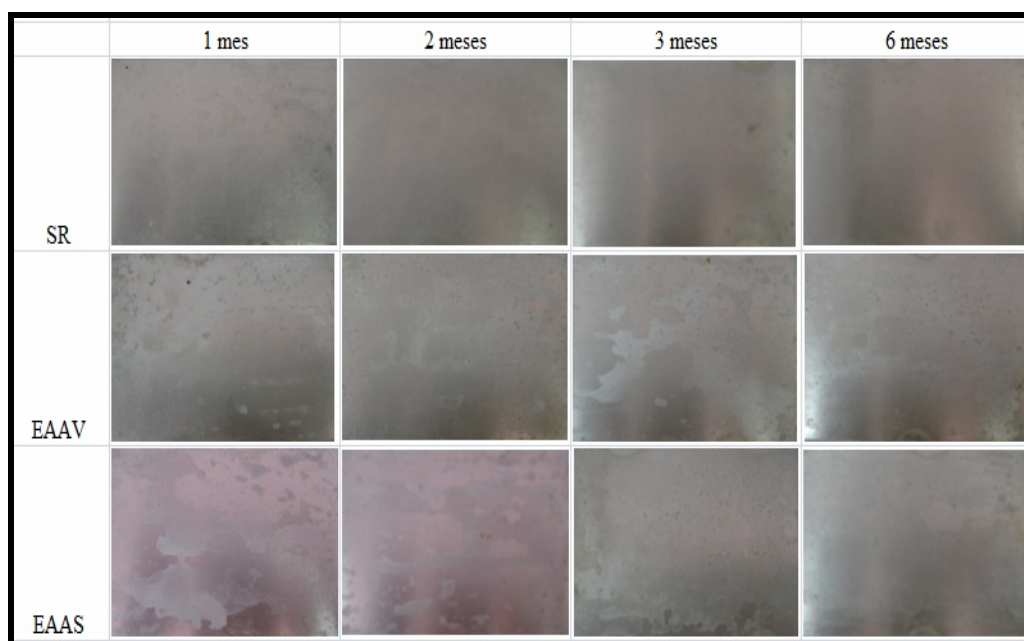


Figura 22: Fotografías de las probetas sin recubrir (SR), las probetas recubiertas solo con el extracto acuoso de *Aloe vera* (EAAV) y las probetas recubiertas solo con el extracto acuoso de *Aloe saponaria* (EAAS), después de expuestas durante los 6 meses de la experimentación.

Esta diferencia entre los extractos, pudiera ser debida a que los metabolitos se degradan al exponerlos directamente a la atmósfera marina, además el extracto de *Aloe vera* posee un mayor número de metabolitos que el extracto de *Aloe saponaria*, los cuales pueden actuar de manera antagónica y acelerar su proceso de degradación. Se puede inferir que,

posiblemente, ésta podría ser la causa del porque ambos recubrimientos no formaron una barrera protectora contra la corrosión.

Comparación de los recubrimientos base de pintura: extractos (*Aloe vera*, *Aloe saponaria*) con la pintura

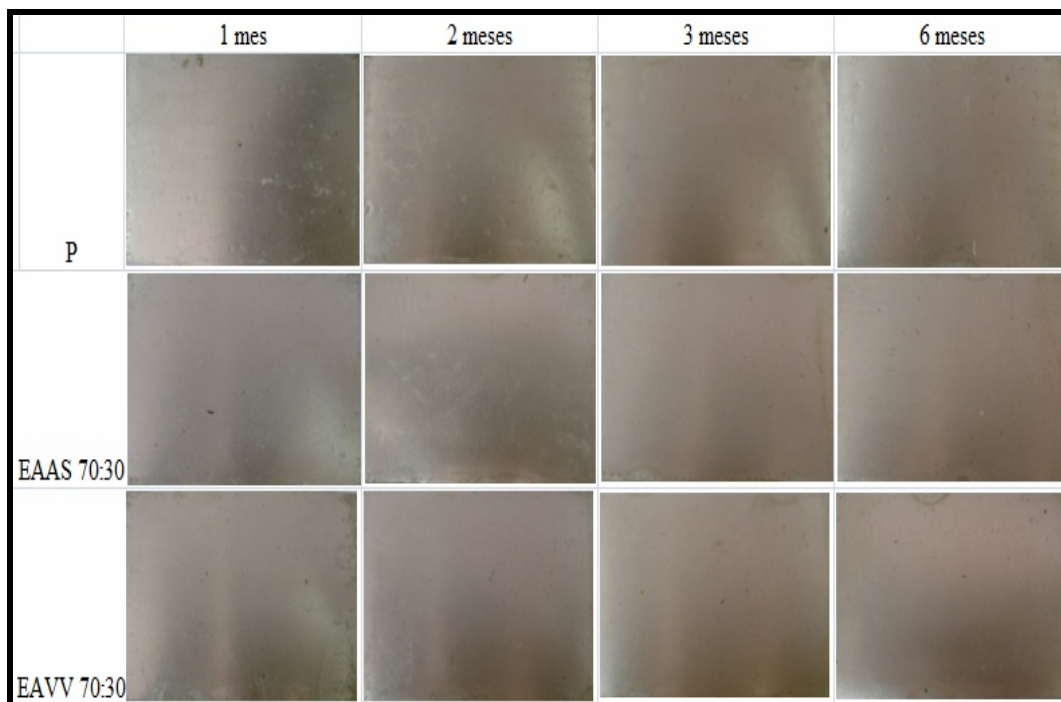


Figura 23: Fotografías de las probetas recubiertas con solo la pintura (P), las probetas recubiertas solo con el extracto acuoso de *Aloe saponaria* (EAAS) en la proporción 70:30, y las probetas recubiertas solo con el extracto acuoso de *Aloe vera* (EAAV) en la proporción 70:30, después de expuestas durante los 6 meses de la experimentación.

En la figura 23, se presenta el bloque de probetas examinadas. En términos generales, las probetas recubiertas con la mezcla base: extracto (tanto de *Aloe vera* como de *Aloe saponaria*) en todas las proporciones estudiadas, perciben un mejor aspecto y mejor adherencia en comparación con el recubrimiento de la base de pintura sola. Es decir, en este caso los extractos parecieran no degradarse al incorporarlos en la base de pintura, ni con las condiciones climáticas de temperatura y salinidad del medio, donde se encuentran expuestas las probetas, más bien refuerzan la base dándole más resistencia en

cuanto adherencia y acabado superficial, ya que no permiten la formación de ampollamientos.

### **Análisis por Microscopía Óptica (MO)**

En la figura 24 se presenta un grupo de micrografías ópticas, tomadas a magnificaciones de 100X, 200X y 500X, en las que se resalta el grado de ataque corrosivo ocurrido en las probetas sin recubrir (SR) y en las probetas recubiertas con solo los extractos. Debido a la naturaleza autocatalítica de la corrosión por picadura, las picaduras más cercanas se van uniendo poco a poco y forman extensos y profundos agujeros en diferentes partes de la superficie del metal. Debe señalarse que el deterioro por picadura se evidenció desde el primer mes de exposición al ambiente marino.

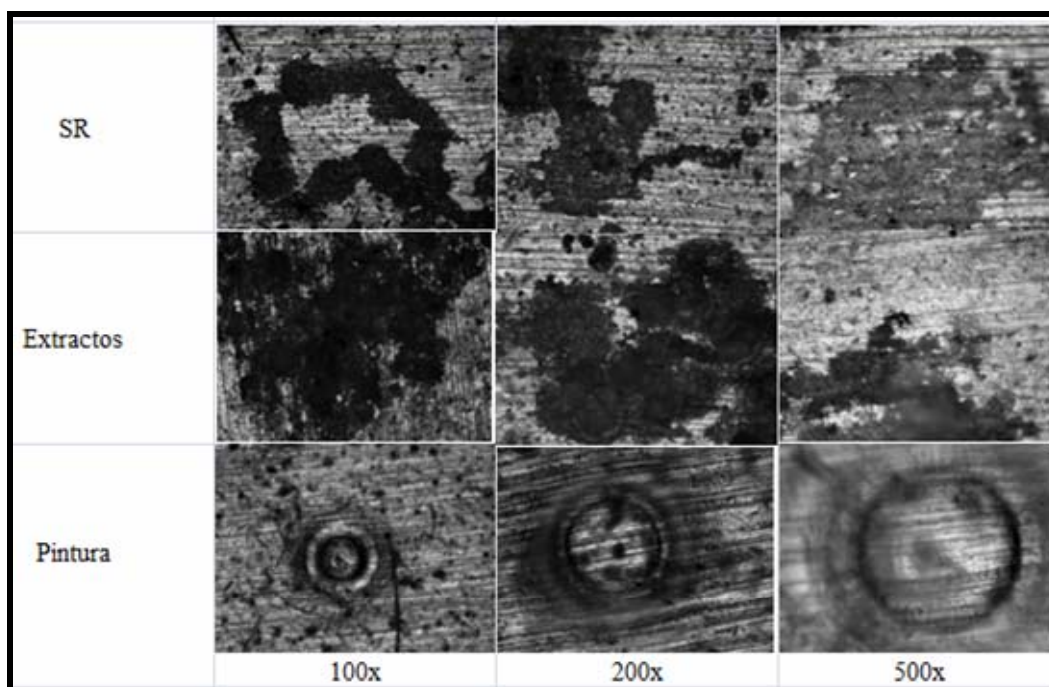


Figura 24: Características típicas observadas en las superficies expuestas al medio corrosivo a través del microscopio óptico.

Por otro lado, la no continuidad observada en los recubrimientos con solo los extractos favorece el ataque por picadura en los sitios cercanos a las discontinuidades, ya que se

crean zonas con mayores niveles de cloruros o zonas más catódicas que agudizan el proceso de corrosión.

Por su parte, en las micrografías tomadas a diferentes magnificaciones correspondientes al recubrimiento con solo la pintura, se detallan las características morfológicas de las ampollas que se forman en el recubrimiento, como resultado de la acción del medio ambiente.

En la figura 25, se presenta una secuencia de imágenes, en las que se detalla el hundimiento y el deterioro local alrededor de las ampollas. Los puntos negros que se observan corresponden a partículas de polvo incrustadas en el recubrimiento, como se discutirá en la sección de microscopía electrónica de barrido.

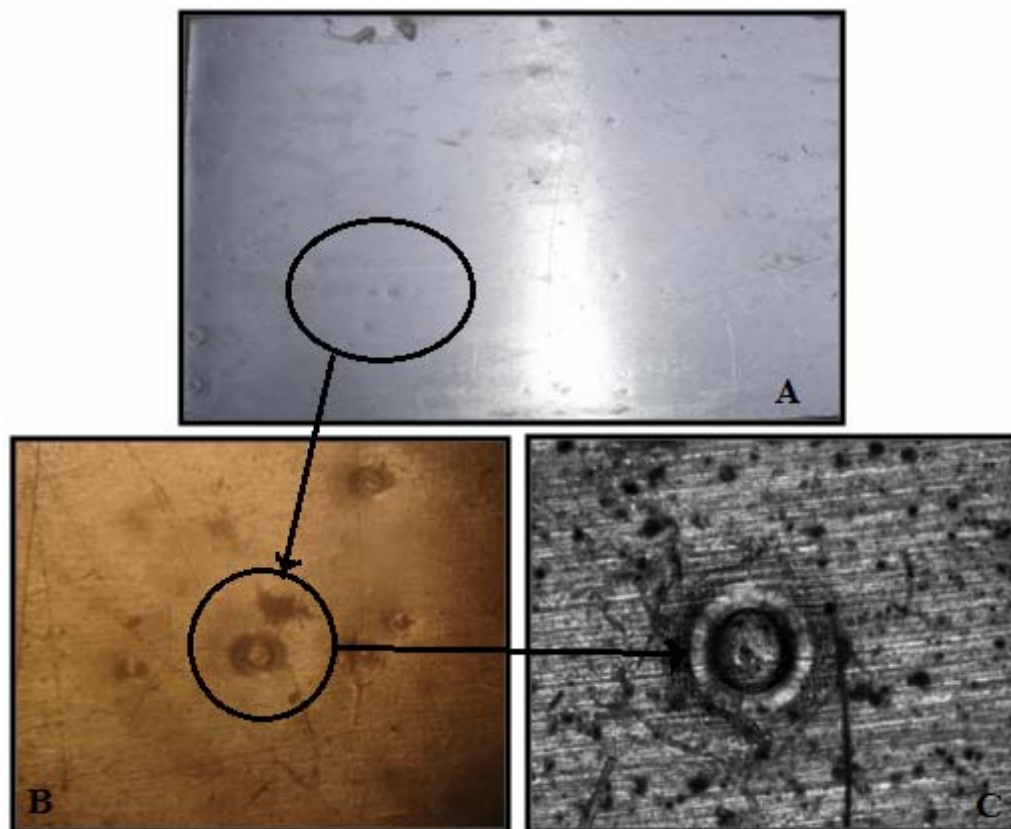


Figura 25. Secuencia de imágenes del recubrimiento con solo la pintura. A) cámara fotográfica B) microscopio metalográfico a 10X C) microscopio óptico a 100X



Un análisis semejante se realizó para las probetas recubiertas con base: extracto, tomándose como ejemplo el recubrimiento de *Aloe saponaria* 70:30 y que se presenta en la figura 26. Se ha de recalcar que los recubrimientos base: extractos no presentaron ampollamiento. En esta figura se destaca una zona de acumulaciones de restos de polvo característicos de la localidad. La micrografía óptica tomada a 100X detalla parte de la huella dejada por la humedad y pequeñas partículas de polvo incrustadas en el recubrimiento.

