



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS**  
**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**Evaluación de la capacidad inhibidora de  
corrosión de los extractos de matico (*Piper  
Adumcun*) y de llantén (*Plantago Major*) en  
medio ácido**

**Presentado por:**

**Jipson Franco**

# Planteamiento del problema

## La corrosión

Genera grandes pérdidas de sección y disminución de la capacidad mecánica.

Ocasiona un incremento en los costos para controlar y prevenir dicho proceso.

Deteriora la superficie de ciertas estructuras

Las alternativas más comunes son:

Inhibidores químicos

La mejora de los materiales

La anodización

Control de proceso

Es el método más económico

Pero causa:

Efecto tóxico muy alto

Baja biodegradabilidad

# Justificación

Debido a la restricciones que han impuesto las autoridades encargada del control ambiental.



Se han enfocado en la exploración de inhibidores de corrosión ecológicos a base de extractos de plantas, frutos, tallos y hojas.

Caracterizado por:

Presentar altas eficiencias de inhibición

Ser Biodegradable

Ser compatible con el medio ambiente (Baja toxicidad)

**Inhibidores naturales**

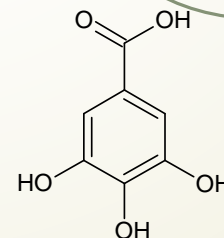
Tripertenos

Saponinas

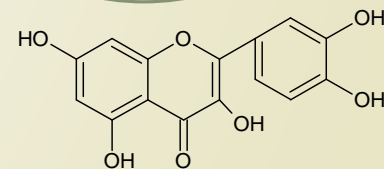
**Presencia de metabolitos**

Flavonoides

Taninos



Ácidos Hidroxibenzoicos



Flavonoides

# Objetivos

## Objetivo General

Evaluar el grado de eficiencia de los extractos de llantén (*Plantago Major*) y de matico (*Piper Adumcun*) en la inhibición de corrosión del acero al carbono A36 en medio ácido

Deducir el mecanismo de interacción entre el extracto inhibidor y la superficie del acero al carbono A36

Obtener los extractos a partir de las hojas de llantén y de matico

**Objetivos Específicos**

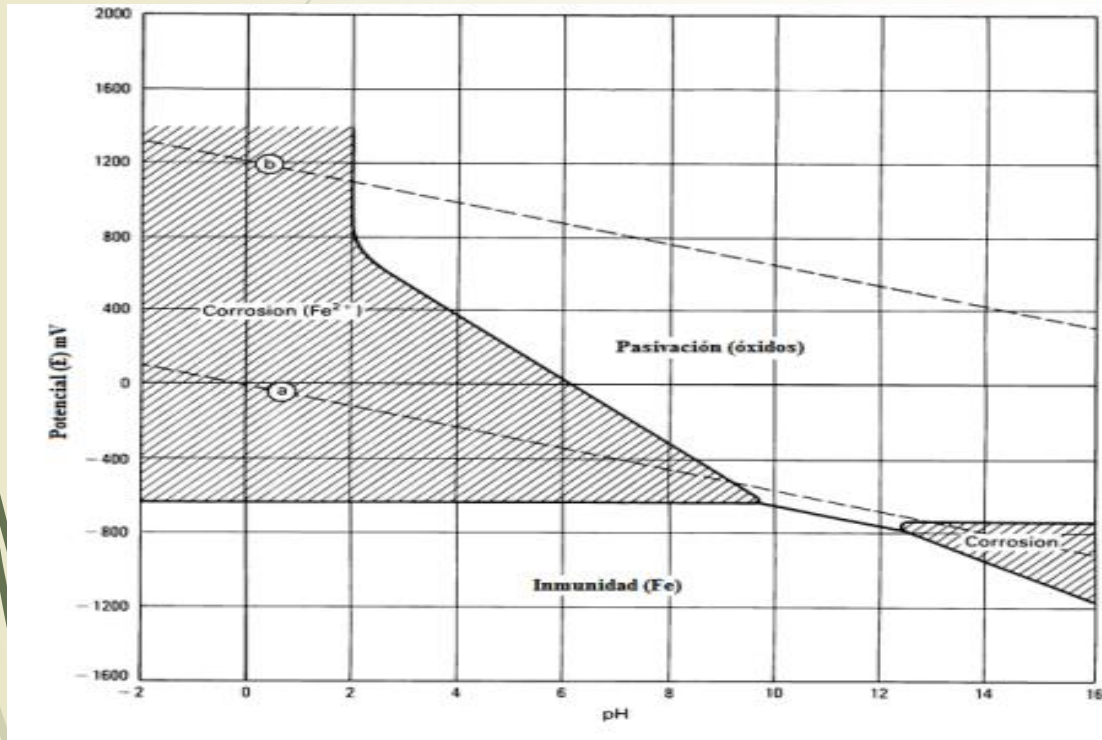
Caracterizar los extractos mediante ensayos fitoquímicos

Estimar la velocidad de corrosión mediante prueba de pérdida de peso

# Corrosión Electroquímica

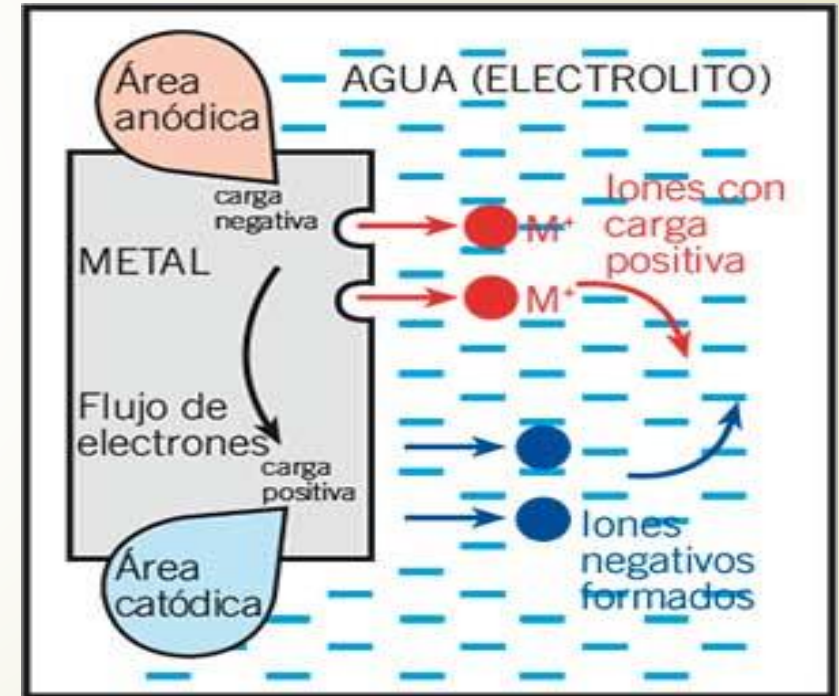
La corrosión electroquímica se manifiesta por la interacción de un medio sobre la superficie del metal

