



Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química



EVALUACIÓN DE INHIBIDORES DE INCRUSTACIONES EN TUBERÍAS DE AGUA DE PRODUCCIÓN EN PRESENCIA DE CO₂

Tutor Académico:
Francisco Yáñez

Presentado por:
Richard Cabrera
Ramón Losada

Caracas, Noviembre 2010

CONTENIDO

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

ANTECEDENTES

OBJETIVOS

MARCO METODOLÓGICO

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

The background features abstract, flowing, wavy lines in shades of blue and green. The blue lines are positioned in the upper half, and the green lines are in the lower half, both appearing to move across the frame. The text is centered in the middle of the image.

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN



AGUAS DE PRODUCCIÓN



90 %

- A PARTIR DE LAS AGUAS QUE QUEDARON ATRAPADAS EN LAS ROCAS DURANTE EL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN.
- A PARTIR DE LA FILTRACIÓN DE LAS AGUAS A TRAVÉS DEL AFLORAMIENTO DE LAS ROCAS.
- A PARTIR DE LA MEZCLA DE LAS AGUAS FILTRADAS CON LAS AGUAS RESIDUALES DE LAS ROCAS.





ASEGURAMIENTO DE FLUJO

CARBONATO DE CALCIO (CaCO_3)
CARBONATO DE MAGNESIO (MgCO_3)



FLUJOS POCO
TURBULENTOS.

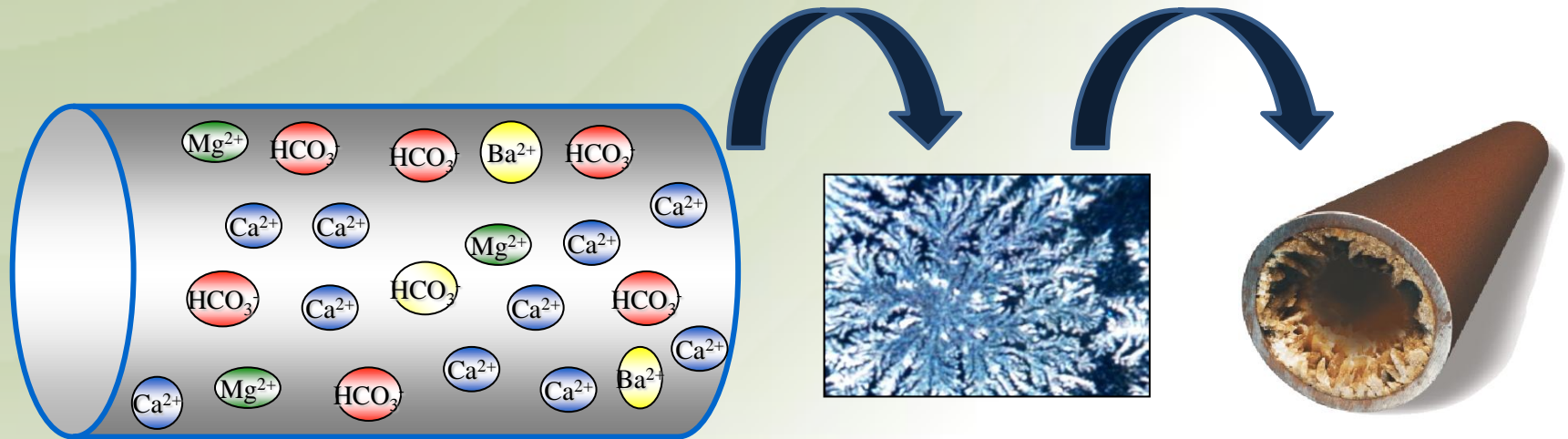
AUMENTO DE LA
TEMPERATURA.

DISMINUCIÓN DE
LA PRESIÓN.

VALORES ELEVADOS
DE pH.

INCRUSTACIONES

LAS INCRUSTACIONES SON DEPÓSITOS DE MINERALES INORGÁNICOS INSOLUBLES, FORMADAS CUANDO SE MEZCLAN AGUAS DE DIFERENTES FUENTES QUE TIENEN CONTENIDOS IÓNICOS, LOGRANDO BLOQUEAR LOS TUBULARES PROVOCANDO DISMINUCIÓN DEL CAUDAL Y AUMENTOS EN LA CAÍDA DE PRESIÓN.