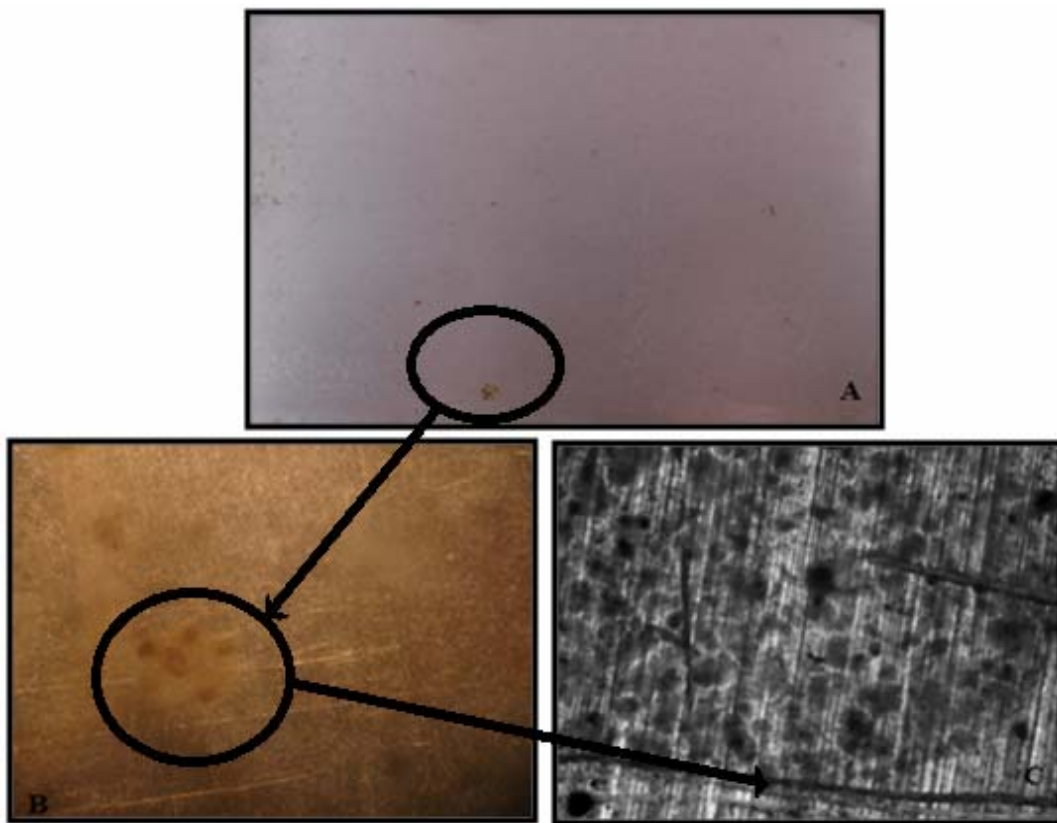


Figura 26. Secuencia de imágenes del recubrimiento de pintura: extracto *Aloe saponaria* 70:30. A) cámara fotográfica B) microscopio metalográfico a 10X C) microscopio óptico a 100X

### **Análisis por MEB**

Esta técnica de análisis permite obtener mayor detalle de la superficie de las probetas debido a su alta resolución. En la figura 27, se presentan micrografías electrónicas de

barrido (MEB) de la superficie de las probetas sin recubrir, en las que se evidencian formación de productos de corrosión (figura 27 A-B) y formación de picaduras asociadas con partículas intermetálicas propias del material como se observa en la figura C, que fue obtenida luego de realizar un decapado con ácido nítrico para remover los productos de corrosión.

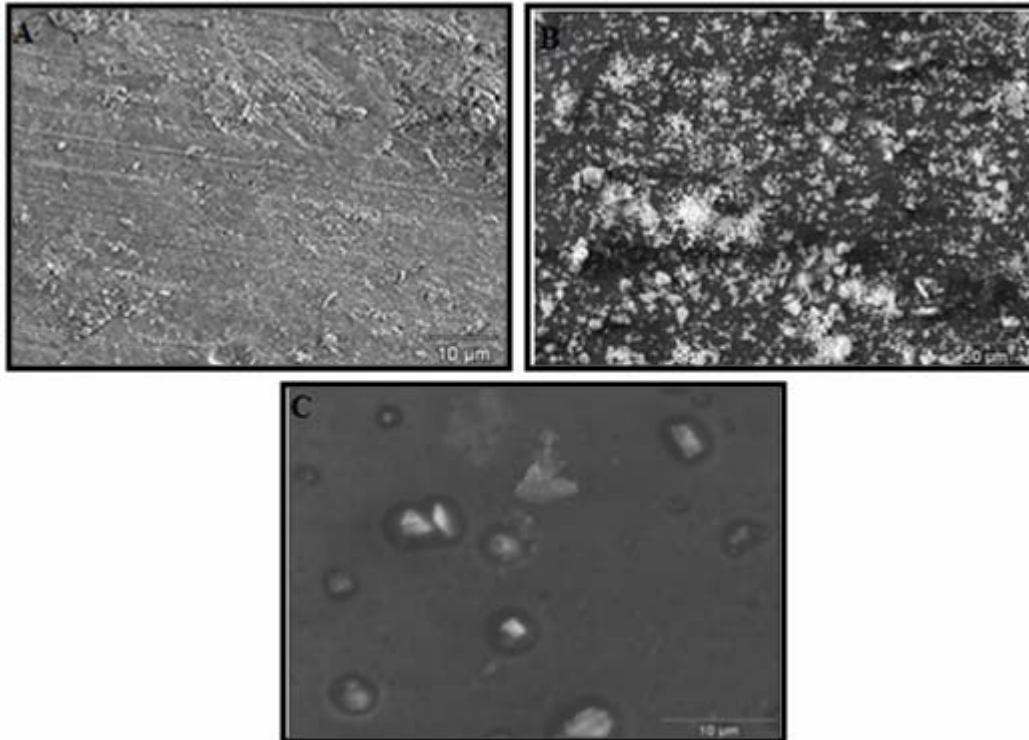


Figura 27. Micrografías tomadas por MEB de probetas sin recubrir. A) panorama de la superficie, B) detalle de los productos de corrosión y C) picaduras asociadas con partículas de segunda fase propias de la aleación de aluminio 300.

En la figura 28 se presenta el espectro de EDS y en la tabla 12 la composición porcentual semicuantitativa en peso realizado en la superficie que se presenta en la figura 27A.

Los elementos C, O, Na, Mg, P, Cl, K y Ca están presentes en la atmósfera salina mientras que los elementos Al, Si, Fe, Mn son los componentes principales de la



aleación de aluminio 3003 en estudio. El porcentaje de silicio es contribución del metal y del material particulado del aerosol atmosférico.

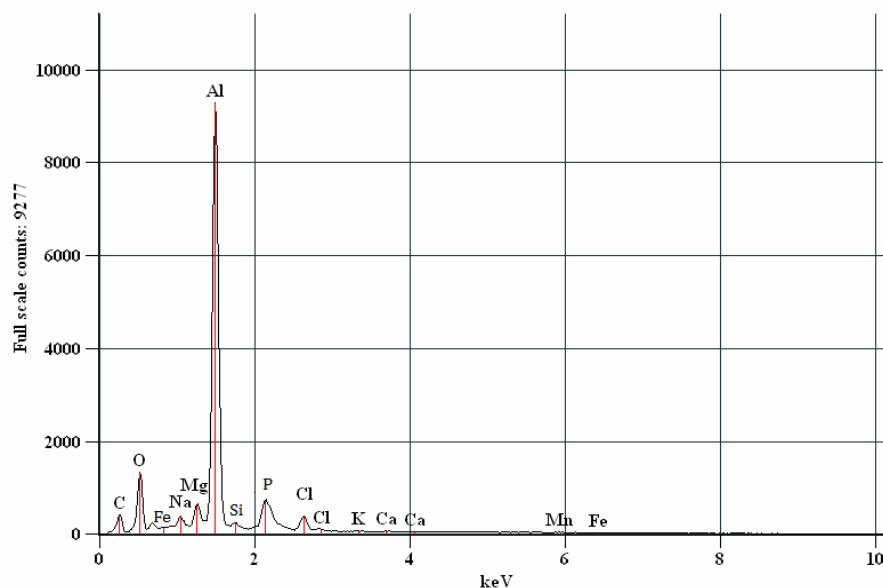


Figura 28. Espectro de EDS de la superficie de la probeta sin recubrir

Tabla 12. Composición porcentual semicuantitativa en peso de la superficie de la probeta sin recubrir

Elemento	Porcentaje en peso
C	18,31
O	13,52
Na	1,36
Mg	2,47
Al	54,82
Si	1,26
P	0,45
Cl	4,49
K	0,26
Ca	0,45
Mn	1,15
Fe	1,46

La figura 29, para las micrografías de las probetas del extracto de *Aloe saponaria*, detalla la no continuidad del recubrimiento donde las zonas oscuras corresponden al

material y las zonas más claras pertenecen al recubrimiento. Los límites entre estas zonas evidencian el poco espesor del recubrimiento, lo que pone de manifiesto su fragilidad a pesar de que se impartieron cuatro capas en cada una de las probetas. Se observan picaduras en ambas zonas y el alto deterioro del recubrimiento por los agentes ambientales.

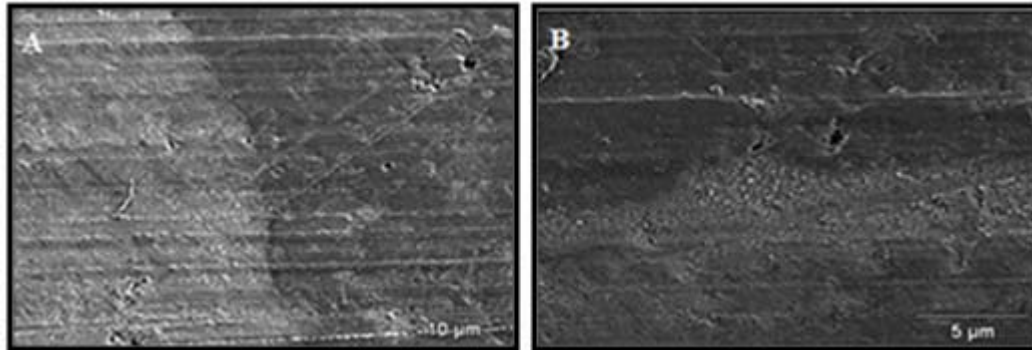


Figura 29. Micrografías por MEB de la superficie metálica recubierta con extracto de *Aloe saponaria*. A) 300X y B) 1000X

En la figura 30, se muestran micrografías correspondientes al recubrimiento con la base: extracto de *Aloe vera*, el cual presenta una apariencia más granular en comparación con el extracto de *Aloe saponaria*. Esto podría reforzar lo comentado anteriormente, referente a que el recubrimiento de *Aloe vera* se comporta de manera más permeable al aerosol salino.

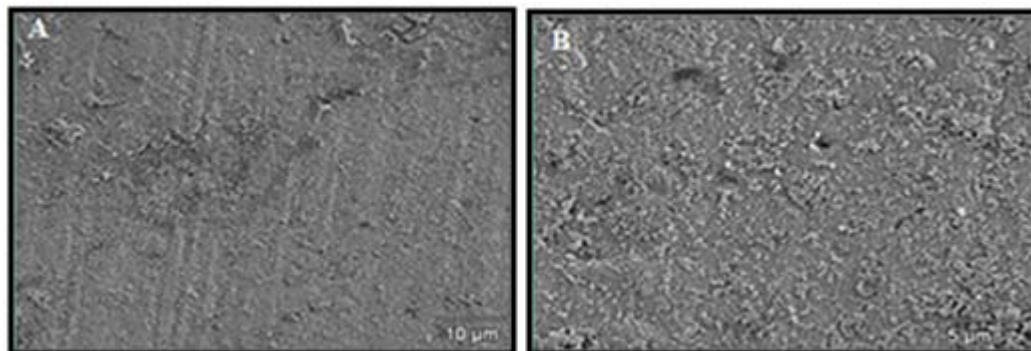


Figura 30. Micrografías por MEB de las probetas recubiertas con *Aloe vera* A) 300X B) 1000X

En la figura 31, se presentan micrografías de la superficie del recubrimiento base: extracto de *Aloe saponaria* 70:30, en las que se observan restos de polvo adheridos al recubrimiento, lo cual está relacionado con el hecho de que tanto el recubrimiento de la pintura sola como los recubrimientos base: extractos presentaron una consistencia pegajosa. A mayor magnificación se observa cúmulos de polvo de diferentes tamaños y debido a la velocidad del viento una gran mayoría de estas pequeñas partículas logran penetrar, fusionarse y formar parte del recubrimiento.

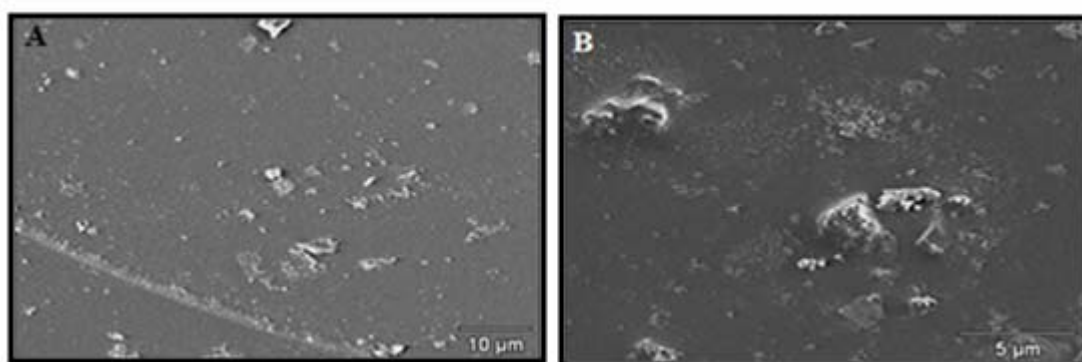


Figura 31. Micrografías por MEB de las probetas recubiertas con base: extracto *Aloe saponaria* 70:30. A) 300X B) 1000X

En la figura 32, se presenta el espectro EDS junto con la composición porcentual semicuantitativa en peso correspondiente al recubrimiento base: extracto *Aloe saponaria* 70:30. Debido al espesor de la película solo se detecta del metal el elemento Al, el resto de los elementos son debido al aerosol salino, excepto el Si que proviene del dióxido de silicio,  $\text{SiO}_2$  de las partículas de polvo suspendidas en la atmósfera, lo que confirma la alta cantidad de material inorgánico característico de la localidad adherido al recubrimiento. Un registro semejante de composición química se obtuvo para el recubrimiento base: extracto de *Aloe vera* 70:30.