## Termodinámica de la corrosión electroquímica



Gráfica 2. Diagrama de Pourbaix

## Mecanismo de la corrosión electroquímica



Gráfica 1. Mecanismo de corrosión

# Métodos de protección contra la corrosión

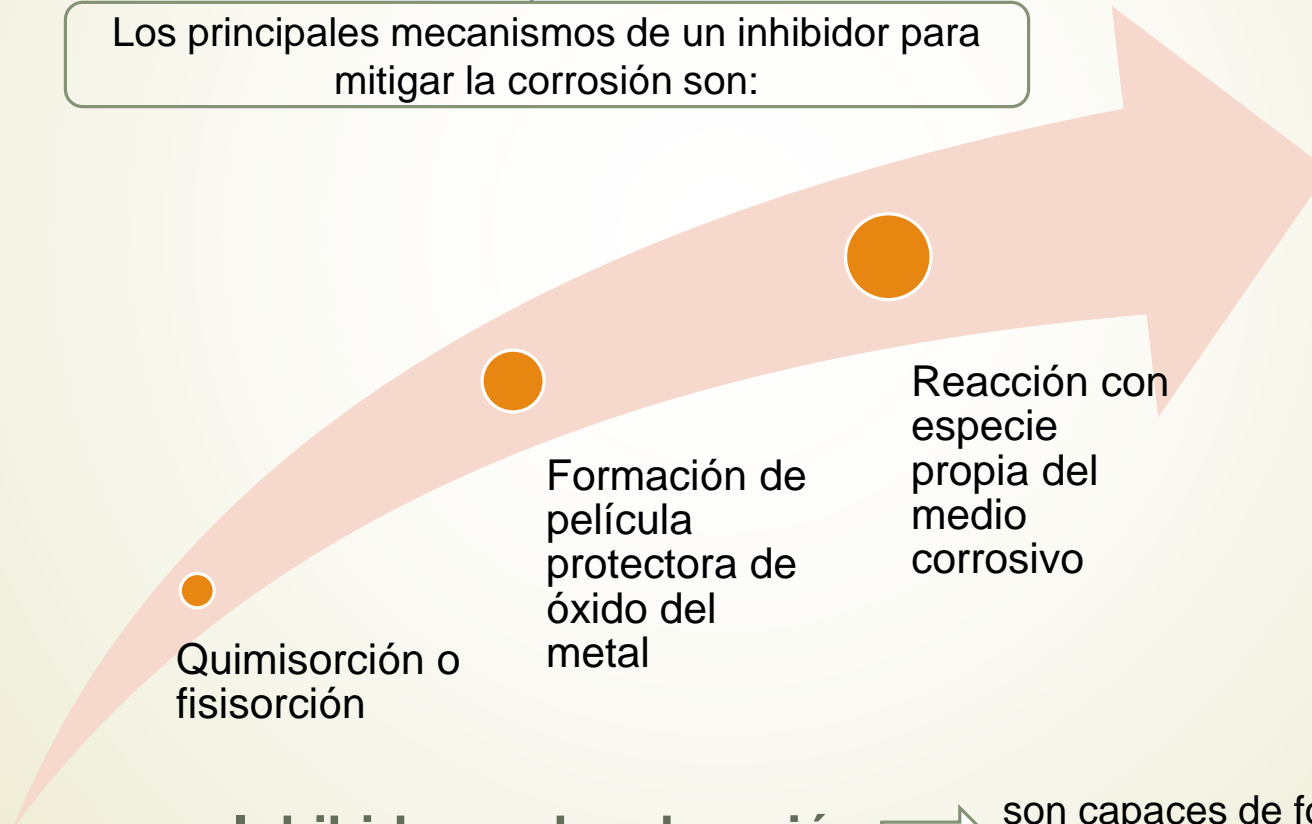
## Inhibidores de corrosión

Es un producto químico sintético o natural que, al adicionarse a un ambiente corrosivo, disminuye de manera eficaz la velocidad de corrosión



A continuación se presentan:

Los principales mecanismos de un inhibidor para mitigar la corrosión son:

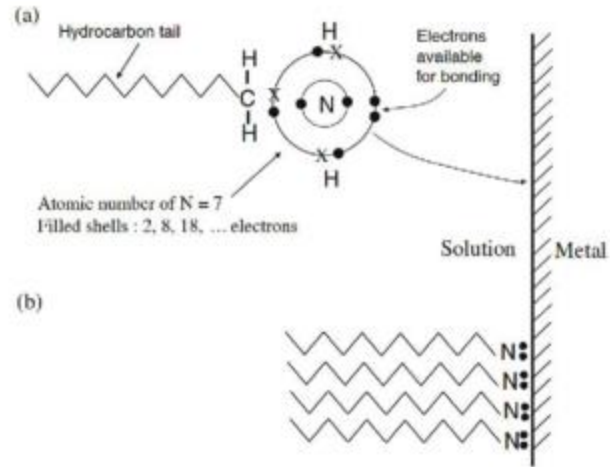


## Inhibidores de adsorción

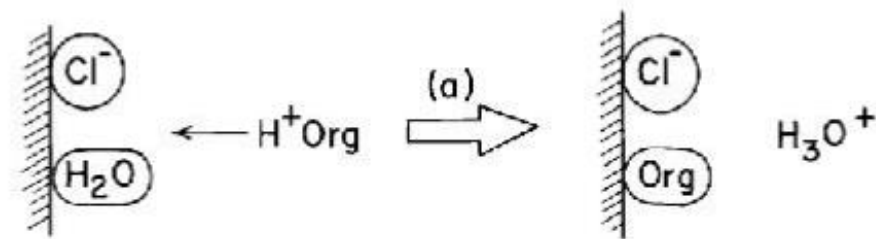


son capaces de formar enlaces de adsorción física o química sobre la superficie de cualquier metal, por lo tanto, impide la reacción electroquímica

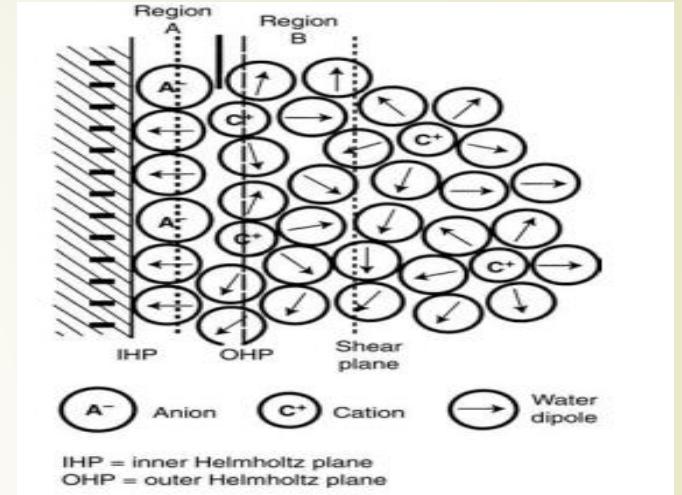
# Adsorción de un extracto inhibidor a la superficie del metal



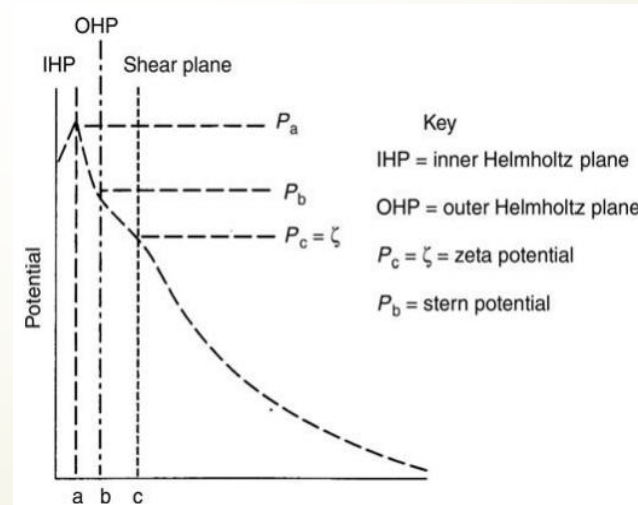
Gráfica 6. Adsorción de moléculas polares a la superficie



Gráfica 5. Adsorción competitiva

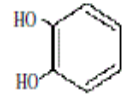
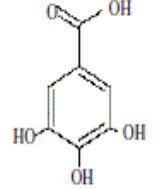
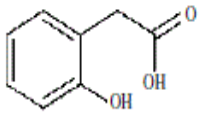
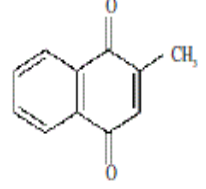
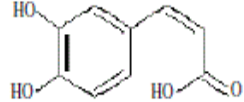
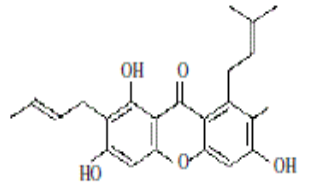
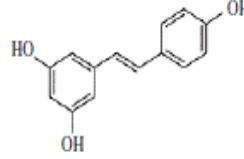
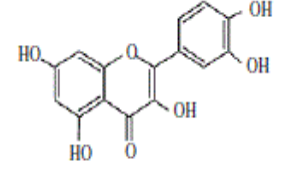