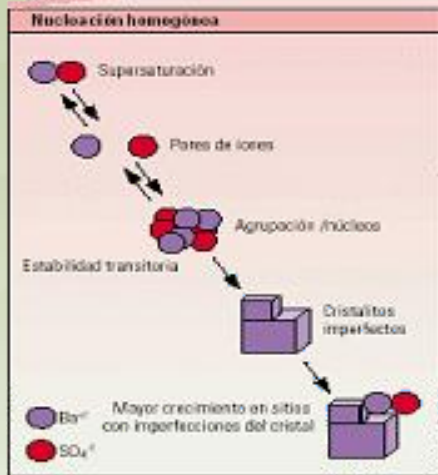
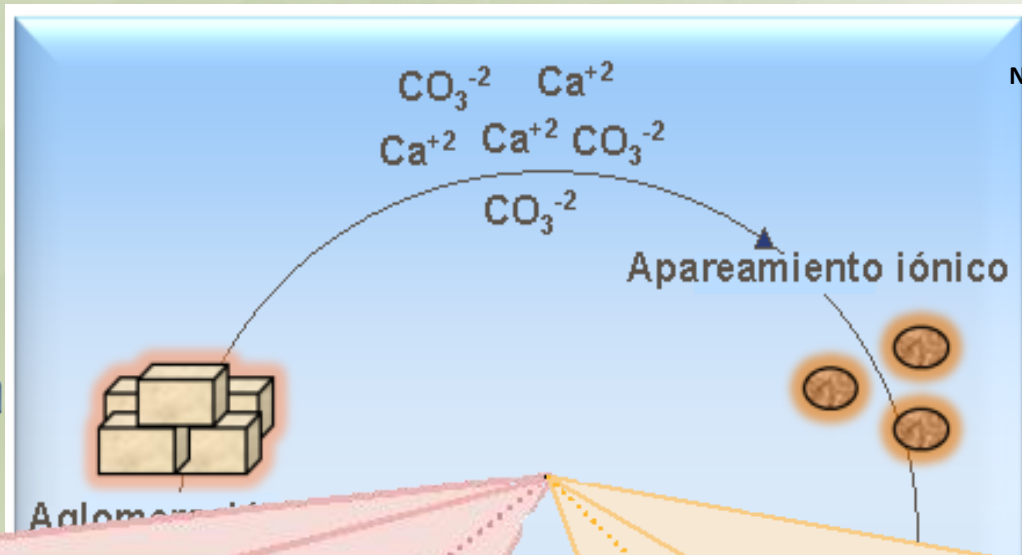