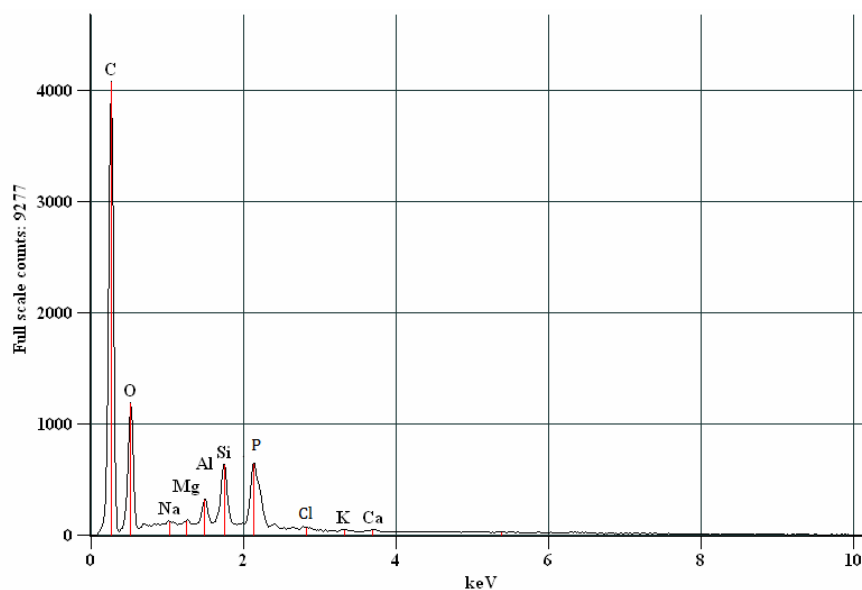


Figura 32. Espectro de EDS de la superficie de la probeta recubierta con base: extracto de *Aloe saponaria* 70:30.

Tabla 13. Composición porcentual semicuantitativa en peso de la superficie de la probeta recubierta con base: extracto de *Aloe saponaria* 70:30.

Elemento	Porcentaje en peso
C	73,70
O	16,08
Na	0,41
Mg	0,27
Al	1,37
Si	3,64
P	2,47
Cl	1,68
K	0,14
Ca	0,24

### Correlación de los resultados

La evaluación de las probetas expuestas sin recubrir confirmó la alta susceptibilidad de la aleación de aluminio 3003 al medio ambiente salino así como el importante rol de las partículas intermetálicas en la conformación de micropilas galvánicas durante el proceso

de corrosión de esta aleación en este medio, en el que el electrolito lo constituye las capas de humedad que mojan perceptiblemente el metal y que contiene los iones cloruros que promueven el proceso de corrosión por picadura.

Por su parte, los extractos de *Aloe vera* y *Aloe saponaria* obtenidos por el método acuoso y aplicados como recubrimientos directamente al material metálico no ofrecieron protección al sustrato de la corrosión localizada que se evidenció a lo largo de la superficie de las probetas. La intensidad de la corrosión fue bastante acelerada para el corto periodo de tiempo (seis meses) que duro la investigación. Comparando nuestros resultados con los reportados por Prato (43), que utilizando resina de *Aloe vera Barbadosensis* lograron un efecto inhibitor de la corrosión en experimentos de Voltametría líneal usando medios agresivos de HCl al 0,3% y NaCl al 3.5 % p/v y en la que la actividad inhibitor la atribuyeron a la presencia de antraquinonas, sin embargo en esta investigación se encontraron resultados contrarios ya que a pesar de que el extracto *Aloe vera* contiene grupos funcionales de antraquinonas no protegieron el material del medio atmosférico, debido posiblemente al modo como se realizó la extracción ya que, se utilizó una solución de buffer fosfato salino y, además, la concentración de las antraquinonas no fue suficiente para causar el efecto inhibitor. Sucede, además, que el extracto de *Aloe saponaria* presentó un comportamiento de mejor protección con respecto al extracto *Aloe vera*, como se planteó en secciones precedentes y en las que se evidencia que este extracto no posee antraquinonas. En efecto, no ocurrió un mecanismo de adsorción de los metabolitos en la superficie del metal, de manera que se lograra formar una barrera protectora contra los agentes agresivos de iones  $Cl^-$ , por lo que los efectos sinérgicos y antagónicos de los metabolitos pueden desempeñar un papel importante en la formación de una capa protectora, que ayude a inhibir las reacciones de corrosión que ocurren entre el ambiente salino y el material en estudio.

En cuanto a la propuesta de evaluar el comportamiento de recubrimientos de base de pintura, dosificados con diferentes proporciones de extractos orgánicos de plantas *Aloe*

*vera* y *Aloe saponaria* para la protección de probetas aluminio 3003 contra la corrosión, se puede plantear, desde una perspectiva general, que tanto las proporciones base: extracto (80:20, 70:30, 60:40, 50:50 (%v/v)) para el extracto EAAV como para el extracto EAAS presentaron efecto protector y más efectivo que el recubrimiento con solo la base de pintura.

En general, los recubrimientos dosificados se comportaron de manera similar en el sentido que no se observó degradación de la base de pintura por la presencia de los extractos orgánicos, ni cambios en consistencia, color y olor. Es decir, no se observó una diferencia significativa entre ellas, independientemente del tipo de metabolitos secundarios presentes en cada una de estas especies orgánicas. En cambio se evidenció mejoría en cuanto a la no formación de ampollas y mejor adherencia con respecto al recubrimiento con solo la base de pintura. A partir de estos resultados, se puede inferir que los extractos de *Aloe vera* y *Aloe saponaria* al mezclarse con la base de pintura industrial entran en la red de la pintura y pudieran estar actuando como aditivos anticorrosivos, ya que como se ha mencionado previamente, refuerzan la base haciéndola más resistente a las condiciones climáticas de temperatura y salinidad del medio salino donde fueron expuestas las probetas, por lo menos en estos seis meses de experimentación.

## CONCLUSIONES

En el análisis fitoquímico, resultó positiva la presencia de metabolitos como: alcaloides, saponinas, flavonoides, cumarinas y glicósidos cardiotónicos en ambos extractos; sin embargo, el extracto acuoso de *Aloe vera* mostró, adicionalmente, la presencia de antraquinonas.

Con el análisis cromatográfico, se corroboró para el extracto acuoso de *Aloe vera*, la presencia de antraquinonas y flavonoides como el 4-(3,4-dihidro-2,2,4-trimetil-2H-1-benzopirán-4-il)-fenol y 9,10-antracenediona; a diferencia del extracto acuoso de *Aloe saponaria* que obtuvo el 5-(hidroximetil)-2-furancarboxaldehído y ácido hexadecanoico.

La técnica de espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier, mostró que los recubrimientos base: extractos a las diferentes proporciones presentan los grupos funcionales de los metabolitos que se obtuvieron por análisis fitoquímico y por cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas, característicos de cada extracto.

A través de la inspección visual y de los análisis de microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido, se obtuvo que las probetas sin recubrir así como las probetas recubiertas con el extracto acuoso de *Aloe vera* y el extracto acuoso de *Aloe saponaria* presentaron corrosión por picaduras a lo largo de la superficie, con incremento significativo con el tiempo de exposición.

El recubrimiento con solo los extractos (*Aloe vera* y *Aloe saponaria*), no presentó continuidad en la superficie del metal y presentó un color blanquecino posiblemente debidas a las sales que conforman el Buffer Fosfato Salino.

El recubrimiento con solo la pintura exhibió ampolladuras y poca adherencia, a diferencia de las probetas recubiertas con las diferentes proporciones de EAAS y EAAV que se mantuvieron más firmes y no se formaron ampollas.

El análisis precedente lleva a considerar, que los extractos de *Aloe vera* y *Aloe saponaria* al mezclarse con la base de pintura industrial, pudieran estar mejorando sus características de adherencia, firmeza y uniformidad, ya que refuerzan la base haciéndola más resistente a las condiciones climáticas de temperatura y salinidad del medio salino donde fueron expuestas las probetas.



## **RECOMENDACIONES**

Utilizar otros métodos de extracción para con la finalidad de mejorar el comportamiento del extracto y la concentración de sus metabolitos secundarios.

Aislar los compuestos químicos de ambas especies que son considerados inhibidores de corrosión para que sea un poco más efectivo y menos engorroso el análisis de los mismos.

Tomar en cuenta la pluviosidad, cantidad de partículas de polvo y temperatura del ambiente donde se hace la experimentación a fin de relacionar estos factores con el comportamiento a la corrosión del material bajo estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

1. González, J. 2007. La pintura como inhibidor de corrosión de las estructuras metálicas. *Informes de la construcción*, 59:131-135.
2. Galván Martínez, R. 2007. Principios de corrosión. Curso. Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana. México.
3. Palacios Sangüesa, M. 2006. Características y ensayos de corrosión de pinturas modificadas con polímeros conductores. Escola Tècnica Superior de Enginyeria Industrial de Barcelona. España.
4. Álvarez, M. 2011. Evaluación de los recubrimientos orgánicos aplicados sobre el acero de estructuras y equipos del tren 1 de reactores de Orinoco irons.c.s. Trabajo de pregrado. Departamento de ingeniería metalúrgica. Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”. Puerto Ordaz. Bolívar.
5. Guilarte, J. 1994. Cinética de corrosión y pasivación del acero SIDOR (ARCO) en medio acuoso salino: correlación microestructural. Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente Núcleo de Sucre.
6. Barreras Carballo, J. 2004. Resistencia a la corrosión de la aleación de aluminio a361 recubierta por sol-gel. Trabajo de pregrado. Departamento de química. Universidad Rey Juan Carlos. Madrid. España.
7. Paredes D, S; Hidalgo P, B; Avila G, R y Briceño, M. 2008. Estudio por interferometría y microscopía electrónica de barrido de la corrosión en una aleación comercial de aluminio en ambiente salino. *Interciencia*, 33 (7): 537-541.
8. Matta Z, M. 2009. Caracterizan defectos superficiales de aleación comercial de aluminio. *Reportajes 4* (5): 36.
9. Ojeda, E y Hing, R. 2006. Estudio de inhibidores ecológicos y naturales. *Tecnología química*, 26(3):48-58
10. Pannoni, F. 2006. Protección: La prevención de la corrosión en estructuras metálicas. *Tecnología*, 496:16-25.
11. Rodríguez, M. 2004. Formulación y evaluación de imprimaciones epoxis anticorrosivos, curables a temperatura ambiente. Trabajo de postgrado doctora en ciencias químicas. Departamento de tecnología y departamento de ciencias experimentales. Universidad Jaume I de Castellón, España.
12. Larrañaga, E y Orinazabal F. 2001. Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones: pintado industrial. IHOBÉ, S.A. Gobierno vasco.
13. Molera, P. 1989. Recubrimiento de los metales. *Colección productiva*, 33:25-38.
14. Morcillo, M. 1984. Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión. Ediciones Bellaterra, S.A. Madrid, España.
15. Avalos, T y Chalé, F. 2006. Adsorción de Moléculas en Superficies. Centro de Ciencias de la Materia Condensada. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
16. Rosales, A y Cardozo, J. 2003. Indicadores de la corrosión y aplicación al estudio de inhibidores. Laboratorio de estabilidad de materiales MT 2383. Departamento de Ciencia de los Materiales. Universidad Simón Bolívar, Caracas.

17. Bustamante, K y Reyes, A. 2006. Una metodología para el estudio del *Aloe vera*. Agente inhibidor de la corrosión. *Revista de educación Laurus*, 12 (022): 224-240.
18. Reynolds, T. 2004. *Aloes, the genus Aloe*. Ediciones CRC Press. Florida, E.E.U.U.
19. Serrano, R. 2006. Evaluación de Aloe-resina como inhibidor de corrosión sobre el acero J-55 en presencia de CO<sub>2</sub> en medio ambiente salino. Trabajo de pregrado. Escuela de Ingeniería de Petróleo. Universidad de Oriente Núcleo Monagas.
20. Abiola, O y James, A. 2010. The effects of *Aloe vera* extract on corrosion and kinetics of corrosion process of zinc in HCl solution. *Corrosion Science*, 52:661-664.
21. Prato, M.; Ávila, R.; Donquis, C.; Medina, E y Reyes, R. 2008. Antraquinonas en *Aloe vera Barbadosensis* de zonas semiáridas de Falcón, Venezuela, como inhibidores de la corrosión. *Ciencias biológicas*, 8 (2):148–154.
22. Karthikaiselvi, R.; Subhashini, S y Rajalakshmi, R. 2009. Biodegradable green inhibitor (*Myristica frangans*) as a corrosion inhibitor of mild steel in 1mol/l HCL. *The Journal of Corrosion Science and Engineering*, 12 (33):1-13.
23. Oguzie, E. 2008. Evaluation of the inhibitive effect of some plant extracts on the acid corrosion of mild steel. *Corrosion Science*, 50:2993–2998.
24. Obot, I y Obi-Egbedi, N. 2009. Ginseng root: a new efficient and effective eco-friendly corrosion inhibitor for aluminium alloy of type AA 1060 in hydrochloric acid solution. *International Journal of electrochemical science*, 4:1277-1288.
25. Fariñas, M. y Liñeros, I. 1997. Producción de hemólisis y hemaglutinación por extractos acuosos de invertebrados marinos. *Saber*, 9 (2): 56-61.
26. D' Armas, H.; Bermúdez, D. y Caserta, A. 2004. Bioactividad de algunos octocorales de aguas venezolanas. *Saber*, 16(1):19-25.
27. Marcano, D. y Hasegawa, M. 2002. Fitoquímica orgánica. Segunda edición. Consejo de desarrollo científico y humanístico. Universidad Central de Venezuela.
28. Domínguez, X. 1973. Métodos de investigación fitoquímica. Editorial Limusa. México.
29. ASTM G50-76, “Standard test method for evaluating degree of rusting on painted steel surfaces”.
30. ASTM G1, “Practica estándar para la preparación, limpieza y evaluación de los Especímenes de la prueba de corrosión”
31. COVENIN 0472-93. “Pinturas y barnices. Determinación de la brochabilidad y apariencia de la película”.
32. ASTM D1640-03, “Standard Test Methods for Drying, Curing, or Film Formation of Organic Coatings at Room Temperature”.
33. Skoog, D.; Holler, J. y Nieman, T. 2001. Principios de análisis instrumental. Quinta edición. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A. Madrid.
34. Bustamante, J. y Carrascal, L. 2010. Estandarización de la técnica espectrofotométrica (uv-vis) para la cuantificación de antraquinonas presentes en productos a base de *aloe vera*. Trabajo de pregrado. Facultad de tecnología. Escuela de química universidad tecnológica de Pereira. Colombia.
35. Bustamante, K. 2008. Análisis de la resina de aloe vera en polvo: “Una alternativa en la inhibición de la corrosión”. *Saber*, 20 (1): 79-86.