Gráfica 3. Representación esquemática de la doble capa eléctrica



Gráfica 4. Cambio de potencial en la doble capa

# Estructuras principales de los Inhibidores Naturales

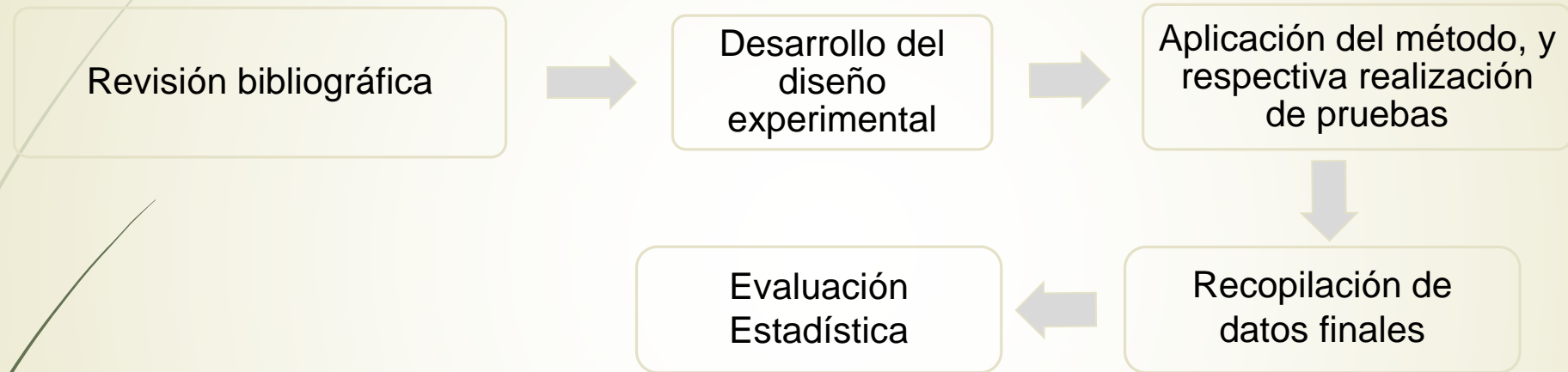
Clase	Estructura	Ejemplo	Clase	Estructura	Ejemplo
Fenoles simples	C <sub>6</sub>	 Catecol	Ácidos hidroxibenzoicos	C <sub>6</sub> -C <sub>1</sub>	 Ácido gálico
Ácidos fenilacéticos	C <sub>6</sub> -C <sub>2</sub>	 Ácido 2-hidroxi-fenilacético	Naftoquinonas	C <sub>6</sub> -C <sub>4</sub>	 Menadiona
Ácidos hidroxicinámicos	C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub>	 Ácido caféico	Xantomas	C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub> -C <sub>6</sub>	 Mangostina
Estibenos	C <sub>6</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>6</sub>	 Resveratrol	Flavonoides	(C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub> -C <sub>6</sub> )	 Quercetina

**Gráfica 7. Estructura química de los principales metabolitos antioxidante**



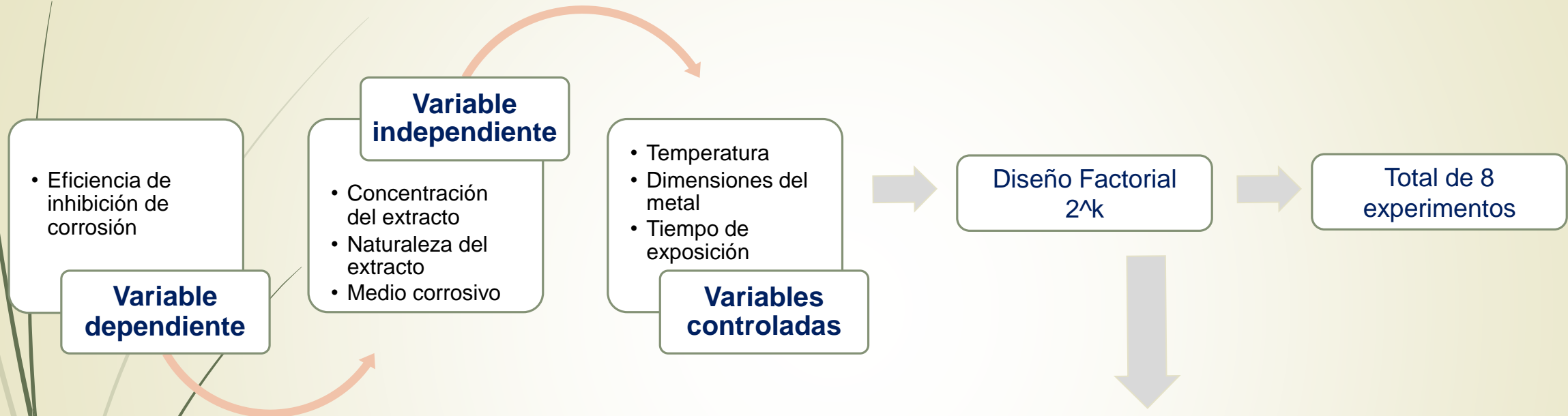
# Metodología

Se realizó una investigación cuantitativa de tipo experimental, basada en metodología estadística de diseño factorial y Análisis de varianza (ANOVA).



# Diseño experimental

Es un técnica estadística que permite estudiar el efecto de varios factores sobre la variable de respuesta, cuando se tiene el interés sobre todo los factores establecidos.



Gráfica 8: Análisis de variables para el desarrollo del DOE

Tabla 1: Factores evaluados en el diseño factorial

Factor	Nombre del factor	Niveles	Simbología
A	Tipo de Extracto	Matico	-
		Llantén	+
B	Concentración del extracto	0,05g/mL	-
		0,1 g/mL	+
C	Medio de corrosivo	HCl 0.5M	-
		HCl 1M	+