PROCESO DE FORMACIÓN DE LAS INCRUSTACIONES

NALCO. Trends and Advances in Scale Control. Bulletin B-346

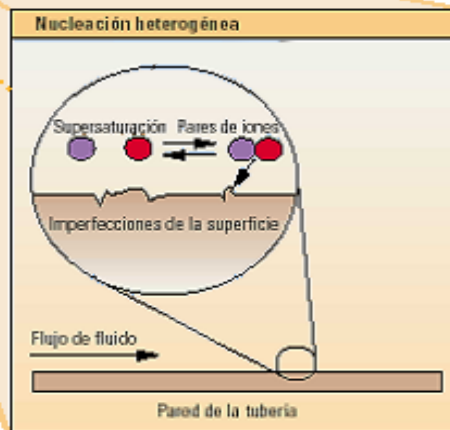
Nucleación Homogénea

Nucleación Heterogénea



los cristales

Nu





~~Presión,
Temperatura,
Caudal,
pH, etc.~~

Métodos de
Remoción



DISMINUIR

- OPERACIÓN
- INSTALACIÓN
- MANTENIMIENTO

CONTROL DE LAS INCRUSTACIONES

IMPACTO **NEGATIVO** SOBRE
LA PRODUCTIVIDAD



SELECCIÓN DEL
MEJOR MÉTODO
DE REMOCIÓN

MÉTODOS QUÍMICOS

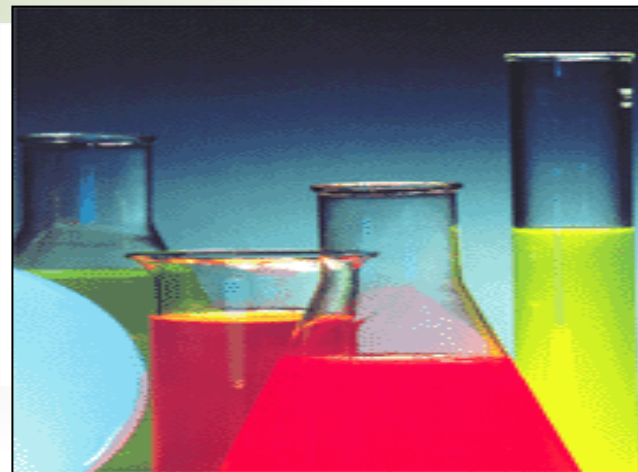
➤ **Ácido Clorhídrico (HCl)**

➤ **Hidrojet**

➤ **Agentes Quelantes**

➤ **Molinillo.**

➤ **Collar de Perlas
Inhibidores.**



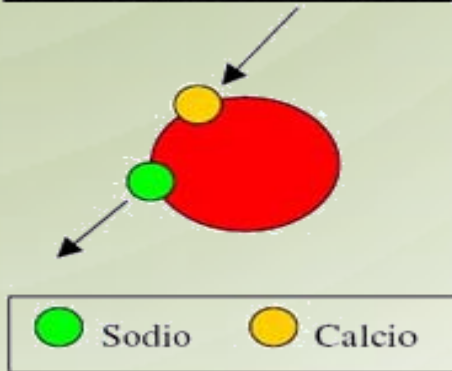
TIPOS DE INHIBIDORES

Polifosfato

Bi-fosfato

Tri-fosfato

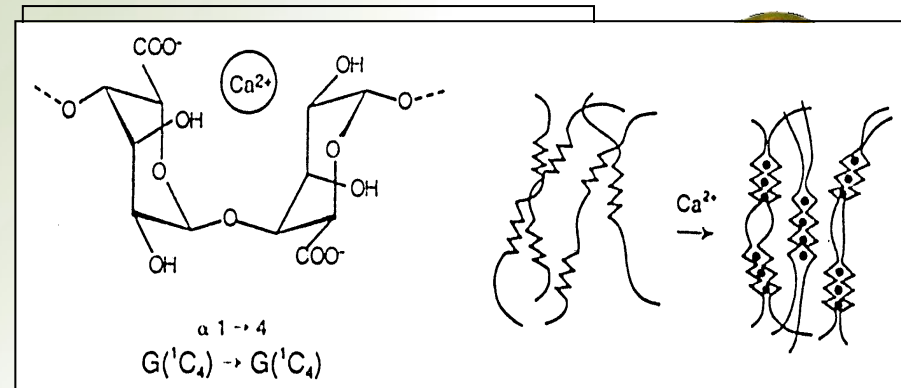
INTERCAMBIO IÓNICO



Biopolímero

Extracto de Mango

Aloe vera



Interior del Mango
caja de Huevo

“ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TECNICA DE APLICACIÓN DE BIOPOLIMEROS Y EFECTO DE LAS NANOPARTICULAS EN EL TRATAMIENTO DE INCRUSTACIONES Y CORROSION EN LA INDUSTRIA DEL GAS”, realizado por Castillo M. Luis A. (2005).

- ANTECEDENTES**
- **Ensayos con aguas de producción siguiendo la Norma NACE TM-0374 a distintas concentraciones de iones Calcio.**
 - **El biopolímero presentó afinidad a iones de calcio en solución, reduciendo la precipitación de los carbonatos de calcio.**
 - **Los cristales formados en presencia del biopolímero muestran sobre su superficie un aglomerado que está asociado a la materia orgánica que inhibe el crecimiento de los mismos.**

**“POLISACARIDOS NATURALES COMO AGENTES ANTI-
INCRUSTANTES”, realizado por Mata O. Carlos A. (2007).**

- Estudio de las características físico-químicas de varios polisacáridos provenientes del *Aloe vera*.
- Los estudios indican que el polisacárido está formado por una estructura hidrocarbonada con grupos funcionales carboxílicos e hidroxílicos.
- El gel de *Aloe vera* 200X, fue el que presentó la mayor estabilidad térmica y la mayor eficiencia.
- El *Aloe vera* 200X puede verse afectado negativamente al aumentar la concentración de calcio.

“DETERMINACION DE LOS PARAMETROS FÍSICO-QUÍMICOS QUE FAVORECEN LA FORMACION DE INCRUSTACIONES EN SUPERFICIES DE HIERRO, SIMULANDO EL COMPORTAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCION”, realizado por Medina V. Luis F., Zea A. Luis A. (2008).

Las condiciones que incentivan la formación de incrustaciones en el sistema son:

- Elevados valores de pH.
- Elevados valores de Temperatura.
- Presencia de sales disueltas en el agua sintética.
- Flujos poco turbulentos.

“ESCALAMIENTO TECNOLÓGICO DE UN INHIBIDOR DE INCRUSTACIÓN A BASE DEL GEL DE *Aloe vera* PARA EL ASEGURAMIENTO DE FLUJO EN LA INDUSTRIA DEL CRUDO Y GAS NATURAL”, realizado por Castillo M. Luis A. (Trabajo de Maestría, 2008).

- Se comprobó que el gel de *Aloe vera* se ajusta al modelo de caja de huevo, logrando modificar las estructuras de los cristales.
- El gel de *Aloe vera* deshidratado se ajusta mejor como inhibidor de incrustación.
- El gel de *Aloe vera* presentó una buena eficiencia y alto desempeño, evitando incrustaciones en PDVSA Occidente, Oriente y Centro Sur del país.

“EVALUACION DE INHIBIDORES ANTI-INCRUSTANTES EN TUBERÍAS DE AGUAS DE PRODUCCIÓN”, realizado por López V. Xuxangela del V., Rojas B. José G. (2010).

- La cantidad de anillos no es una influencia directa para la proporción de incrustación formada.
- Disminución de flujo en estado dinámico y aumento de temperatura en ambos estados, incrementa la presencia de carbonato de calcio en el sistema.
- El orden de eficiencia de los inhibidores fue el siguiente, Tri-Fosfato, Extracto de Mango, *Aloe vera* y Bi-Fosfato
- La MEB indica una morfología de estructura de aragonita y presencia de cloro, calcio y sodio, como cuerpos amorfos.

OBJETIVO GENERAL

EVALUAR LA INFLUENCIA DEL CO_2 EN EL DESEMPEÑO DE INHIBIDORES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS COMO AGENTES ANTI-INCRUSTANTES EN SUPERFICIES DE HIERRO.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

PREPARAR AGUA SINTÉTICA CON PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS SIMILARES AL AGUA DE PRODUCCIÓN BAJO LOS LINEAMIENTOS DE LA NORMA NACE TM-0374.

EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS INCRUSTACIONES EN RÉGIMEN ESTÁTICO MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE CO₂ A DIFERENTES PERÍODOS DE TIEMPO.

DETERMINAR EL PUNTO ÓPTIMO DE INYECCIÓN DE CO₂ EN EL SISTEMA DINÁMICO QUE MAXIMICE LA FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DEL EQUIPO EXISTENTE.

REALIZAR UN BARRIDO DE FLUJO DE CO₂ A FIN DE EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS INCRUSTACIONES A RÉGIMEN DINÁMICO.

REALIZAR UN BARRIDO DE FLUJO DE AGUA SINTÉTICA A FIN DE EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS INCRUSTACIONES A RÉGIMEN DINÁMICO.

DINÁMICO*

REALIZAR UN BARRIDO DE TEMPERATURA A FIN DE EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS INCRUSTACIONES A RÉGIMEN DINÁMICO.

EVALUAR LOS DISTINTOS INHIBIDORES EN FUNCIÓN DE LAS CONDICIONES OBTENIDAS MEDIANTE ENSAYOS ESTÁTICOS Y DINÁMICOS.

DINÁMICO*

CARACTERIZAR FÍSICA Y QUÍMICAMENTE LOS PRECIPITADOS ADHERIDOS A LA SUPERFICIE DE LOS ANILLOS PALL DE 5/8" ANTES Y DESPUÉS DE REALIZADOS LOS ENSAYOS EN PRESENCIA DE INHIBIDORES.

INHIBIDORES*

DESPUÉS DE REALIZADOS LOS ENSAYOS EN PRESENCIA DE

COMPARAR Y SELECCIONAR, EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS, EL INHIBIDOR MÁS EFICAZ BAJO LA PRESENCIA DE CO₂ A LAS CONDICIONES CRÍTICAS DETERMINADAS.

REALIZAR UN MANUAL INSTRUCTIVO QUE ESTABLEZCA EL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL A EMPLEAR JUNTO CON LAS CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA Y QUE FOMENTE EL ESTUDIO DEL USO DE INHIBIDORES PARA EVITAR EL FENÓMENO DE INCRUSTACIÓN EN TUBERÍAS DE AGUA DE PRODUCCIÓN.

DETERMINAR, EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS, EL EFECTO DEL CO₂ SOBRE EL BAJO DESEMPEÑO DE LOS INHIBIDORES ORGÁNICOS A LAS CONDICIONES CRÍTICAS DETERMINADAS.

EVALUAR EL EFECTO DE LOS AGENTES QUÍMICOS COMO REMOVEDORES DE INCRUSTACIÓN A LAS CONDICIONES CRÍTICAS DETERMINADAS EN PRESENCIA DE CO₂.

The background features abstract, flowing, wavy lines in shades of blue and green. The blue lines are positioned in the upper half, and the green lines are in the lower half, creating a sense of movement and depth. The text is centered in the middle of the page.