36. Tenorio, F.; Mondragón, L. y Hernández, G. 2006. Los flavonoides y el sistema cardiovascular: ¿Pueden ser una alternativa terapéutica? *Arch. Cardiol. Méx.* 76 (4): 33-45.
37. Millán, C. 1996. Estudio de la naturaleza química de sustancias con propiedades antimicrobianas y/o fototóxicas, extraídas a partir de Aloe vera (Linneo, 1758). Trabajo de pregrado. Departamento de Bioanálisis. Universidad de oriente. Núcleo de sucre. Cumaná. Sucre.
38. Medina, D. 2012. Implementación de una metodología para la obtención de marcadores de frutos de *Physalis peruviana L.*, y evaluación de actividad hipoglicemiante. Trabajo de postgrado Magister en Ciencias Farmacéuticas. Departamento de Farmacia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
39. Espinoza, B. 2010. Análisis fitoquímico y bioactividad de la planta *melochia tomentosa* (sterculiaceae). Trabajo de pregrado. Departamento de química. Universidad de oriente. Núcleo de sucre. Cumaná. Sucre.
40. Salazar, C. 2012. Metabolitos secundarios presentes en la planta *waltheria berteroi* (sterculiaceae) colectada en el estado amazonas (venezuela) y su actividad antimicrobiana y letal. Trabajo de pregrado. Departamento de química. Universidad de oriente. Núcleo de sucre. Cumaná. Sucre.
41. Imery, J. y Cequea, H. 2007. Efecto de la radiación solar sobre la estabilidad cariológica de *Aloe vera* (L.) Burm. f. (Aloaceae). *Acta científica venezolana*, 58 (1): 265
42. [Schiestl, R.](#) 2009. "Nanoparticles Found in Common Household Items Caused Genetic Damage in Mice". Centro Jonsson Comprehensive Cancer de la UCLA (EEUU). "Salud". <<http://www.cancer.ucla.edu/index.aspx?recordid=298&page=644>> (24/09/2012).
43. Prato, M. y González, A. 1993. Resina-Aloe y su posible uso como inhibidor de corrosión del acero. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, 16 (1): 59-62.

APÉNDICES  
APÉNDICE A

CROMATOGRAFÍA DE GASES ACOPLADO A UN ESPECTRÓMETRO DE MASAS

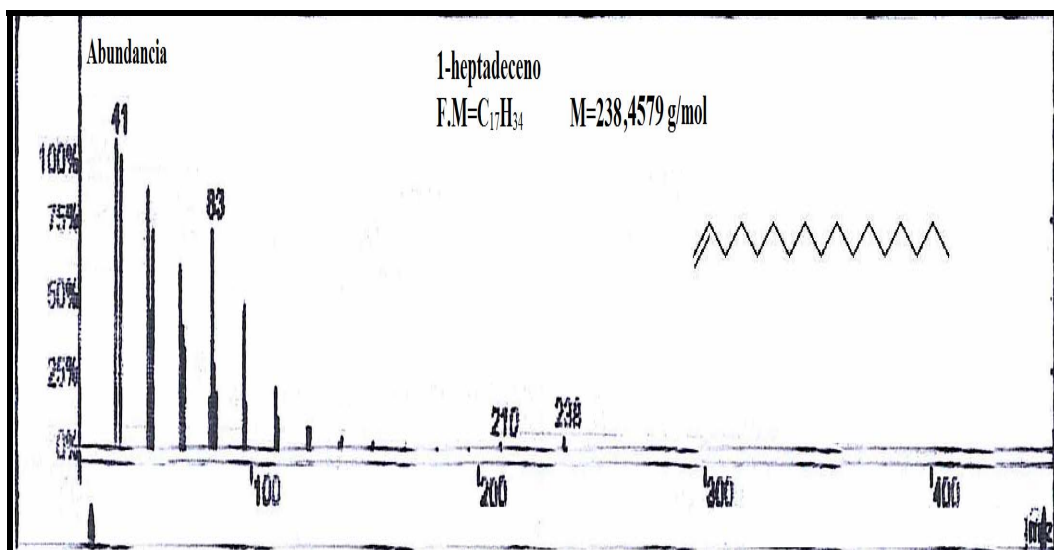


Figura AV-1. Espectro de masas del 1-heptadeceno presente en el EAAV

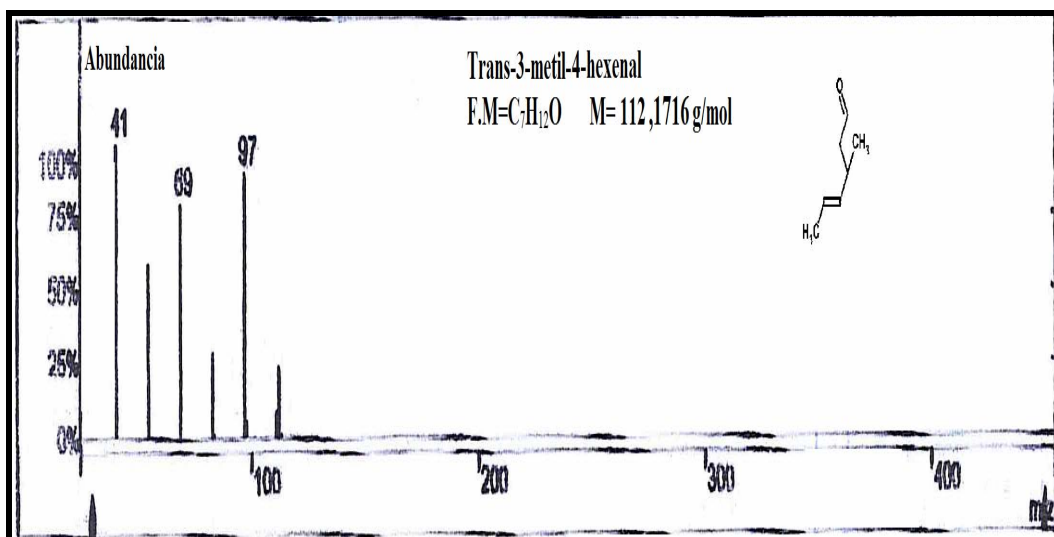


Figura AV-2. Espectro de masas del trans-3-metil-4-hexenal del EAAV

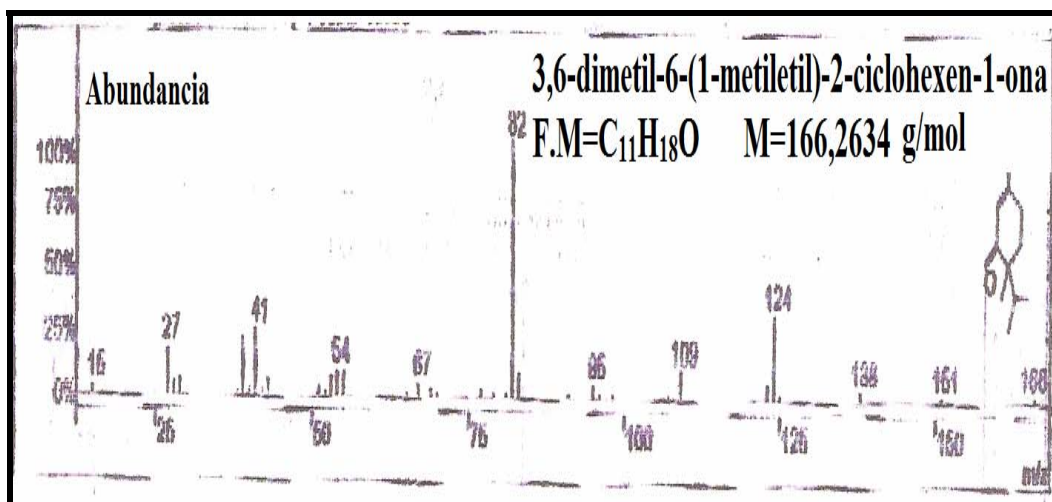


Figura AV-3. Espectro de masas del 3,6-dimetil-6-(1-metiletil)-2-ciclohexen-1-ona del EAAV