# Experimentación

## Primera fase de experimentación



### Obtención de los extractos

- Maceración por 5 días



### Caracterización del extracto inhibidor

- Ensayos fitoquímicos
- FT-IR

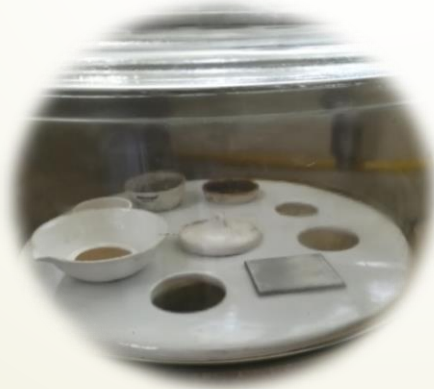


### Preparación del medio corrosivo

- disolución



Gráfica 9: Láminas de acero al carbono A36



Gráfica 10: Láminas de acero al carbono A36 tratada

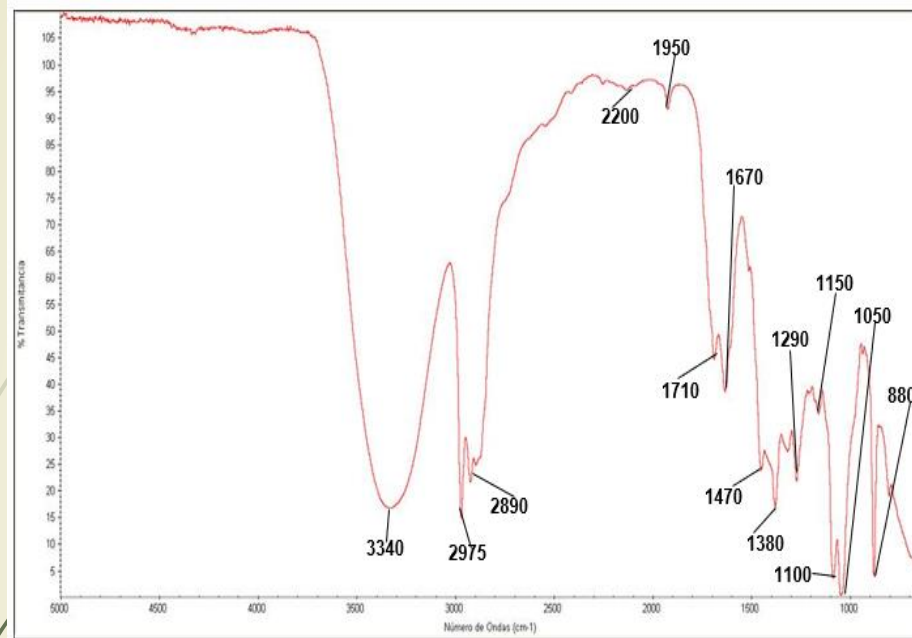
## Segunda fase de experimentación

Preparación de la superficie del acero

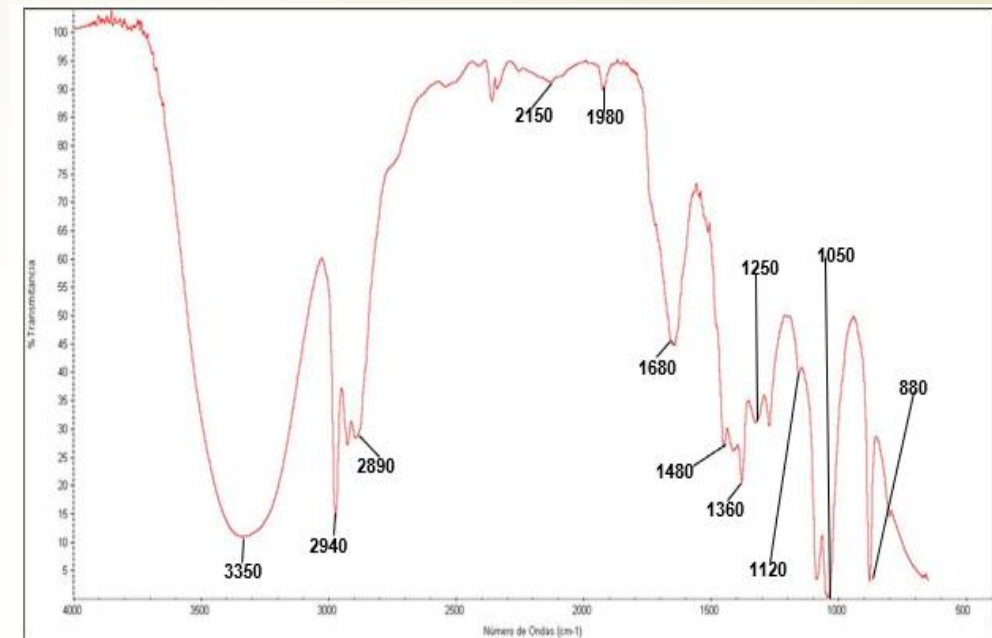
- Ensayo de inmersión del acero A36 en el medio corrosivo por 14 días

Pesado de las láminas de acero cada 24 horas

# Ensayos de identificación de posibles grupos funcionales de metabolitos antioxidantes



Gráfica 11: FTIR del extracto de llantén (*Plantago Major*)



Gráfica 12: FTIR del extracto de matico (*Piper Adumcun*)

## Ensayos Fitoquímicos

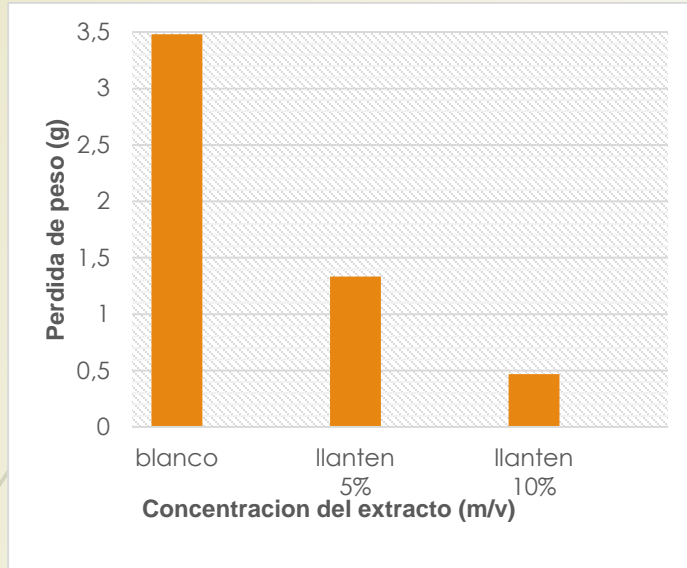
		Piper Adumcun	Plantago Major
<b>Ensayo Fitoquímico</b>	Metabolitos	Presencia	Presencia
<b>Liebermann-Buchard</b>	Tripertenos	-	+
<b>Espumas</b>	Saponinas	+	+
<b>Cloruro Férrico</b>	Fenólicos	+	+
<b>Shinoda</b>	Flavonoides	+	+
<b>Gelatina</b>	Taninos	+	-

Tabla 2: Ensayos Fitoquímicos

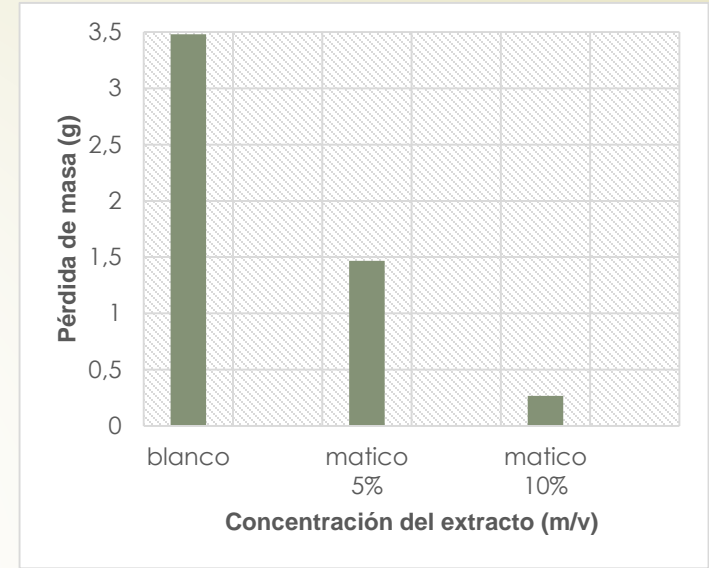
Varvara et al., 2017

Salensky et al. (2005)

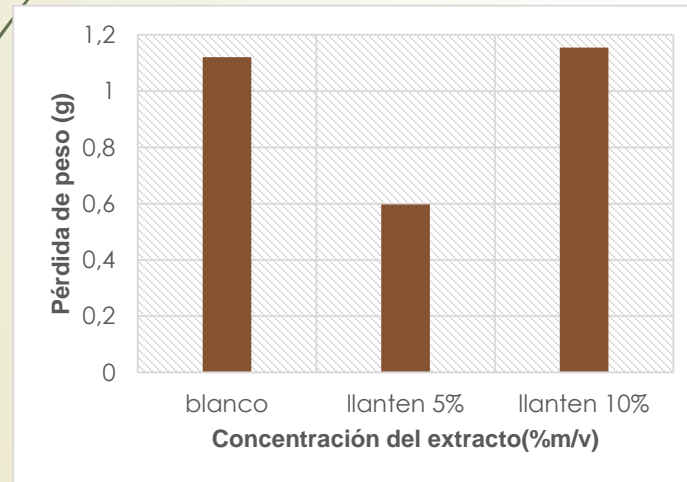
# Estudio de Pérdida de Peso



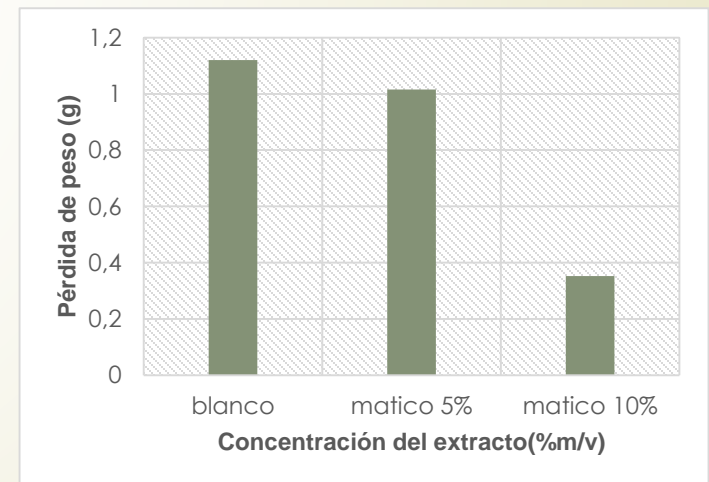
**Gráfica 13: Pérdida de peso del acero A36 en función de la concentración del extracto Llantén en 0,5 M HCl**