MARCO
METODOLÓGICO



Trabajo Especial de Grado de *López y Rojas, 2010.*

+

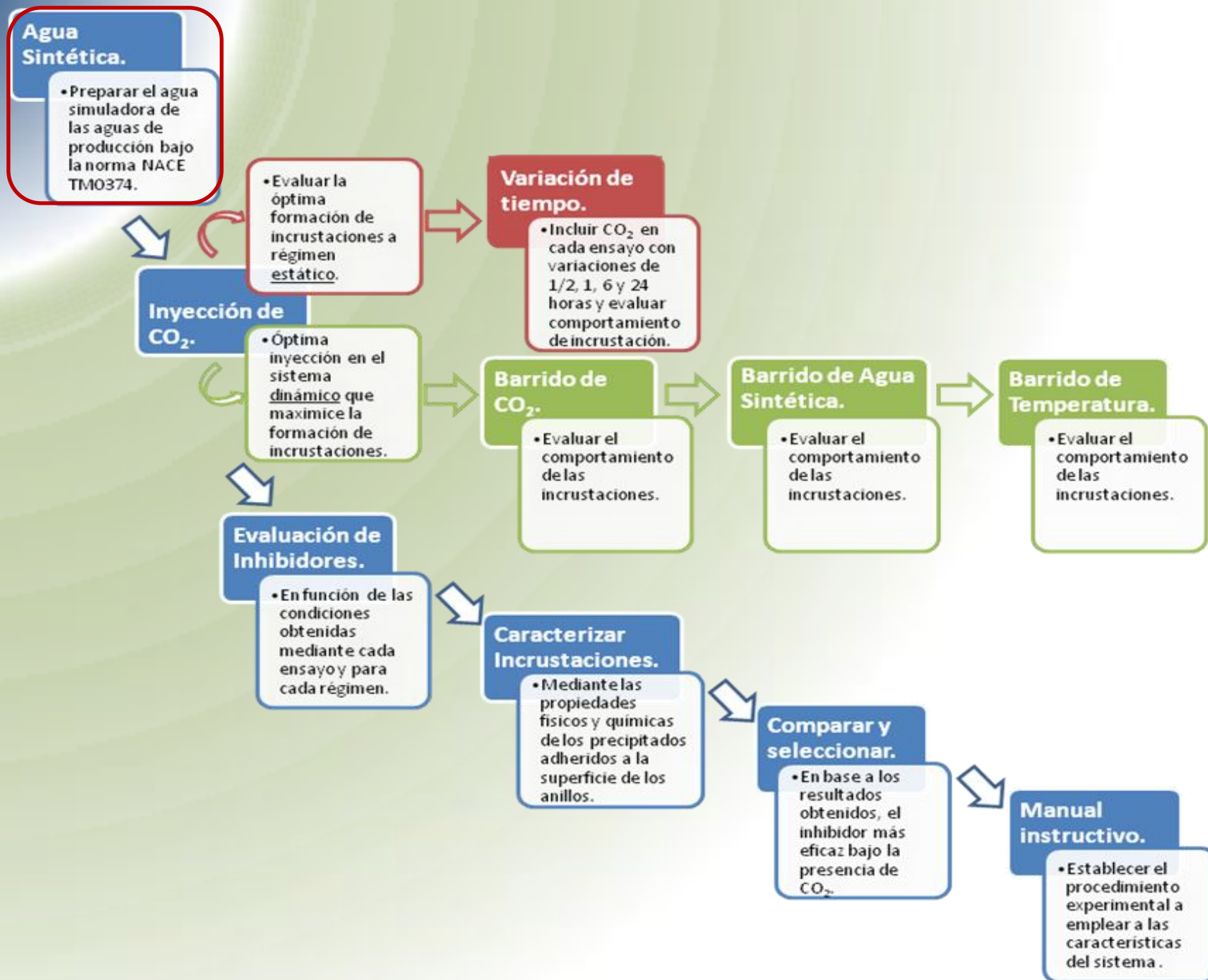
CO₂



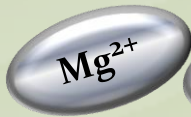
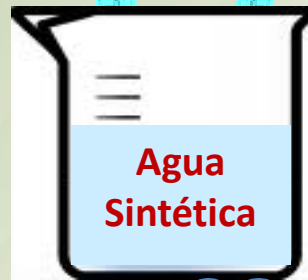
PARÁMETROS

Trabajo Especial de Grado de López y Rojas, 2010.

Nº de anillos Pall 5/8"	Flujo de Agua Sintética	Temperatura
20	30 L/min	50 ± 1 °C
Norma Internacional NACE TM-0374		
Flujo de CO ₂	250 mL/min	
Tiempo de inyección	30 minutos	



Agua Desmineralizada



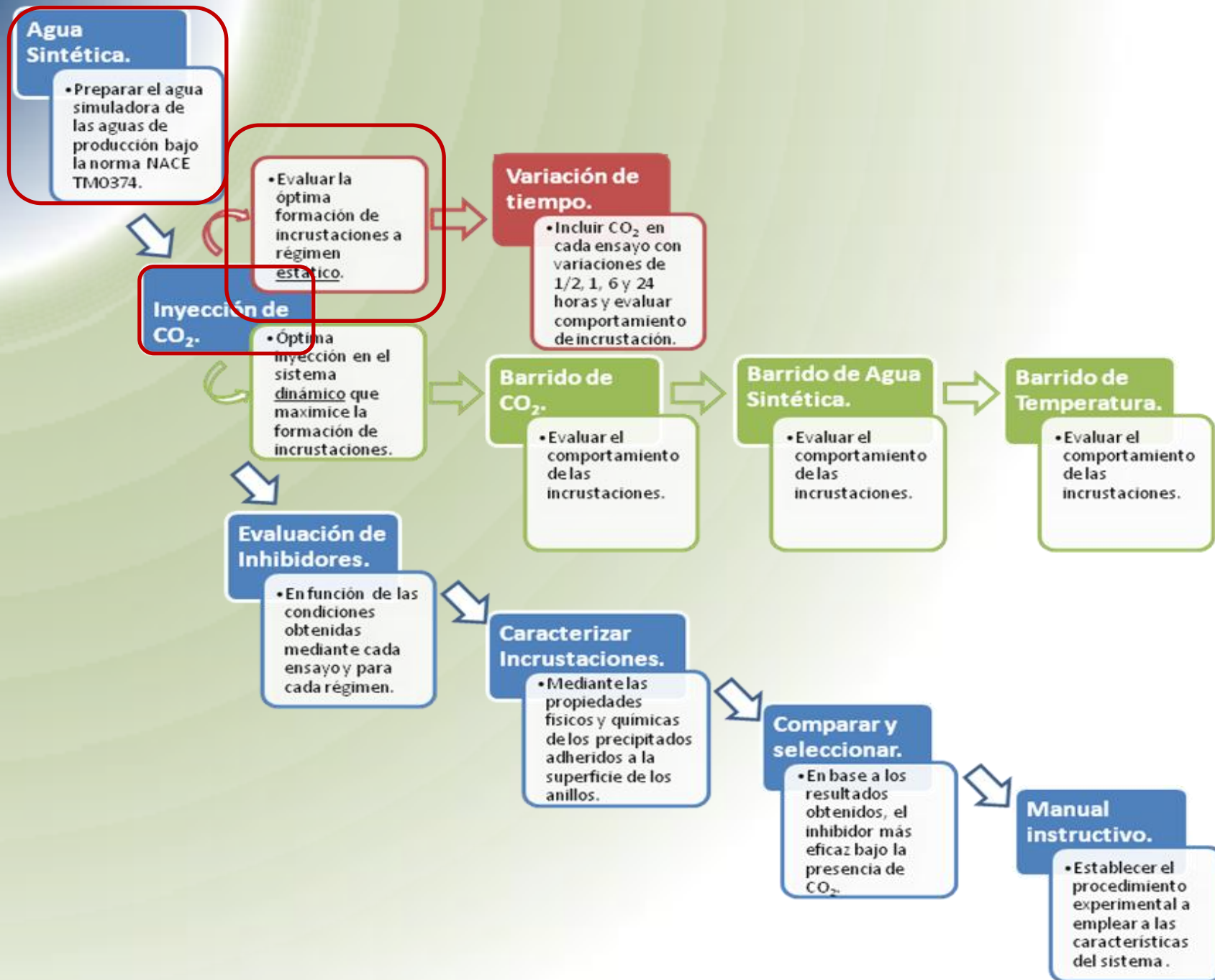
Solución N° 1	12, 15 g/L $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ *
	3,68 g/L $MgCl_2 \cdot 6H_2O$
	33,00 g/L NaCl