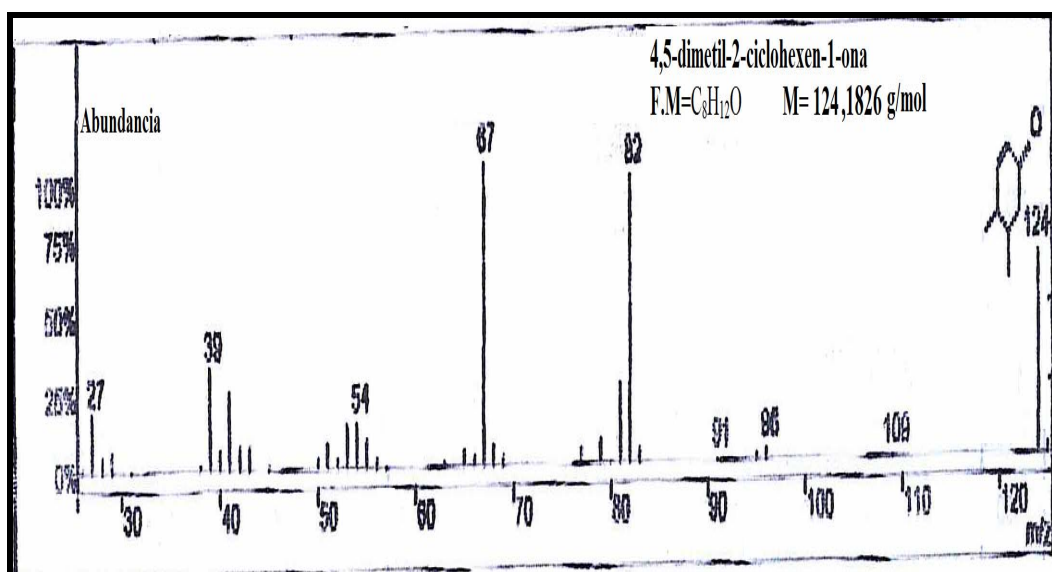


Figura AV-4. Espectro de masas del 4,5-dimetil-2-ciclohexen-1-ona del EAAV

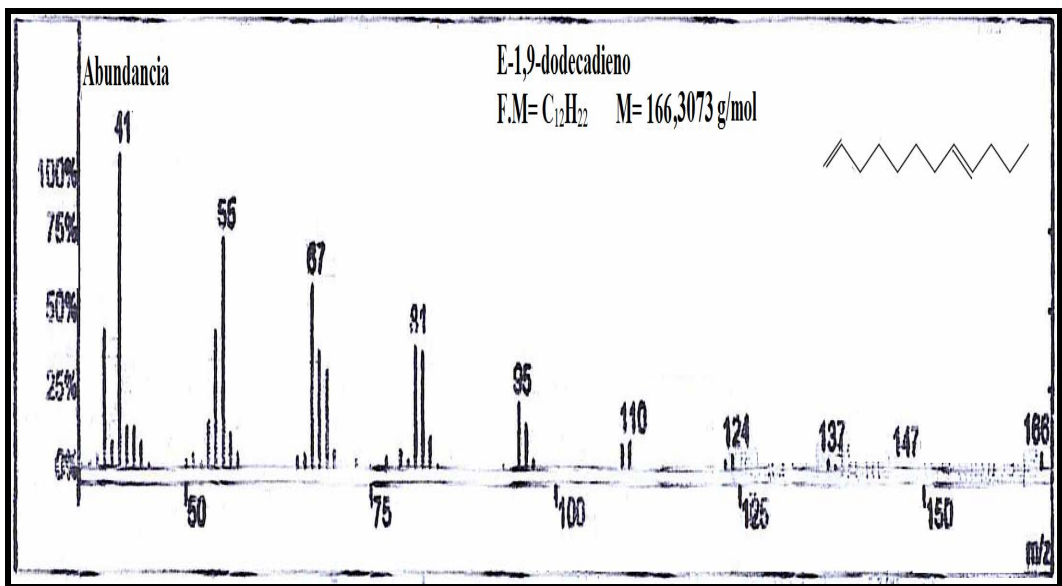


Figura AV-5. Espectro de masas del E-1,9-dodecadieno del EAAV

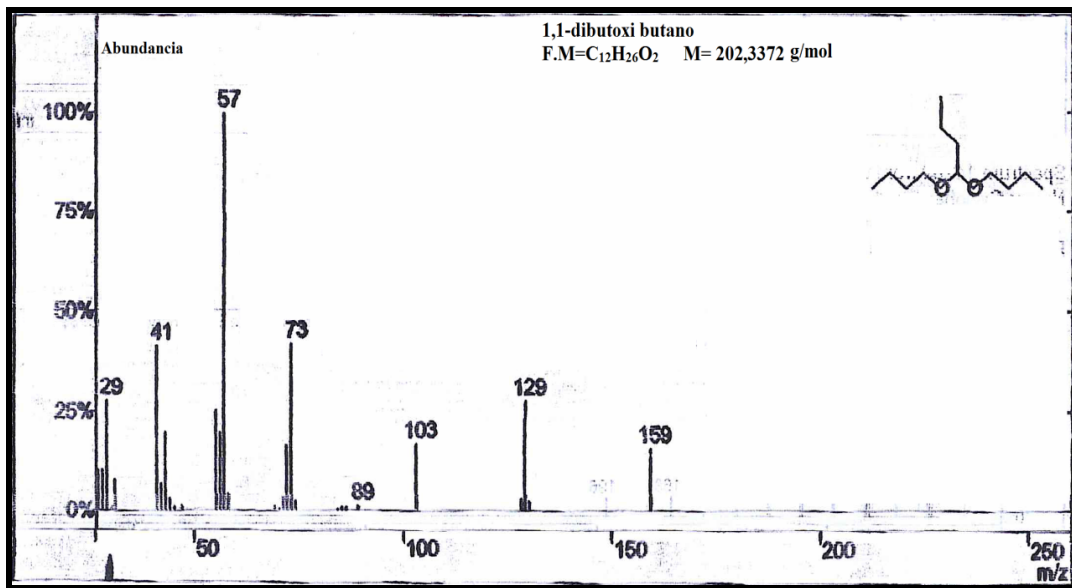


Figura AV-6. Espectro de masas del 1,1-dibutoxi butano del EAAV

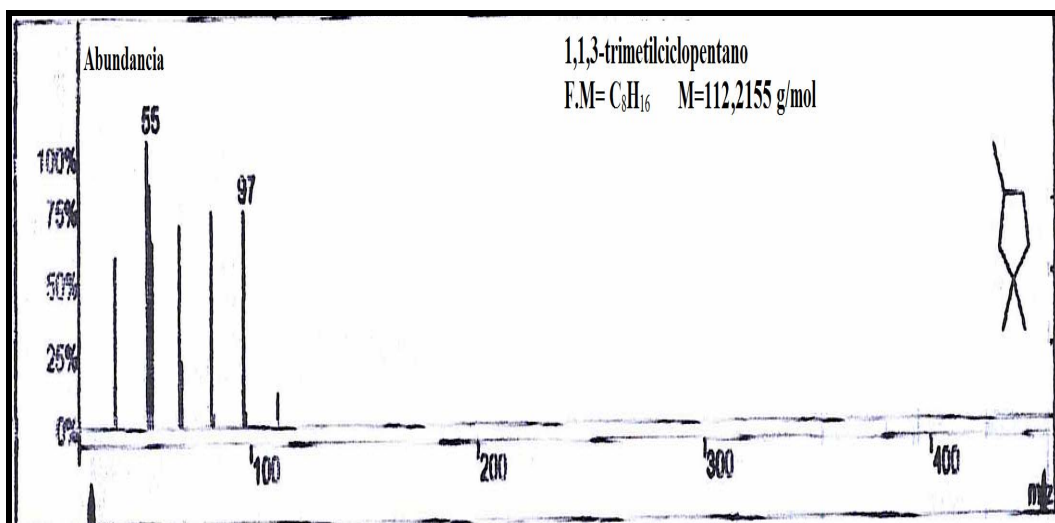


Figura AV-7. Espectro de masas del 1,1,3-trimetilpentano del EAAV

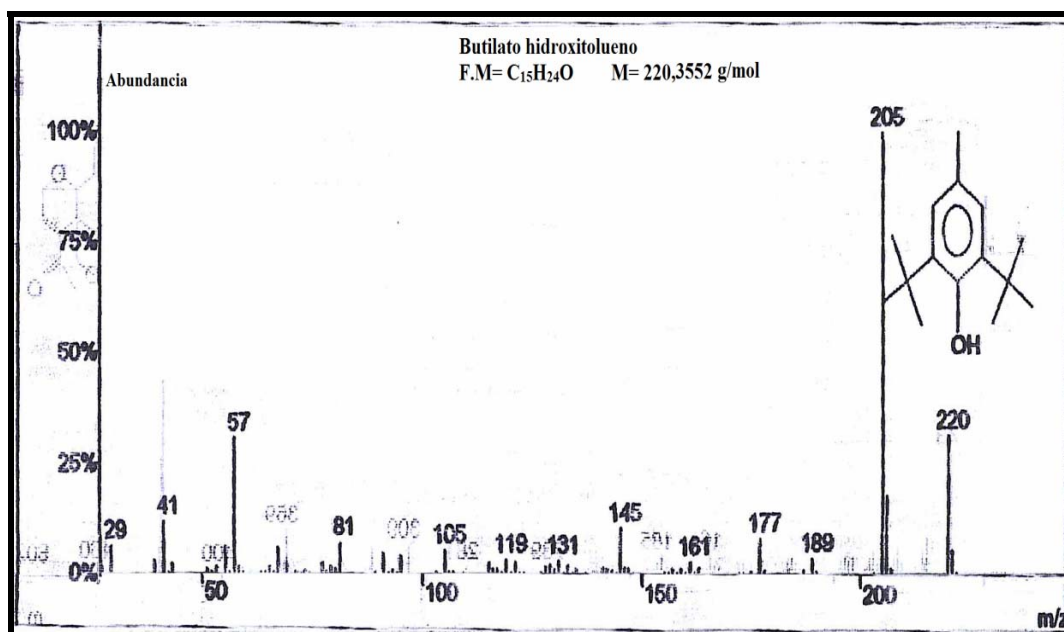


Figura AV-8. Espectro de masas del butilatohidroxitolueno del EAAV



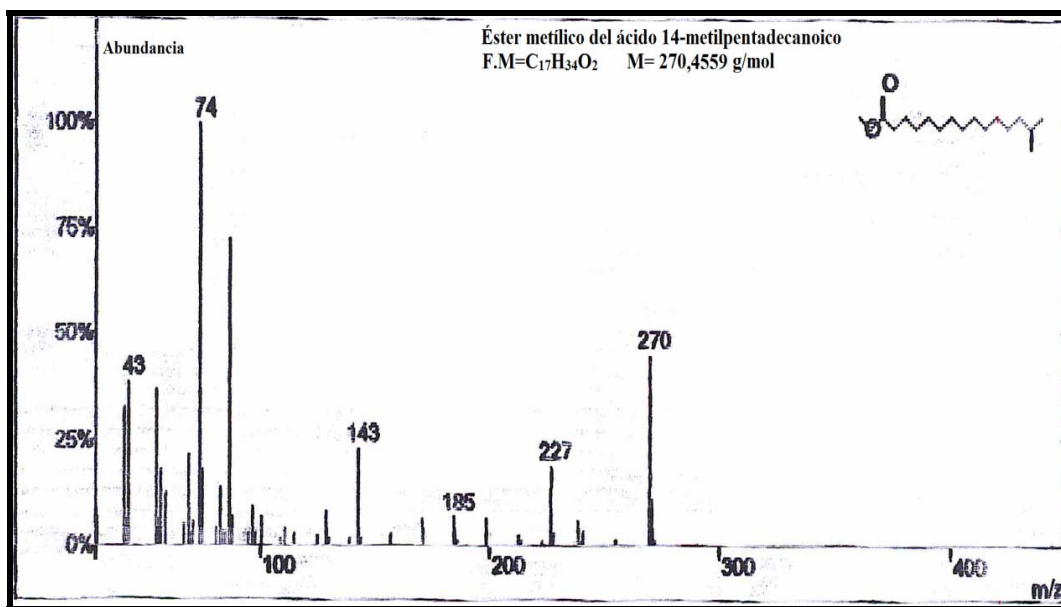


Figura AV-9. Espectro de masas del éster metílico del ácido 14-metilpentadecanoico del EAAV

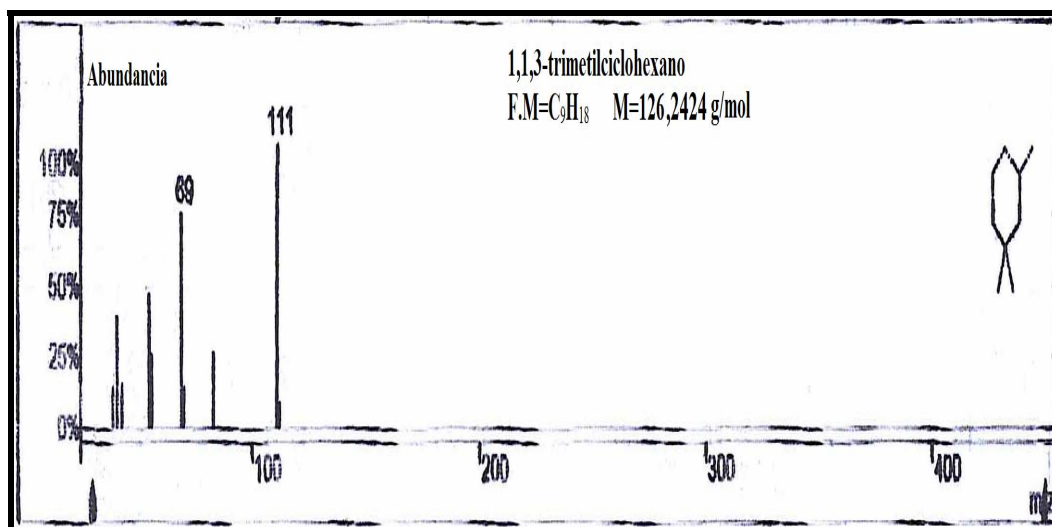


Figura AV-10. Espectro de masas del 1,1,3-trimetilciclohexano del EAAV

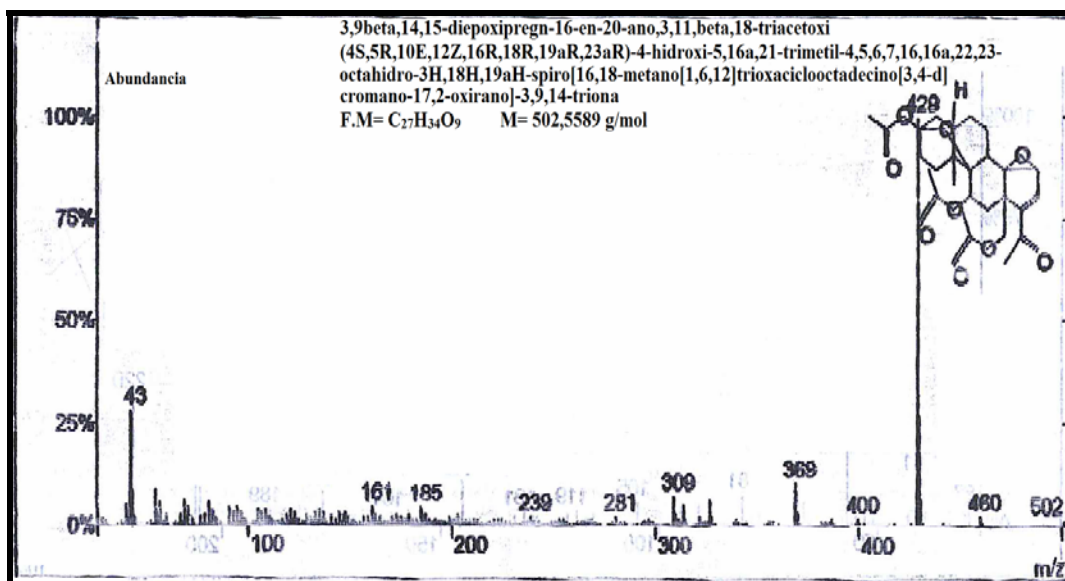


Figura AV-11. Espectro de masas del 3,9beta,14,15-diepoxipregn-16-en-20-ano,3,11,beta,18-triacetoxi(4S,5R,10E,12Z,16R,18R,19aR,23aR)-4-hidroxi-5,16a,21-trimetil-4,5,6,7,16,16<sup>a</sup>,22,23-octahidro-3H,18H,19aH-spiro[16,18-metano[1,6,12]trioxaciclooctadecino[3,4-d]cromano-17,2-oxirano]-3,9,14-trionadel EAAV

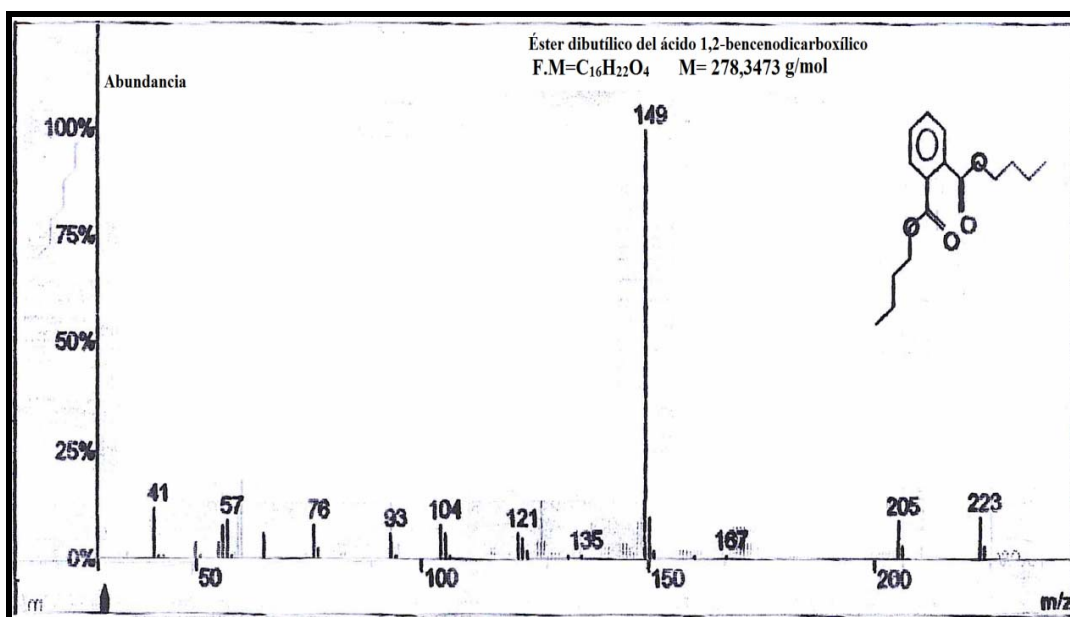


Figura AV-12. Espectro de masas del éster dibutilílico del ácido 1,2-benzenodicarboxílico del EAAV

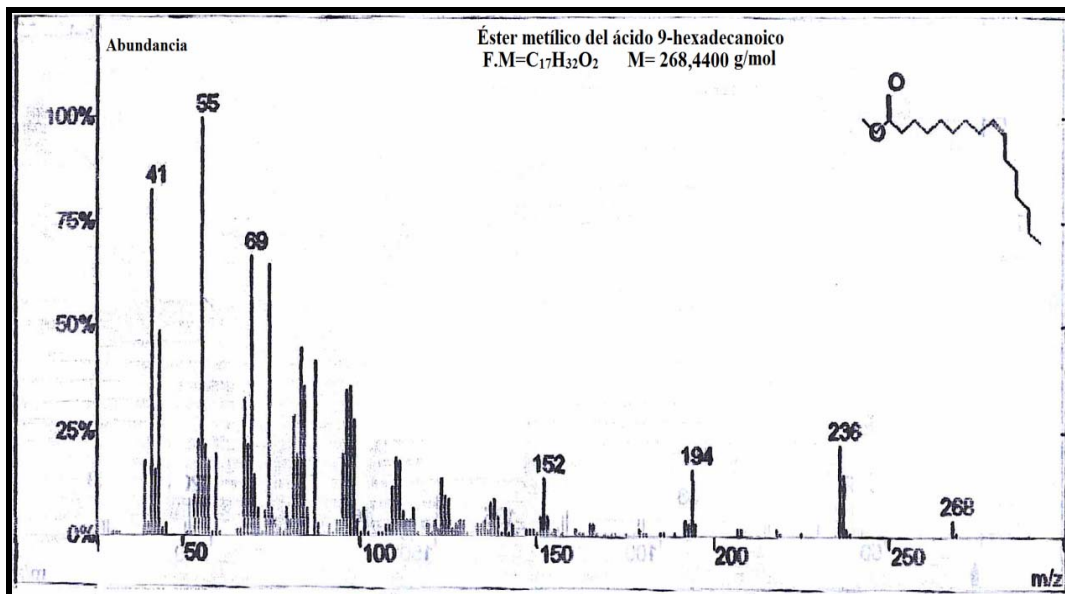


Figura AV-13. Espectro de masas del éster metílico del ácido 9-hexadecanoico del EAAV