**Gráfica 14: Pérdida de peso del acero A36 en función de la concentración del extracto matico en 0,5 M HCl**

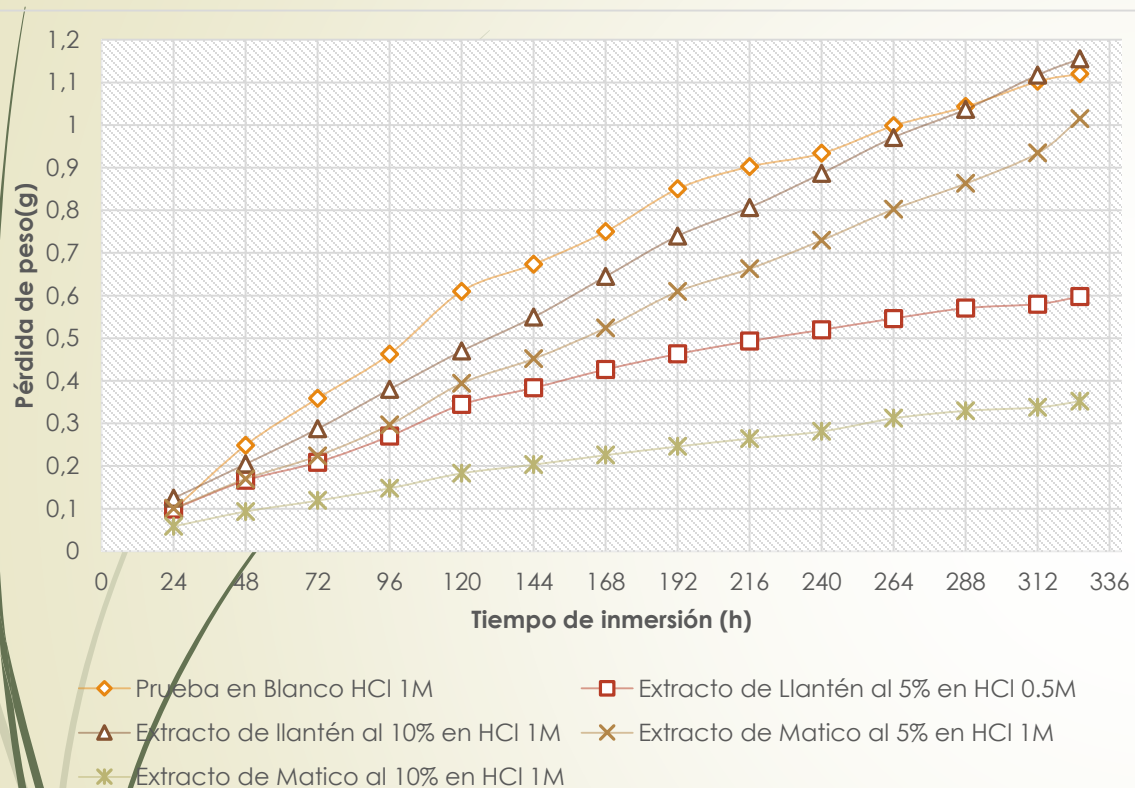


**Gráfica 15: Pérdida de peso del acero A36 en función de la concentración del extracto Llantén en 1 M HCl**

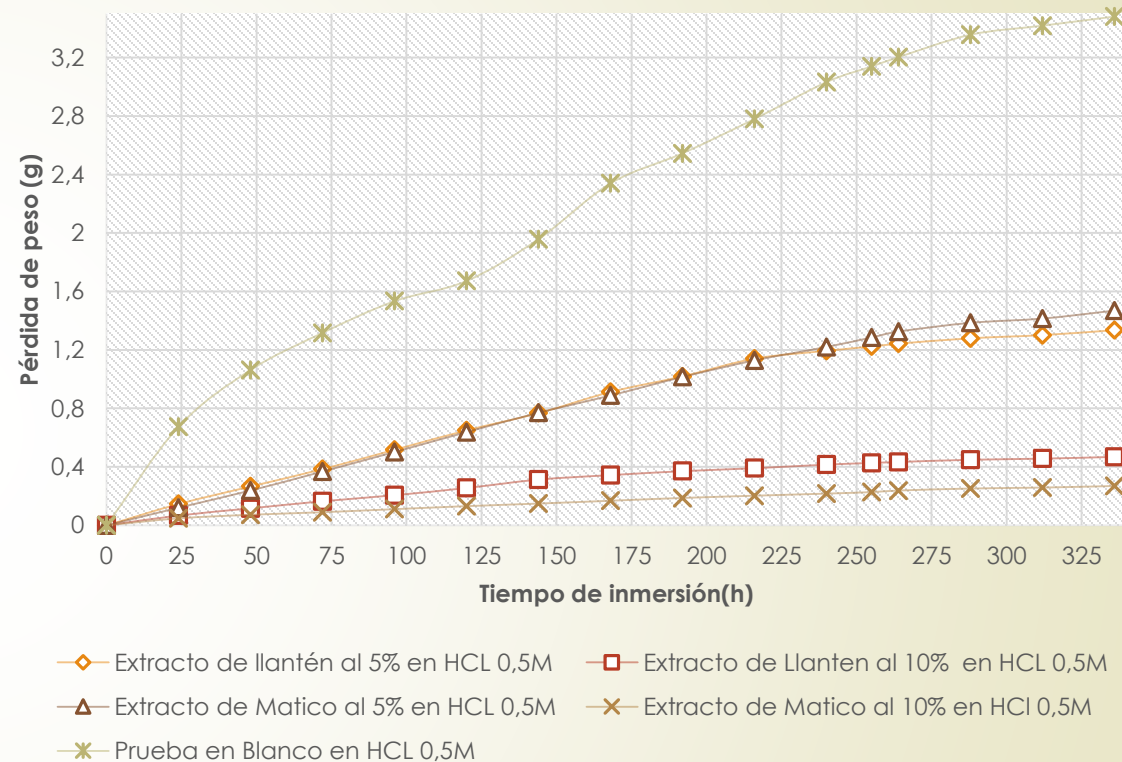


**Gráfica 16: Pérdida de peso del acero A36 en función de la concentración del extracto matico en 1 M HCl**

# Análisis de la estabilidad de los extractores inhibidores



Gráfica 17. Curva de Pérdida de peso vs Tiempo de inmersión para el acero al carbono A36 en HCl 1M en ausencia y presencia de extracto de Matico y Llantén a diferentes concentraciones



Gráfica 18. Curva de Pérdida de peso vs Tiempo de inmersión para el acero al carbono A36 en HCl 0,5M en ausencia y presencia de extracto de Matico y Llantén a diferentes concentraciones

# Análisis Estadístico del Diseño experimental

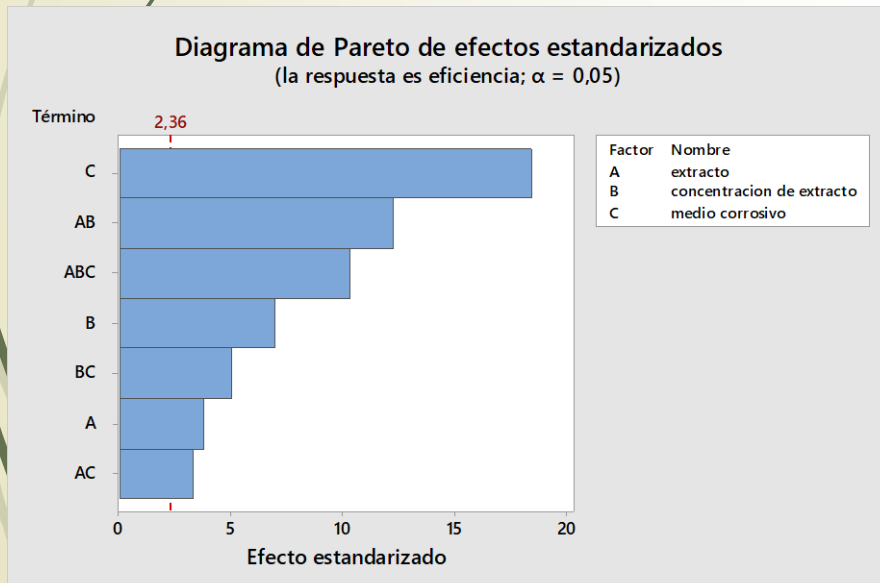
(Ho): Los factores estudiados en el experimento no presentan una incidencia significativa sobre la eficiencia de inhibición de corrosión.