1 Litro de Agua Sintética

Solución N° 2	7,36 g/L $NaHCO_3$
	33,00 g/L NaCl

EQUIPO A EMPLEAR PARA PRODUCIR EL AGUA DESMINERALIZADA.





EQUIPO A EMPLEAR PARA LLEVAR A CABO LOS ENSAYOS
EN RÉGIMEN **ESTÁTICO**.

ESTUFA DE
CALENTAMIENTO



CELDAS DE
VIDRIO



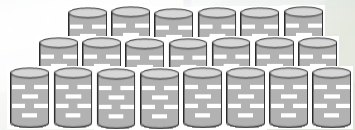
BOMBONA DE
CO₂



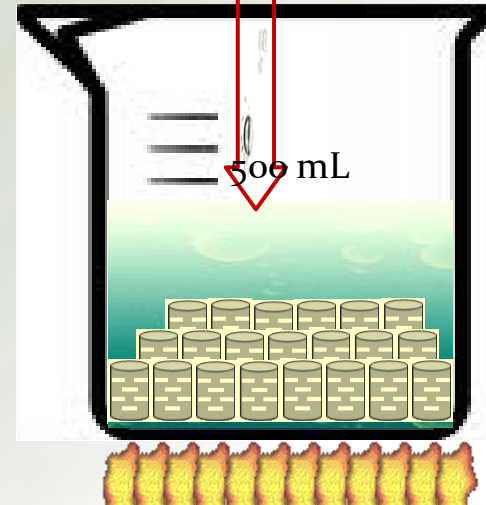
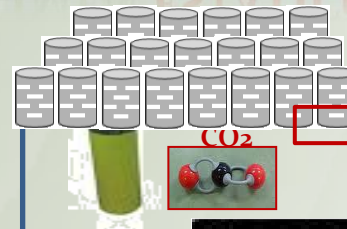
ANILLOS



PROCEDIMIENTO PARA LAS PRUEBAS DE INCRUSTACIONES EN RÉGIMEN **ESTÁTICO**.