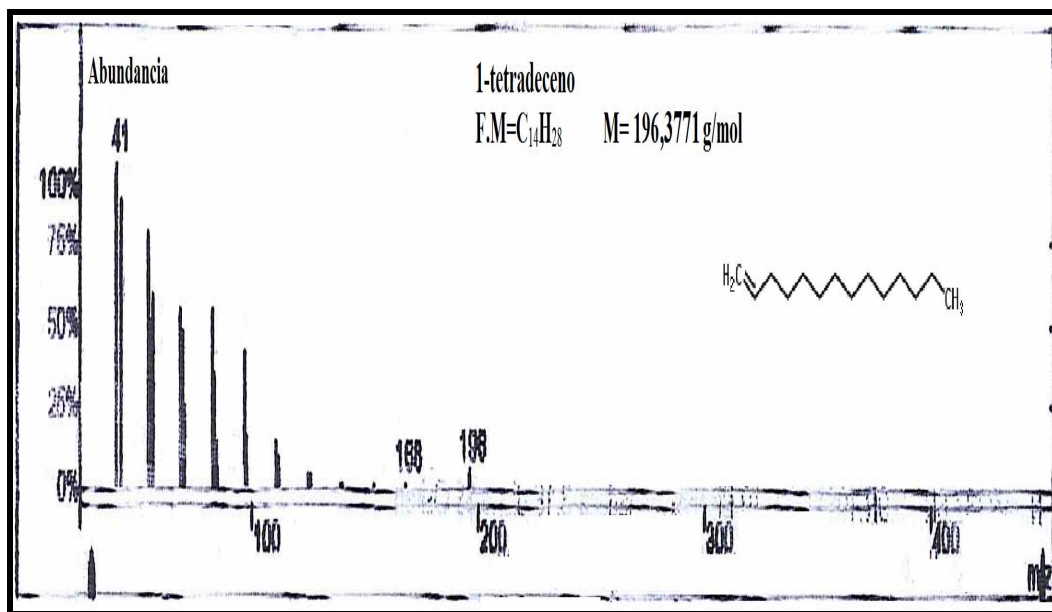


Figura AV-14. Espectro de masas del 1-tetradeceno del EAAV

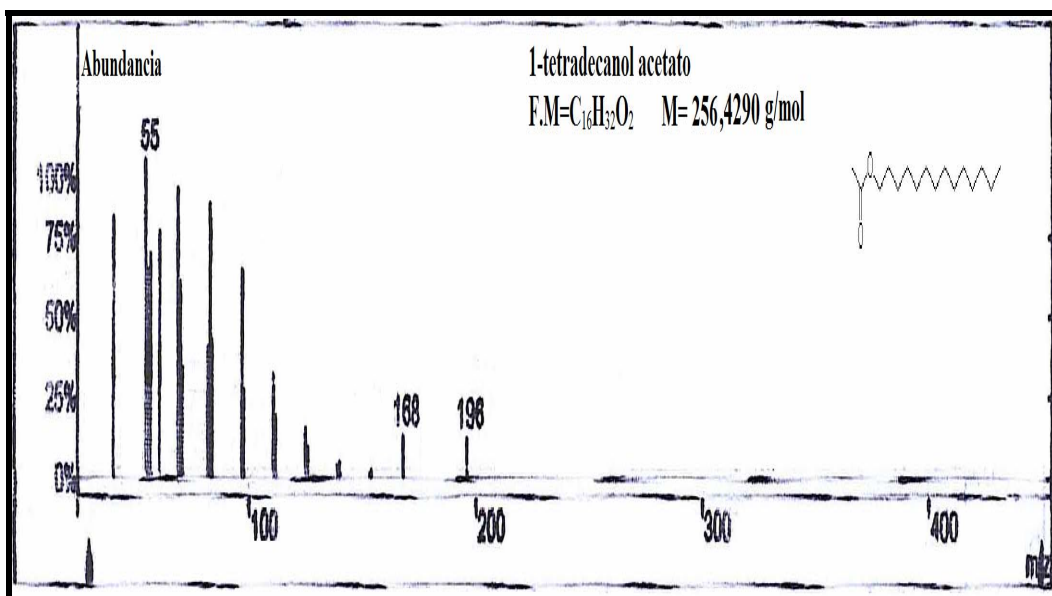


Figura AV-15. Espectro de masas del 1-tetradecanol acetato del EAAV

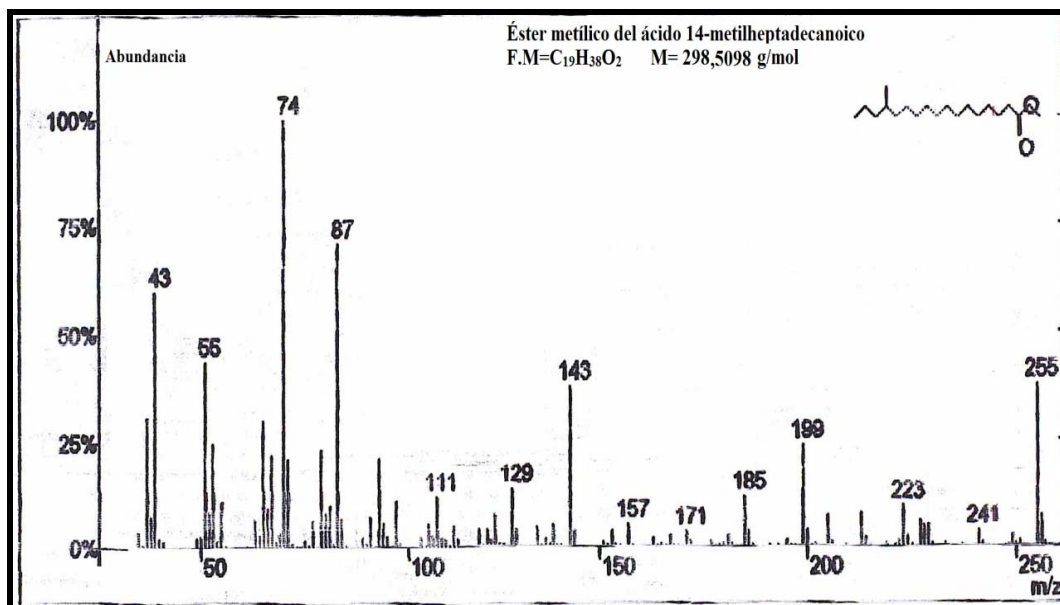


Figura AV-16. Espectro de masas del éster metílico del ácido 14-metilheptadecanoico del EAAV

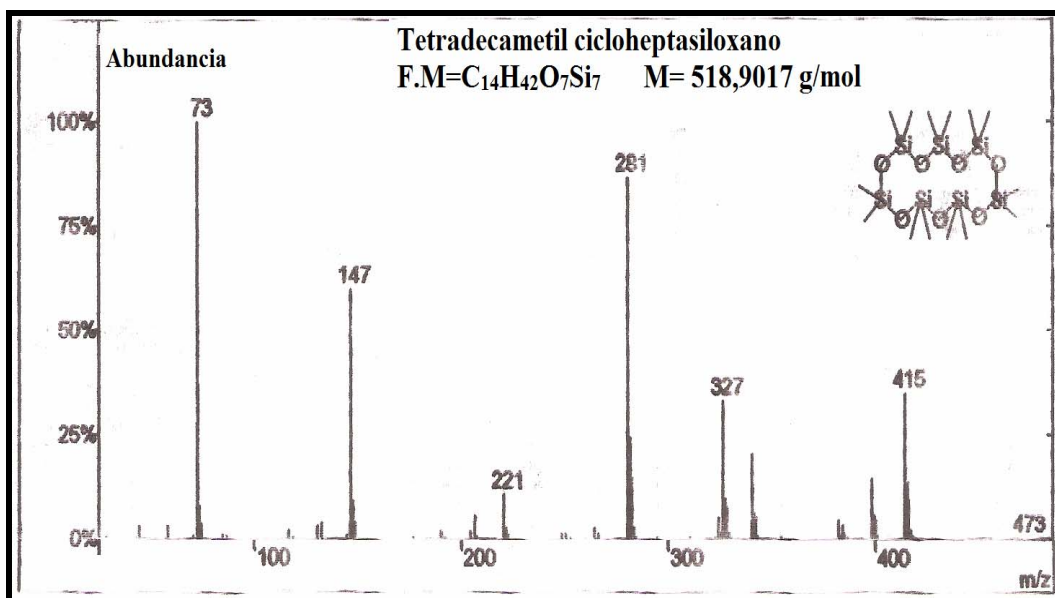


Figura AS-1. Espectro de masas del tetradecametil cicloheptasiloxano del EAAS

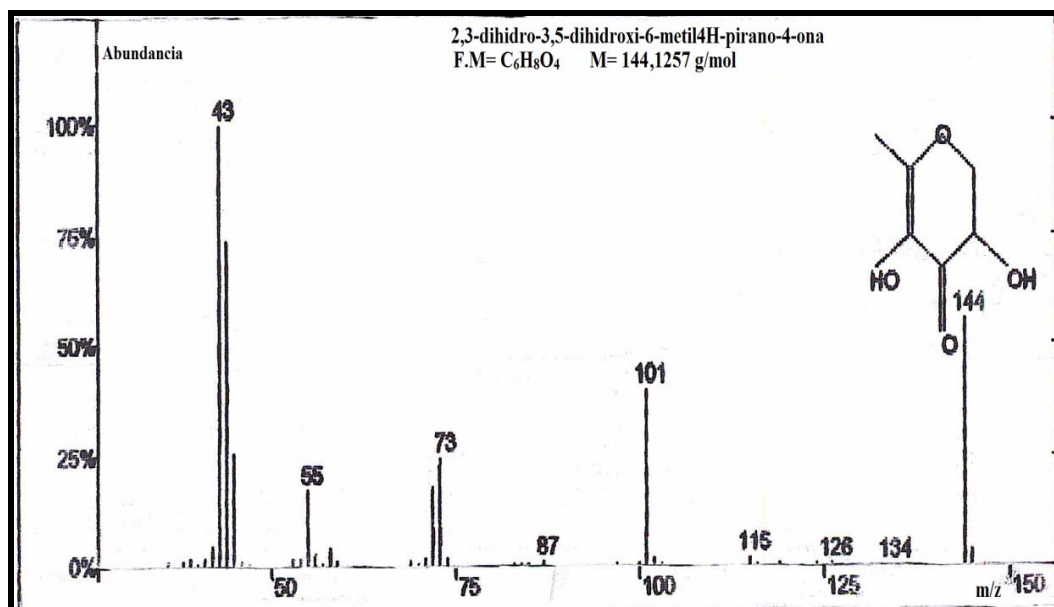


Figura AS-2. Espectro de masas del 2,3-dihidro-3,5-dihidroxi-6-metil4H-pirano-4-ona del EAAS

## APÉNDICE B

### ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO CON TRANSFORMADA DE FOURIER

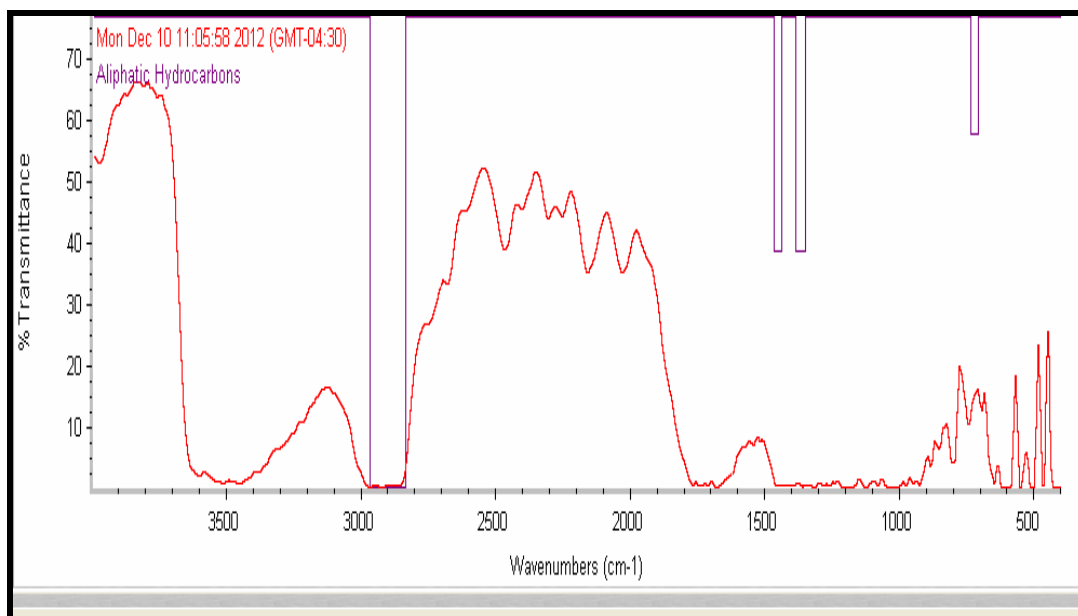


Figura BV1. Espectro IR-TF de la base: extracto acuoso de *Aloe vera* 80:20 indicando absorciones características de los grupos funcionales presentes.

En el espectro IR-TF de la figura BV1 correspondiente al extracto acuoso de *Aloe vera* 80:20 se observan varias bandas de absorción para hidrocarburos alifáticos: una señal a  $2977\text{ cm}^{-1}$  debido a la tensión del ( $=\text{C}-\text{H}$ ); dos bandas una a  $1458\text{ cm}^{-1}$  y otra a  $1365\text{ cm}^{-1}$  ocasionada por el enlace ( $\text{C}-\text{C}$ ), y una señal a  $647\text{ cm}^{-1}$  para la flexión del sistema ( $\text{C}-\text{H}$ ). Resumido en la tabla BV1.

Tabla BV1. Grupos funcionales de los compuestos presentes en la base: extracto acuoso de *Aloe vera* (EAAV) 80:20.