Fuente	Suma de cuadrado	Razón-F	Valor-P
<b>A: Tipo de extracto</b>	361,5	1,01	0,344
<b>B: Concentración de extracto</b>	1204,3	3,37	0,104
<b>C: Medio corrosivo</b>	8521,6	23,84	<b>0,001</b>
<b>AB</b>	3761,1	10,52	<b>0,012</b>
<b>AC</b>	281	0,79	0,401
<b>BC</b>	642,5	1,8	0,217
<b>Error</b>	2859,4		
<b>Total</b>	17827,3		

Tabla 4. Análisis de Varianza de Eficiencia de Inhibición

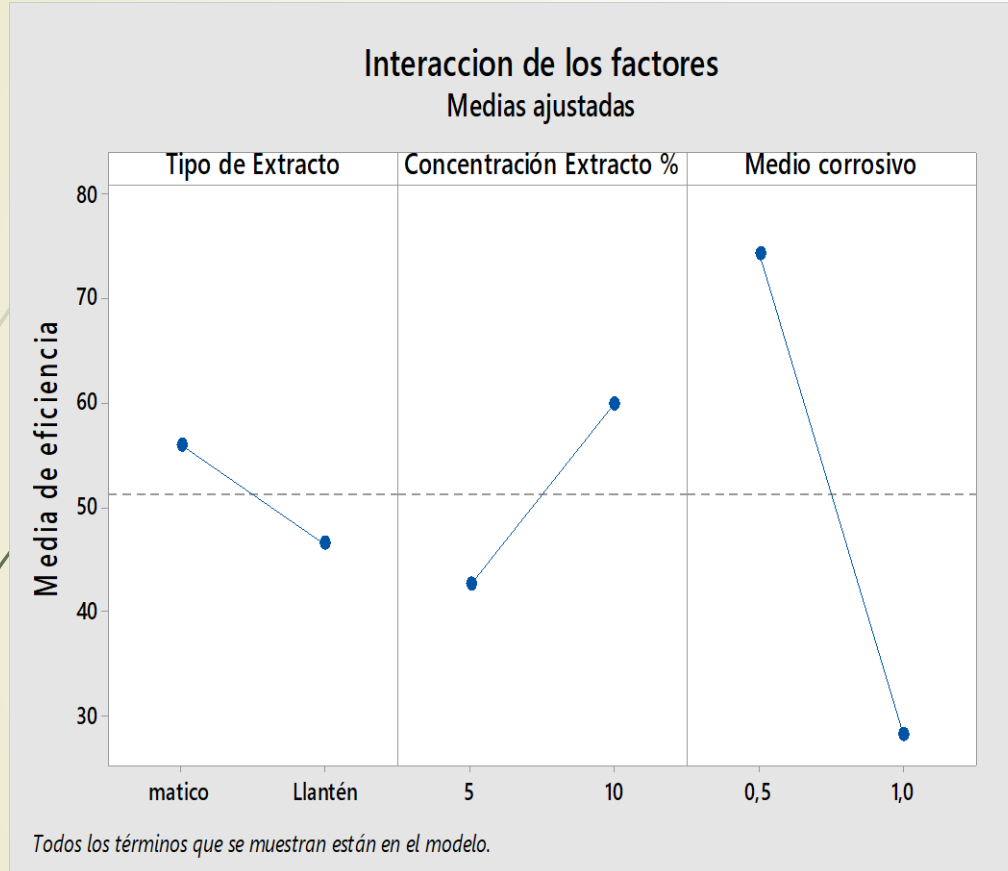
Factores				Variable de respuesta
Pruebas	Tipo de extracto	Concentración del extracto	Medio corrosivo	Eficiencia de inhibición %
1	matico	5%	0,5	57,84
2	llantén	5%	0,5	61,64
3	matico	10%	0,5	<b>92,29</b>
4	llantén	10%	0,5	86,51
5	matico	5%	1	6,64
6	llantén	5%	1	45,08
7	matico	10%	1	67,62
8	llantén	10%	1	0,57

Tabla 5: Diseño experimental para análisis de varianza (ANOVA)

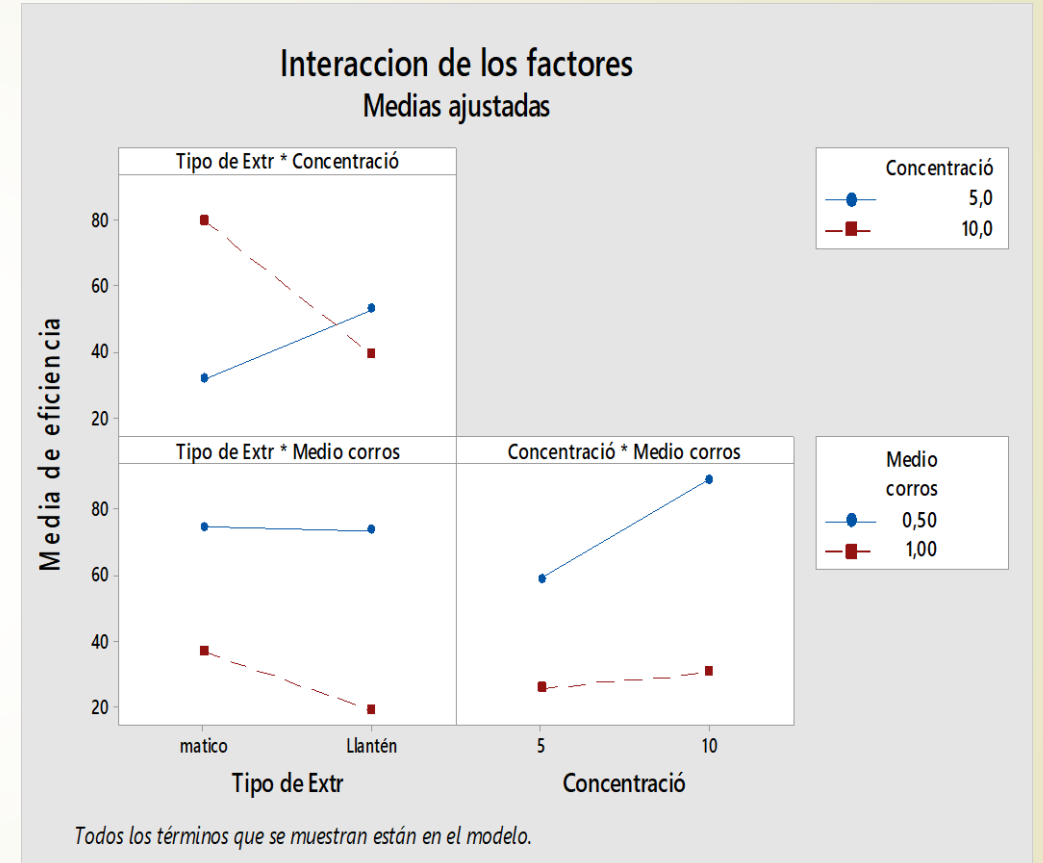


Grafica 19. Gráfico de Pareto

# Gráficas factoriales del Diseño Experimental



Gráfica 20. Efectos principales



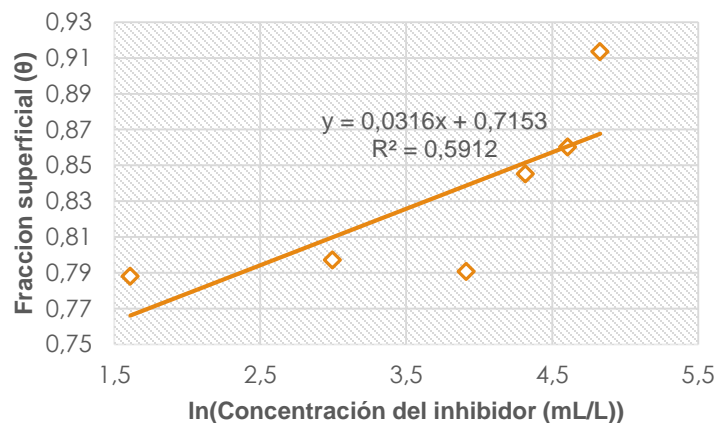
Gráfica 21. Interacción de efectos



# Desarrollo de la isoterma de Adsorción

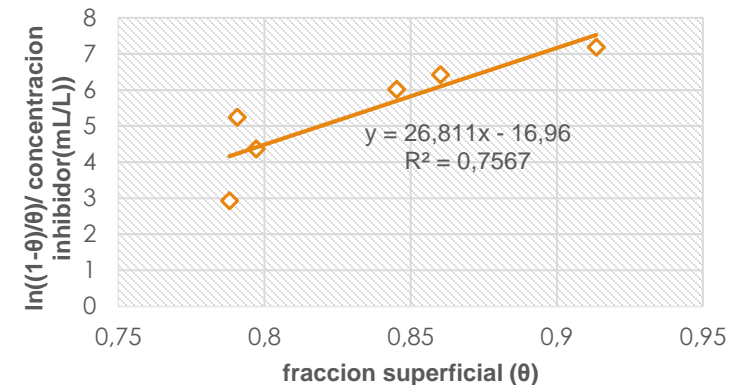
Se realizaron 8 experimentos a diferentes concentraciones del extracto (0,5%, 1%, 2%, 5%, 7.5%, 10% y 12.5%)