$T = 50 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$



$T = 50 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$

Norma Internacional
NACE TM-0374

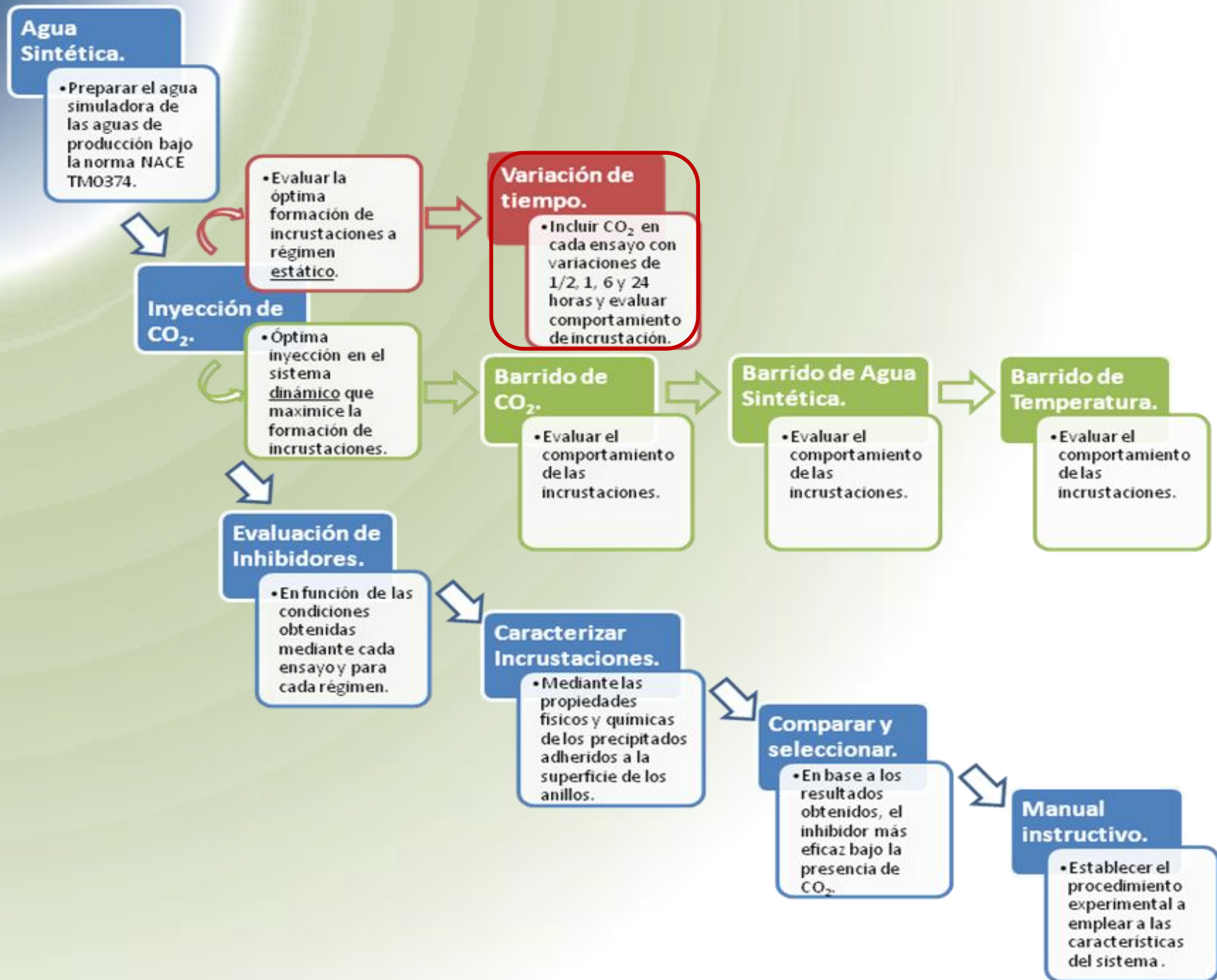
Flujo de CO₂
250 mL/min
Tiempo
30 minutos

Duración del Ensayo: 1 día (24 h)

ENSAYOS EN **ESTÁTICO** CON INCLUSIÓN DE CO₂ A VARIACIONES DE ½, 1, 6 Y 24 HORAS.

Tabla 1. Ensayos de incrustación a régimen estático con variaciones de tiempo.

Nº de Ensayo	Temperatura de operación (°C)	Volumen de Agua Sintética (mL)	Flujo de CO ₂ (mL/min)	Tiempo de inyección de CO ₂ (h)
1	50 ± 1	500	250	½
2	50 ± 1	500	250	1
3	50 ± 1	500	250	6
4	50 ± 1	500	250	24



EQUIPO A EMPLEAR PARA LLEVAR A CABO LOS ENSAYOS EN RÉGIMEN **DINÁMICO**.

• TANQUE DE VIDRIO PIREX® (TK-201)

• BOMBAS CENTRÍFUGAS PEDROLLO (P-201 Y P-202) DE 1/2 HP

• TUBERÍA DE POLICLORURO DE VINILO (PVC)

• TUBERÍA DE PLEXIGLAS (TK-101)

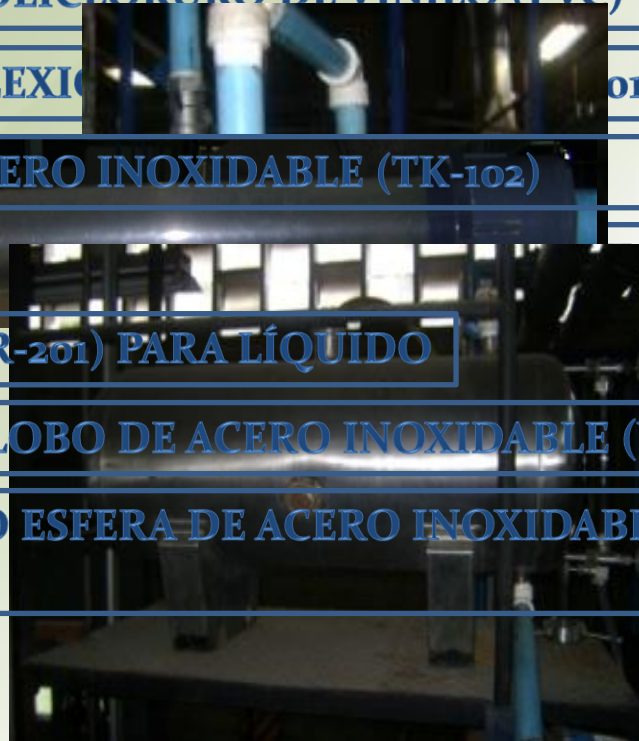
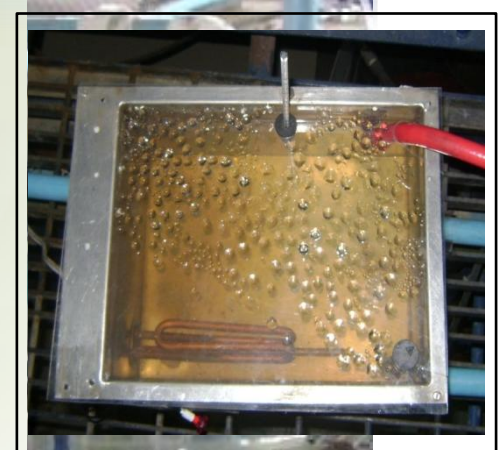
• TANQUE DE ACERO INOXIDABLE (TK-102)