EAAV 80:20	
Hidrocarburos alifáticos	
$2977\text{ cm}^{-1}$	C-H
$1458\text{ cm}^{-1}$ y $1365\text{ cm}^{-1}$	C-C
$647\text{ cm}^{-1}$	C-H

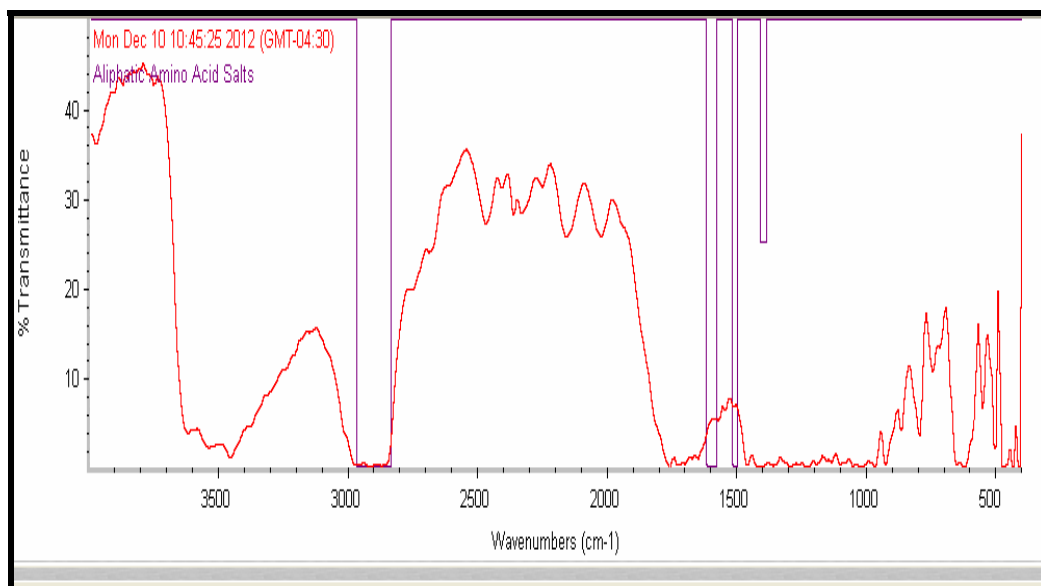


Figura BV2. Espectro IR-TF de la base: extracto acuoso de *Aloe vera* 70:30 indicando absorciones características de los grupos funcionales presentes

En el espectro IR-TF que se presenta en la figura BV2 del extracto acuoso de *Aloe vera* 70:30, el pico de absorción a  $2877\text{ cm}^{-1}$  es ocasionado por el estiramiento del enlace carbono hidrógeno alifático (-C-H); otra señal intensa y definida se debe al estiramiento del enlace (C=O) a  $1766\text{ cm}^{-1}$ . Además, a  $1465\text{ cm}^{-1}$  se observa una banda intensa que puede ser causada por la tensión de un enlace C-N, y una señal a  $1365\text{ cm}^{-1}$  debido al enlace C-O. Estas bandas se atribuyen a sales de aminoácidos alifáticos. Resumido en la tabla BV2.

Tabla BV2. Grupos funcionales de los compuestos presentes en la base: extracto acuoso de *Aloe vera* (EAAV) 70:30.

EAAV 70:30	
Sales de aminoácidos alifáticos	
$2877\text{ cm}^{-1}$	C-H
$1766\text{ cm}^{-1}$	C=O
$1465\text{ cm}^{-1}$	C-N
$1365\text{ cm}^{-1}$	C-O

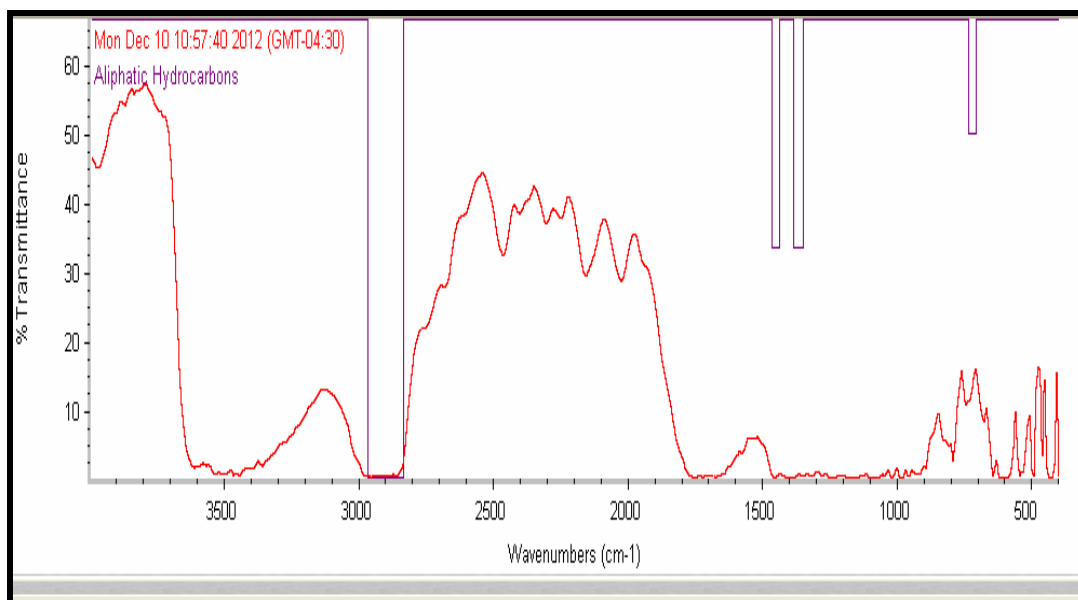


Figura BV3. Espectro IR-TF de la base: extracto acuoso de *Aloe vera* 60:40 indicando absorciones características de los grupos funcionales presentes

En cuanto a la proporción 60:40 del extracto acuoso de *Aloe vera* en el espectro IR-TF (figura BV3) se observan varias bandas de absorción para hidrocarburos alifáticos: una señal a  $2962\text{ cm}^{-1}$  debido a la tensión del ( $=\text{C}-\text{H}$ ); dos bandas una a  $1465\text{ cm}^{-1}$  y otra a  $1388\text{ cm}^{-1}$  causadas por el enlace ( $\text{C}-\text{C}$ ), y una señal a  $794\text{ cm}^{-1}$  producida por la flexión del sistema ( $\text{C}-\text{H}$ ). Resumido en la tabla BV3.

Tabla BV3. Grupos funcionales de los compuestos presentes en la base: extracto acuoso de *Aloe vera* (EAAV) 60:40.

EAAV 60:40	
Hidrocarburos alifáticos	
$2962\text{ cm}^{-1}$	C-H
$1465\text{ cm}^{-1}$ y $1388\text{ cm}^{-1}$	C-C
$794\text{ cm}^{-1}$	C-H



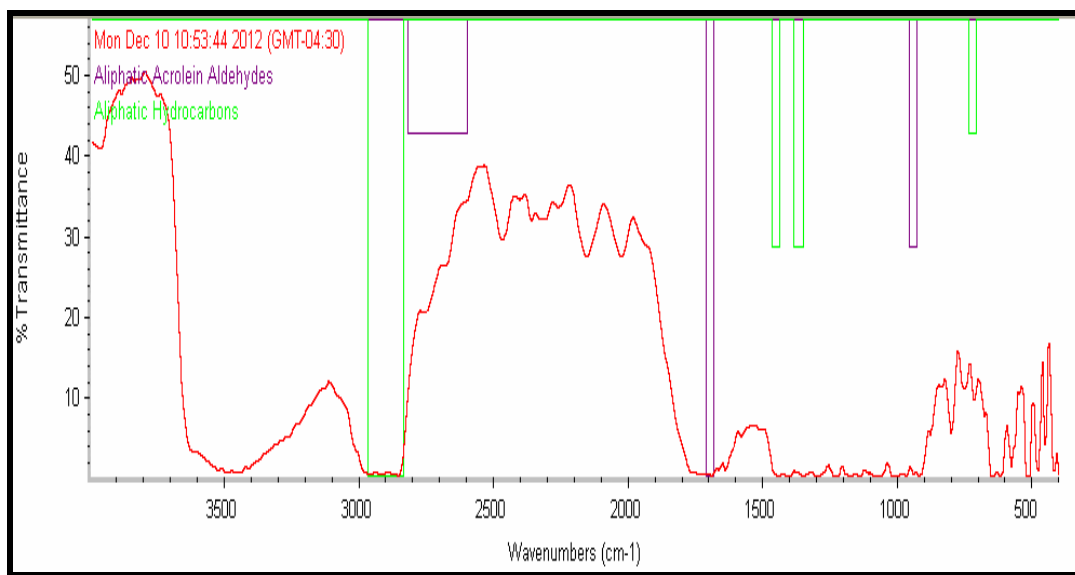


Figura BV4. Espectro IR-TF de la base: extracto acuoso de *Aloe vera* 50:50 indicando absorciones características de los grupos funcionales presentes

El espectro IR-TF del extracto acuoso de *Aloe vera* 50:50 (figura BV4), mostró dos picos débiles uno a  $2970\text{ cm}^{-1}$  y otro a  $2862\text{ cm}^{-1}$  debido a la tensión ( $=\text{C-H}$ ) de los aldehídos; una señal a  $1735\text{ cm}^{-1}$  ocasionada por el estiramiento del enlace ( $\text{C=O}$ ), y otra a  $925\text{ cm}^{-1}$  de la deformación del enlace ( $\text{C-H}$ ), correspondiente a aldehídos alifáticos como la acroleína.

Para esta misma proporción 50:50 también se observan varias bandas de absorción para hidrocarburos alifáticos: una señal a  $2970\text{ cm}^{-1}$  debido a la tensión del ( $=\text{C-H}$ ); dos bandas una a  $1450\text{ cm}^{-1}$  y otra a  $1357\text{ cm}^{-1}$  correspondientes al enlace ( $\text{C-C}$ ), y una señal a  $655\text{ cm}^{-1}$  ocasionada por la flexión de sistema ( $\text{C-H}$ ). Resumido en la tabla BV4.

Tabla BV4. Grupos funcionales de los compuestos presentes en la base: extracto acuoso de *Aloe vera* (EAAV) 50:50.

EAAV 50:50			
Aldehídos alifáticos		Hidrocarburos alifáticos	
$2892\text{ cm}^{-1}$ y $2970\text{ cm}^{-1}$	C-H	$2970\text{ cm}^{-1}$	C-H
$1735\text{ cm}^{-1}$	C=O	$1450\text{ cm}^{-1}$ y $1357\text{ cm}^{-1}$	C-C
$925\text{ cm}^{-1}$	C-H	$655\text{ cm}^{-1}$	C-H

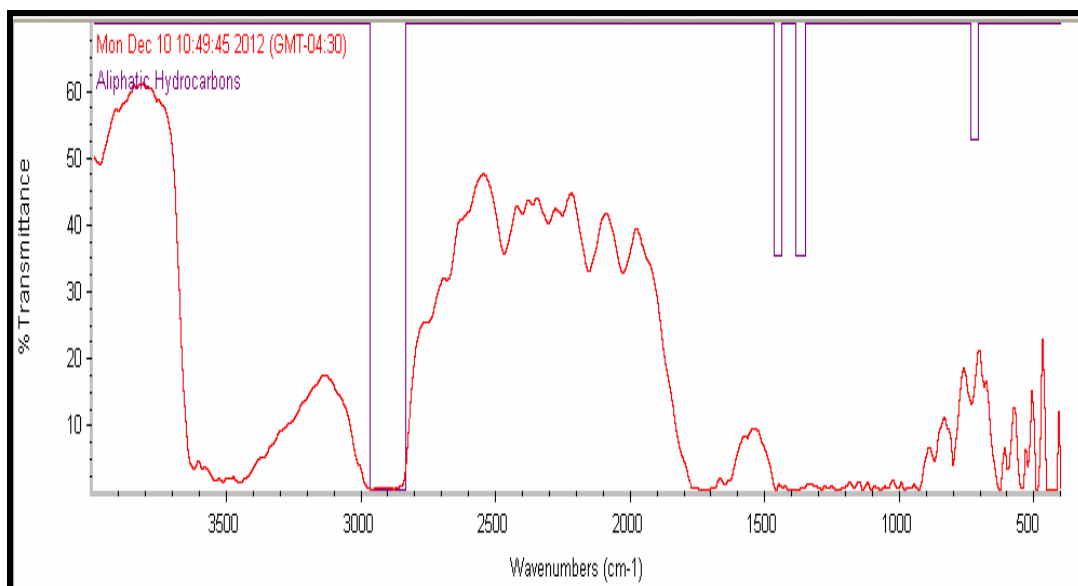


Figura BS1. Espectro IR-TF de la base: extracto acuoso de *Aloe saponaria* 80:20 indicando absorciones características de los grupos funcionales presentes

El análisis de IR-TF para la base: extracto *Aloe saponaria* en una relación 80:20 (figura BS1) muestra varias bandas de absorción para hidrocarburos alifáticos: una señal a 2885  $\text{cm}^{-1}$  debido a la tensión del ( $=\text{C}-\text{H}$ ); dos bandas una a 1465  $\text{cm}^{-1}$  y otra a 1388  $\text{cm}^{-1}$  producidas por el enlace (C-C), y una señal a 632  $\text{cm}^{-1}$  ocasionada por la flexión del sistema (C-H). Resumido en la tabla BS1.

Tabla BS1. Grupos funcionales de los compuestos presentes en la base: extracto acuoso de *Aloe saponaria* (EAAS) 80:20.

EAAS 80:20	
Hidrocarburos alifáticos	
2885 $\text{cm}^{-1}$	C-H
1465 $\text{cm}^{-1}$ y 1388 $\text{cm}^{-1}$	C-C
632 $\text{cm}^{-1}$	C-H

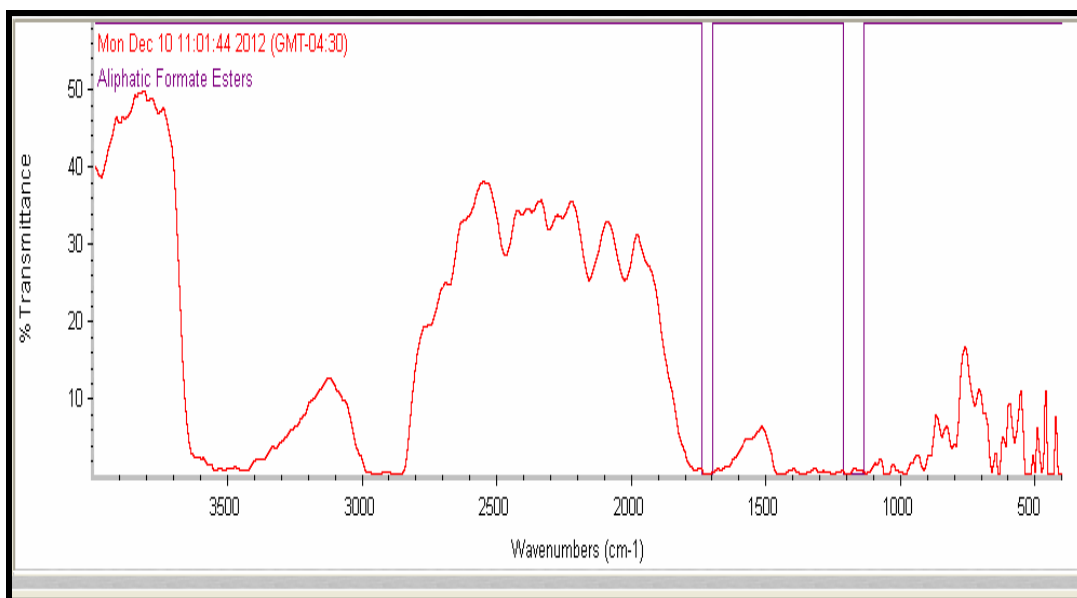


Figura BS2. Espectro IR-TF de la base: extracto acuoso de *Aloe saponaria* 70:30 indicando absorciones características de los grupos funcionales presentes

En el espectro IR-TF del extracto acuoso de *Aloe saponaria* 70:30 (figura BS2) se observan las siguientes bandas: una absorción a  $1735\text{ cm}^{-1}$  debido al estiramiento del enlace (C=O); otra absorción a  $1226\text{ cm}^{-1}$  ocasionada por la tensión del enlace (-C-O), y una banda a  $1056\text{ cm}^{-1}$  causada por la deformación del enlace (C-H), correspondiente a ésteres alifáticos. Resumido en la tabla BS2.