Isoterma de Temkin del Extracto de Matico



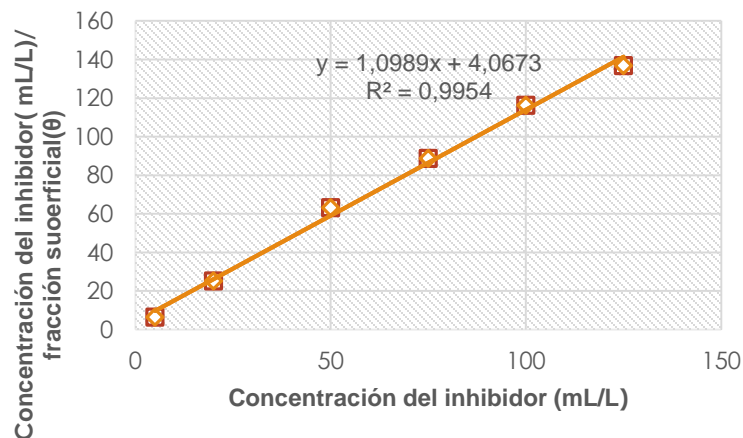
Gráfica 22: Isoterma de adsorción de Temkin para acero A36 en HCl 0,5 M a diferentes concentraciones del extracto de Matico.

Isoterma de Frumkin del Extracto de Matico



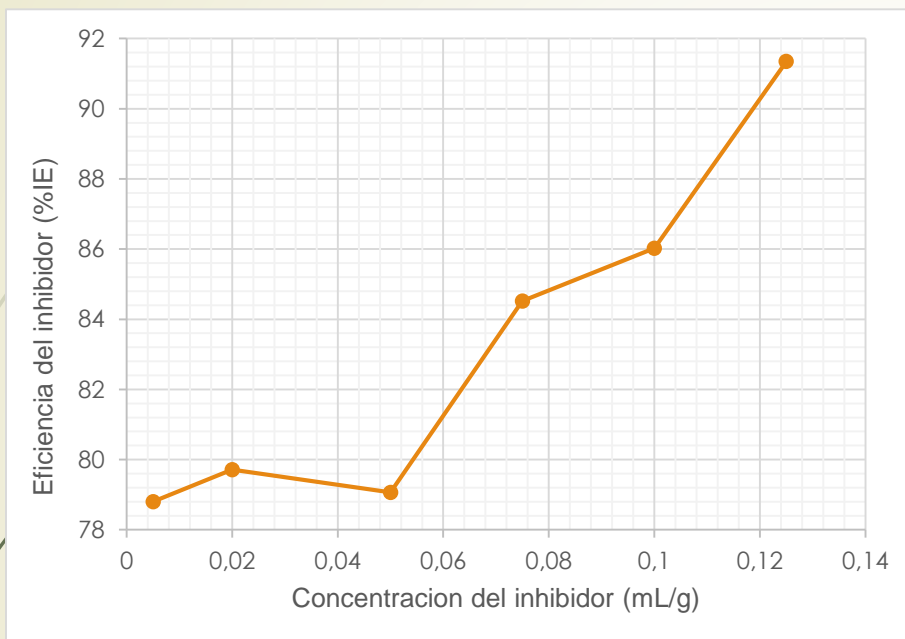
Gráfica 24: Isoterma de adsorción de Frumkin para acero A36 en HCl 0,5 M a diferentes concentraciones del extracto de matico.

Isoterma de Langmuir del Extracto de Matico

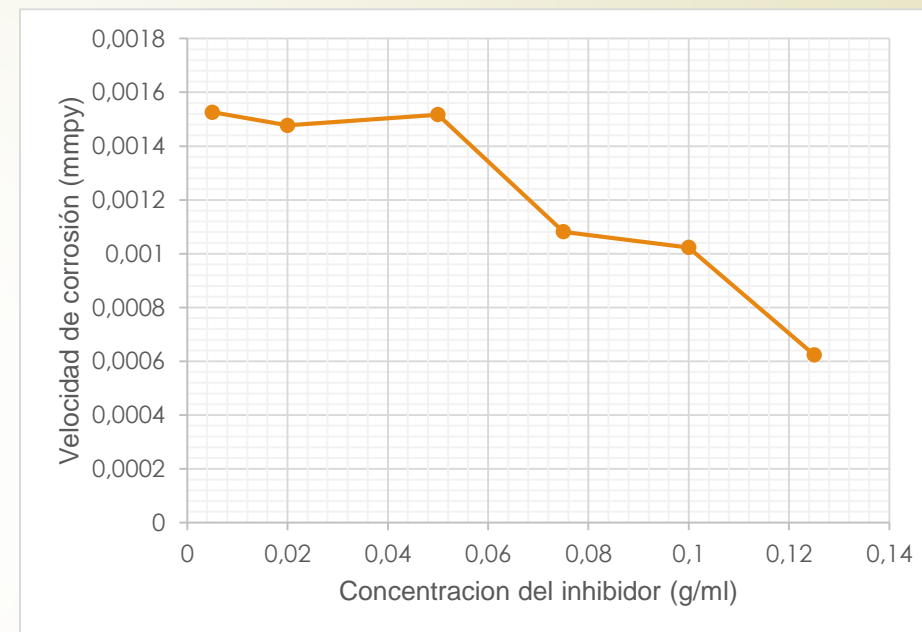


Gráfica 23: Isoterma de adsorción de Langmuir para acero A36 en HCl 0,5 M a diferentes concentraciones del extracto de matico.

# Desarrollo de la isoterma de Adsorción



**Gráfica 25: Concentración del inhibidor(mL/g) vs Eficiencia de inhibición (%IE) de acero al carbono A36 a diversas concentraciones del extracto de Matico en solución 0,5M de HCl**



**Gráfica 26: Concentración del inhibidor(mL/g) vs Velocidad de corrosión (mmpy) de acero al carbono A36 a diversas concentraciones del extracto de Matico en solución 0,5M de HCl**

# Conclusiones

A partir de los ensayos fitoquímicos, se identificó que el efecto inhibitor de ambos extractos se debe a la presencia de flavonoides, taninos y compuestos fenólicos. Esta información fue validada por los ensayos de FT-IR, dando como resultado una serie de grupos funcionales (C=O, O-H, C-O) y anillos aromáticos, que son capaces de interactuar con la superficie metálica para inhibir la corrosión.

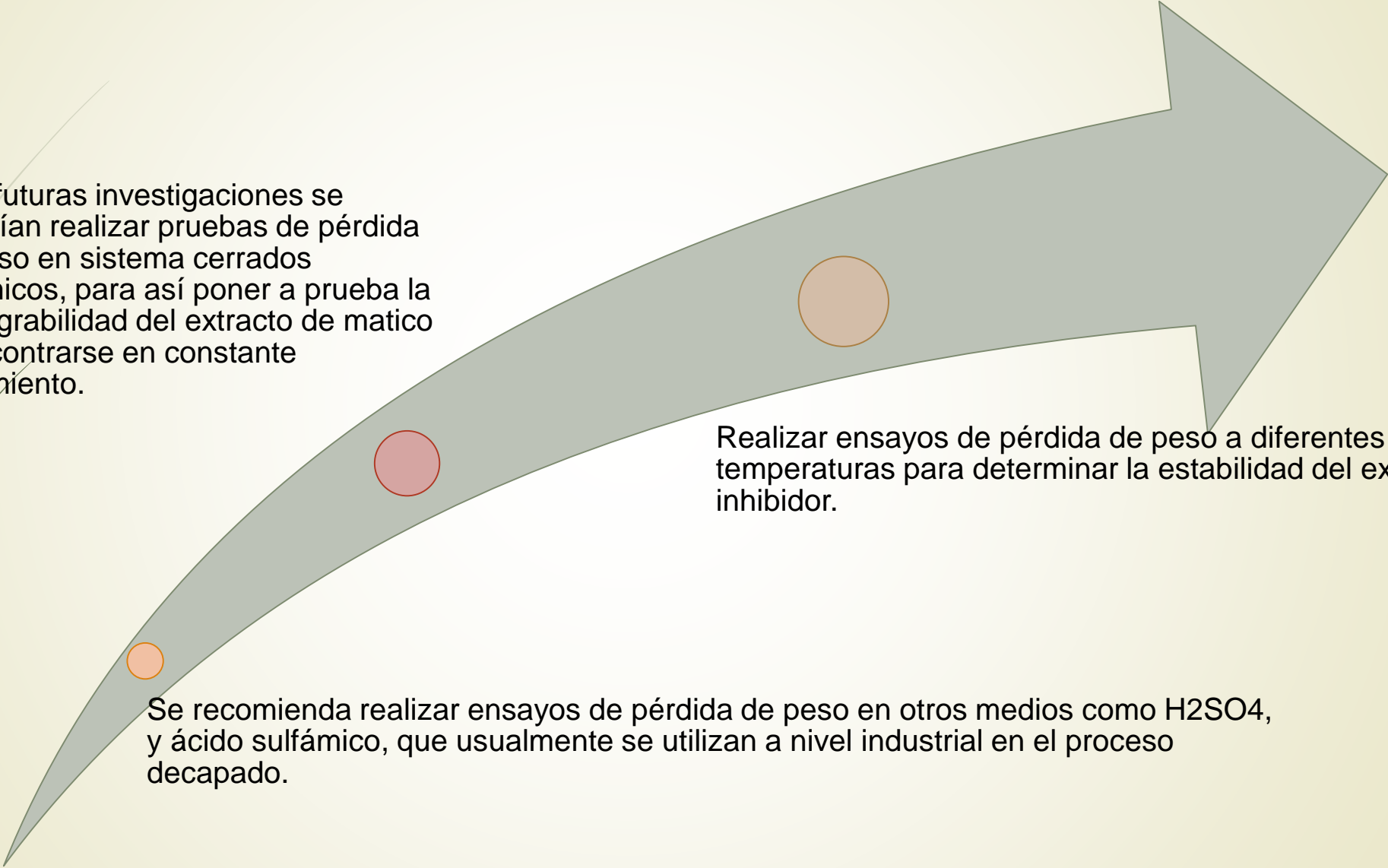
Los extractos estudiados inhiben la corrosión mediante la formación de una película protectora, debido a la reacción de complejación entre la superficie del acero al carbono A36 y los grupos polares de cada extracto, como lo revela el análisis FT-IR.

El Análisis de varianza (ANOVA) establece que todos los factores influyen estadísticamente en el proceso de inhibición a la corrosión, pero los más relevante durante las corridas experimentales son el factor C (medio corrosivo), y las interacciones de los factores AB.

El extracto inhibitor (matico), se ajusta a la isoterma de Langmuir y con los datos de Energía Libre de Gibbs se estableció que el inhibitor se adsorbe físicamente sobre la superficie del acero al carbono A36.

Debido a que los extractos de matico y llantén presentaron altas eficiencias en soluciones electrolíticas (0,5M HCl), algunas superiores al 90% se demostró que ambos extractos tienen gran potencial para ser considerado como inhibidores naturales en dicho medio.

# Recomendaciones



Para futuras investigaciones se deberían realizar pruebas de pérdida de peso en sistema cerrados dinámicos, para así poner a prueba la biodegradabilidad del extracto de matico al encontrarse en constante movimiento.

Realizar ensayos de pérdida de peso a diferentes temperaturas para determinar la estabilidad del extracto inhibidor.

Se recomienda realizar ensayos de pérdida de peso en otros medios como  $H_2SO_4$ , y ácido sulfámico, que usualmente se utilizan a nivel industrial en el proceso de decapado.

# Bibliografía

- Aguilar, N. A., & Caraballo, J. J. (2016). *Estudio de la eficiencia inhibidora de corrosión con un impacto favorable al medio ambiente a partir del residuo de café para su aprovechamiento en el sector industrial (Tesis de Pregrado)*. Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Al-Otaibi, M. S., Al-Mayouf, A. M., Khan, M., Mousa, A. A., Al-Mazroa, S. A., & Alkhatlan, H. Z. (2014). Corrosion inhibitory action of some plant extracts on the corrosion of mild steel in acidic media. *Arabian Journal of Chemistry*, 7(3), 340–346. <https://doi.org/10.1016/J.ARABJC.2012.01.015>
- Jokar, M., Farahani, T. S., & Ramezanzadeh, B. (2016). Electrochemical and surface characterizations of morus alba pendula leaves extract (MAPLE) as a green corrosion inhibitor for steel in 1M HCl. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 63, 436–452. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.02.027>
- García, R. (2014). Inhibidores de corrosión de acero en medios ácidos a partir de extractos naturales. Universidad Autónoma de California.
- Sastri, V. S. (2011). *Green corrosion inhibitors; Theory and Practice*. New Jersey: Jhon Wiley & Son.



*Muchas  
Gracias!*

**Franco Pincay Jipson Joel**

[jjfranco@espol.edu.ec](mailto:jjfranco@espol.edu.ec)

# PREGUNTAS



# Anexo A

Test	Concentración del inhibidor (g/ml)	Pruebas	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Pérdida de peso(g)	Pérdida de peso media (g)	Desviación estándar	Eficiencia
blanco	0	1	42,7057	41,5856	1,1201	1,08735	0,04632	----
		2	43,7534	42,6988	1,0546			
llantén	0,05	1	43,3608	42,7529	0,6079	0,59715	0,0152	45,082
		2	42,769	42,1826	0,5864			
llantén	0,1	1	42,6627	40,2912	1,1046	1,1549	0,07693	0,7549
		2	43,2879	41,4745	1,2134			
matico	0,05	1	42,8331	40,0505	0,9456	1,015	0,09816	6,64
		2	43,1586	41,0003	1,08443			
matico	0,1	1	42,9992	42,6343	0,3649	0,3521	0,0181	67,619
		2	43,7856	43,4463	0,3393			

Tabla 6: Estudio de Pérdida de peso de las láminas de acero al carbono A36 en 1M HCl por 14 días

Test	Concentración del inhibidor (g/mL)	Pruebas	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Pérdida de peso (g)	Pérdida de peso media (g)	Desviación estándar	Eficiencia (%)
blanco	0	1	42,7041	38,7378	3,9663	3,4804	0,687166	----
		2	43,8885	40,894	2,9945			
llantén	0,05	1	41,8239	40,456	1,3679	1,33495	0,046598	61,6438
		2	43,4654	42,1634	1,302			
llantén	0,1	1	42,8552	42,3777	0,4775	0,4692	0,011738	86,5188
		2	44,6547	44,1938	0,4609			
matico	0,05	1	42,9992	41,4303	1,5689	1,46835	0,142199	57,8109
		2	43,5487	42,1809	1,3678			
matico	0,1	1	43,1002	42,8251	0,2751	0,26815	0,009829	92,2954
		2	44,1023	43,8411	0,2612			

Tabla 7: Estudio de Pérdida de peso de las láminas de acero al carbono A36 en 0,5M HCl por 14 días



## Anexo B

	% Eficiencia(p/p)	Peso de hojas secas recogidas (g)	Densidad (g/mL)	Volumen de extractos utilizados (mL)
<b>Extracto de Matico</b>	14,25	1078,9	0,978	157,20
<b>Extracto de Llantén</b>	16,26	594,15	0,954	96,61

Tabla 8: Eficiencia de extracción de los extractos

<b>Extracto de matico (g/mL)</b>	<b>Grado de protección</b>
<b>Técnica de pérdida de peso</b>	
<b>Blanco</b>	0
<b>0,005</b>	0,788
<b>0,02</b>	0,7971
<b>0,05</b>	0,7906
<b>0,075</b>	0,8451
<b>0,1</b>	0,8602
<b>0,125</b>	0,9134

Tabla 9: Datos para el desarrollo de la isoterma de adsorción

## Anexo C

Inhibidor a base de extracto de matico							
Extracto inhibidor	Hoja seca(g)	Etanol (ml)	Eficiencia	Masa extracto (g)	Precio de la hoja seca	Precio etanol	Precio producción
Producción por etapa	150	1000	14,25%	21,375	\$ 1,50	\$ 1,00	\$ 2,50
Producción de 1kg	7017,5439	46783,6	14,25%	1000	\$ 70,18	\$ 46,7836	\$ 116,96
Producción de 5 kg	35087,719	46783,6	14,25%	5000	\$ 350,88	\$ 46,7836	\$ 397,66
Inhibidor comerciales							
Inhibidor comercial	precio		masa del inhibidor (g)		precio x 5kg		
Crc Lectra Shield Líquido	\$ 38,70		285		\$ 678,95		
Crc Sp-400, Lata De Aerosol	\$ 30,14		285		\$ 528,70		
Hot Max 27053 Tap Mági	\$ 57,09		425		\$ 671,68		

Tabla 10: Posibles costo de producción de los extractos inhibidores