Tabla BS2. Grupos funcionales de los compuestos presentes en la base: extracto acuoso de *Aloe saponaria* (EAAS) 70:30.

EAAS 70:30	
Ésteres alifáticos	
$1735\text{ cm}^{-1}$	C=O
$1226\text{ cm}^{-1}$	C-O
$1056\text{ cm}^{-1}$	C-H

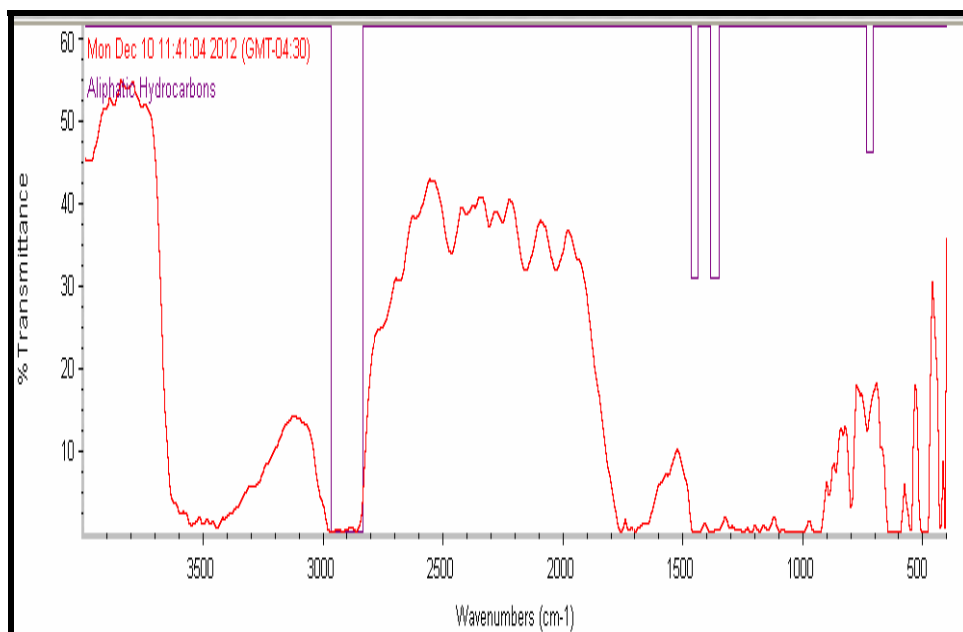


Figura BS3. Espectro IR-TF de la base: extracto acuoso de *Aloe saponaria* 60:40 indicando absorciones características de los grupos funcionales presentes

En cuanto a la relación 60:40 el espectro IR-FT (figura BS3) exhibe bandas de absorción para hidrocarburos alifáticos: una señal a  $2900\text{ cm}^{-1}$  debido a la tensión del ( $=\text{C}-\text{H}$ ); dos bandas una a  $1442\text{ cm}^{-1}$  y otra a  $1365\text{ cm}^{-1}$  generada por el enlace (C-C), y una señal a  $640\text{ cm}^{-1}$  asignable a la flexión de sistema (C-H). Resumido en la tabla BS3.

Tabla BS3. Grupos funcionales de los compuestos presentes en la base: extracto acuoso de *Aloe saponaria* (EAAS) 60:40.

EAAS 60:40	
Hidrocarburos alifáticos	
$2900\text{ cm}^{-1}$	C-H
$1492\text{ cm}^{-1}$ y $1365\text{ cm}^{-1}$	C-C
$640\text{ cm}^{-1}$	C-H

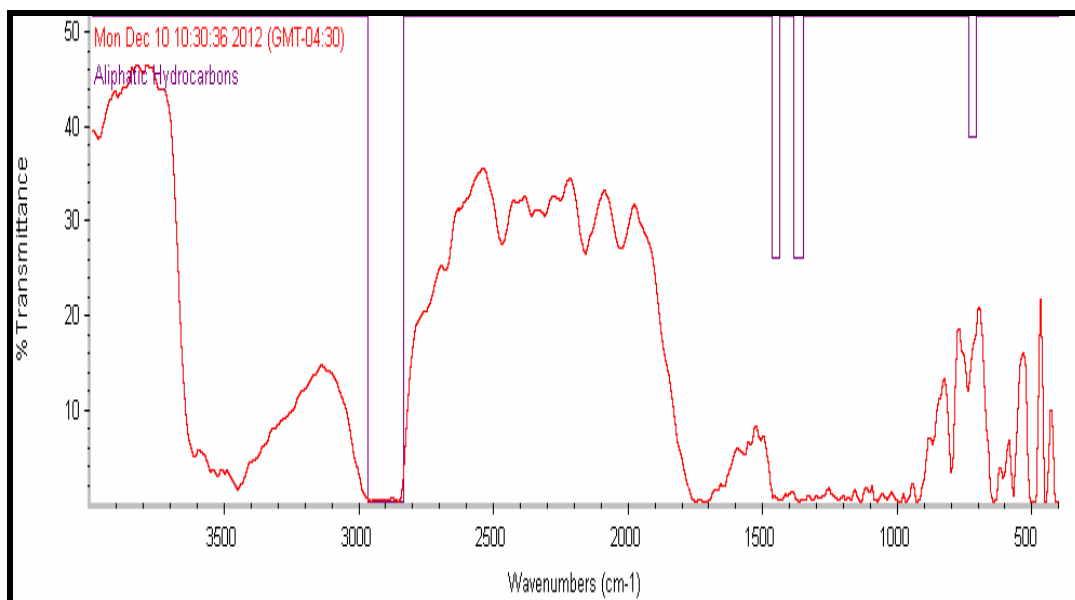


Figura BS4. Espectro IR-TF de la base: extracto acuoso de *Aloe saponaria* 50:50 indicando absorciones características de los grupos funcionales presentes

Por su parte, en el espectro IR-TF de la (figura BS4) correspondiente al extracto acuoso de *Aloe saponaria* 50:50, se observan las bandas de absorción para hidrocarburos alifáticos: una señal a  $2962\text{ cm}^{-1}$  debido a la tensión del ( $=\text{C}-\text{H}$ ); dos bandas una a  $1373\text{ cm}^{-1}$  y otra a  $1218\text{ cm}^{-1}$  ocasionadas por el enlace (C-C), y una señal a  $647\text{ cm}^{-1}$  causada por la flexión del sistema (C-H). Resumido en la tabla BS4.

Tabla BS4. Grupos funcionales de los compuestos presenten en la base: extracto acuoso de *Aloe saponaria* (EAAS) 50:50.

EAAS 50:50	
Hidrocarburos alifáticos	
$2962\text{ cm}^{-1}$	C-H
$1373\text{ cm}^{-1}$ y $1218\text{ cm}^{-1}$	C-C
$647\text{ cm}^{-1}$	C-H

## ANEXO

## FICHA TÉCNICA DE LA BASE DE PINTURA INDUSTRIAL UTILIZADA EN ESTE TRABAJO (BASE 1)



### EcoVAE™ 401

1601 W. LBJ Freeway  
Dallas, TX 75234  
infopaints@celanese.com  
Houston Technology Center  
Technical Service 877-832-7782  
Customer Service: 800-845-0940  
[www.celanese-emulsions.com](http://www.celanese-emulsions.com)

EcoVAE 401 is a vinyl acetate/ethylene emulsion designed for low odor paint applications. Paints utilizing the emulsion can be formulated without any coalescing solvents resulting in low VOC, environmentally-friendly products. EcoVAE 401 is also APE-free.

#### Benefits:

- excellent scrub and stain resistance
- APE-free
- low odor
- low VOC
- very good wet edge
- excellent film formation
- low residual monomer content
- ability to produce environmentally friendly coatings

#### Typical Properties:

Solids	55 ± 1%
Viscosity	300 ± 150 cps
Specific gravity	1.075
pH	5.0 ± 0.5
Tg	13°C
MFFT	0°C
Particle size	225 nm
Film on glass	clear

To the best of our knowledge, the information contained herein is accurate. However, neither Celanese nor any of its affiliates assumes any liability whatsoever for the accuracy or completeness of the information contained herein. Final determination of suitability of any material and whether there is any infringement of patents is the sole responsibility of the user. All chemicals may present unknown health hazards and should be used with caution. Although certain hazards may be described in this publication, we cannot guarantee that these are the only hazards that exist. Users of any chemical should satisfy themselves by independent investigation of current scientific and medical knowledge that the material can be used safely. In addition, no certification or claim is made as to the status, under any law or regulation, including but not limited to the Toxic Substances Control Act of either the chemicals discussed above or any subsequent polymerization or reaction products that result from a formulation containing them.

Rev 10/08

## HOJA DE METADATOS

### Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

<b>Título</b>	Evaluación de una base de pintura industrial formulada con extractos de plantas del género <i>aloe</i> como posible recubrimiento inhibidor de corrosión.
<b>Subtítulo</b>	

Autor(es)

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código CVLAC / e-mail</b>	
Roquez Ramos Asyuri del Valle	<b>CVLAC</b>	16.997.329
	<b>e-mail</b>	asyuri_r86@hotmail.com
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

**Palabras o frases claves:**

<i>Aloe vera</i>
<i>Aloe saponaria</i>
recubrimientos ecológicos
inhibidor de corrosión
aleación de aluminio

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

### Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ciencias	Química

### Resumen (abstract):

Este trabajo de investigación tuvo como propósito evaluar una base de pintura industrial formulada con extractos de plantas del género *Aloe* (*Aloe vera* y *Aloe saponaria*), como posible recubrimiento inhibidor de corrosión en la aleación de aluminio AA3003. Para ello se expusieron probetas de esta aleación a la atmósfera marina, utilizando las instalaciones de la Estación Hidrobiológica de Turpialito, del Instituto Oceanográfico de Venezuela. Se utilizó una solución de buffer fosfato salino para obtener los extractos acuosos de *Aloe vera* (EAAV) y extractos acuosos de *Aloe saponaria* (EAAS). Las pruebas fitoquímicas, arrojaron positiva la posible presencia de metabolitos como: alcaloides, saponinas, antraquinonas, flavonoides, cumarinas y glicósidos cardiotónicos en ambos extractos, a diferencia del EAAV que mostró la posible presencia de antraquinonas. A través del análisis de cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas se identificaron algunos de estos metabolitos. Se prepararon diferentes proporciones base: extracto (80:20, 70:30, 60:40, 50:50 (%v/v)) tanto para el EAAV como para el EAAS, en los cuales, a través de análisis de espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier se pudo constatar que los metabolitos estaban presentes aún después de la mezcla. Mediante microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido, se pudo visualizar que las probetas sin recubrir, como las recubiertas con solo los extractos, exhibieron corrosión por picaduras en su superficie, con incremento significativo con el tiempo de exposición al ambiente salino. Al comparar los recubrimientos de solo pintura con los recubrimientos formulados con los extractos se observó que los dosificados exhibieron mejor adherencia y mejor aspecto, en cuanto a que no se observaron ampollamientos. En la perspectiva que aquí se presenta, los extractos de *Aloe vera* y *Aloe saponaria* parecieran no degradarse al incorporarlos en la base de pintura, en vista de que los recubrimientos dosificados se mantuvieron ante las condiciones climáticas de temperatura y salinidad del medio donde fueron expuestas las probetas, y pudieran estar actuando como aditivos anticorrosivos orgánicos, lo cual hace la investigación interesante, teniendo en cuenta que estos extractos no son contaminantes y adicionalmente son relativamente económicos, ofreciendo una nueva alternativa al sector industrial.



## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

### Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Solange Paredes, M.Sc	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input checked="" type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	4313618
	<b>e-mail</b>	dupar99@gmail.com
Haydelba D'Armas, Ph.D.	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input checked="" type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	4297804
	<b>e-mail</b>	haydelba@yahoo.com
Shailili Moreno, Dra	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	14285141
	<b>e-mail</b>	shaililiko@yahoo.com
Benjamín Hidalgo Prada, Ph.D.	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	19738638
	<b>e-mail</b>	Hidalgoben@gmail.com

Fecha de discusión y aprobación:

**Año Mes Día**

<b>2013</b>	<b>6</b>	<b>21</b>
-------------	----------	-----------

Lenguaje: spa

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
TESIS_AR	Application/Word

Alcance:

Espacial:                   NACIONAL                   (Opcional)  
Temporal:                   TEMPORAL                   (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Licenciada en Química.

Nivel Asociado con el Trabajo:           LICENCIADA          

Área de Estudio: Gerencia de Recurso Humanos.           Química          

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE

\_\_\_\_\_

# Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano  
**Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ**  
Vicerrector Académico  
Universidad de Oriente  
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
SISTEMA DE BIBLIOTECA  
RECIBIDO POR *Martínez*  
FECHA *5/8/09* HORA *5:30*

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

*Juan A. Bolanos Cunele*  
JUAN A. BOLANOS CUNELE  
Secretario



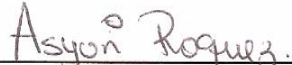
C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso- 6/6

**Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) :** “los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario para su autorización”.

---

**ASYURI ROQUEZ**  
**Autor**