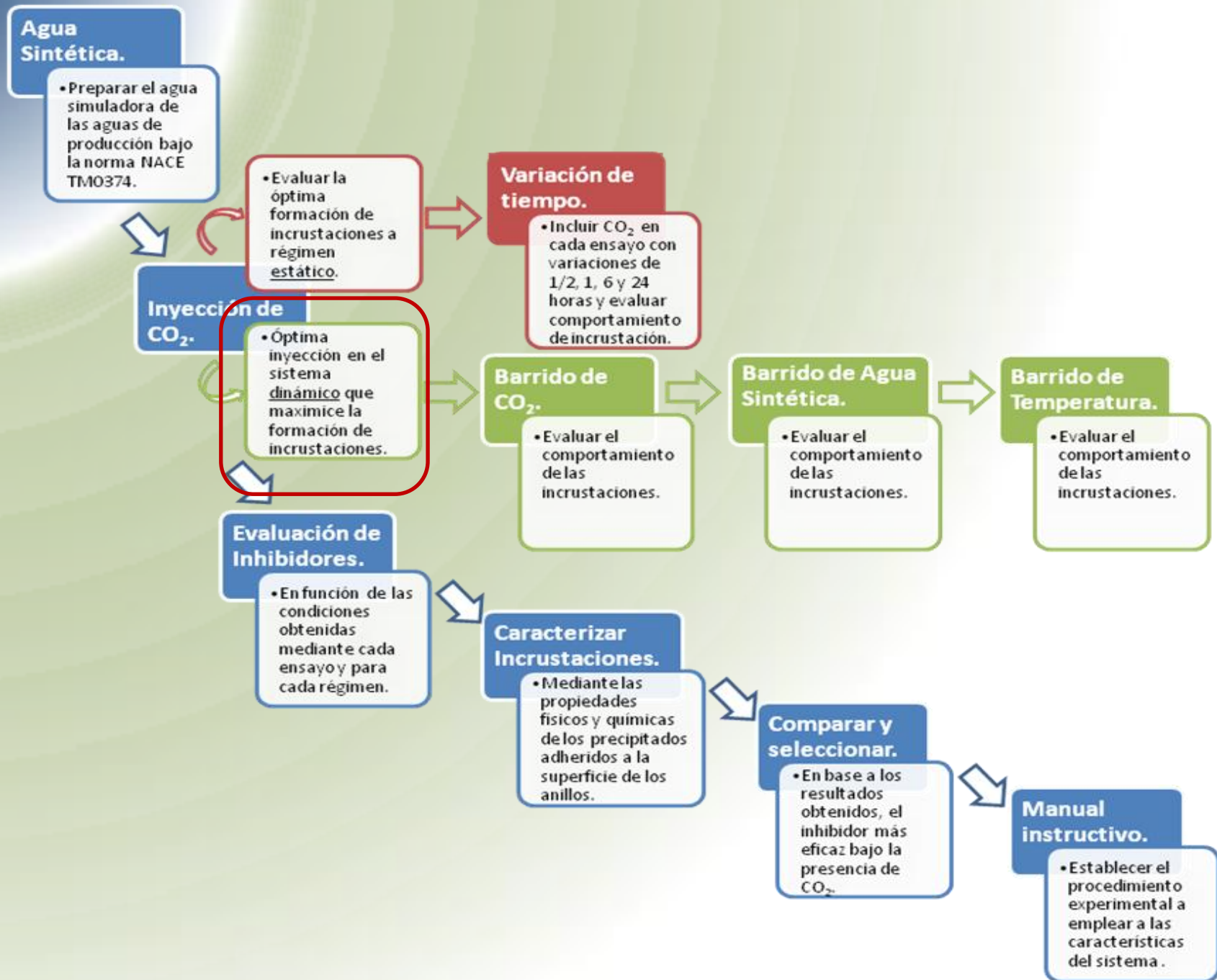
• TANQUE DE ACERO INOXIDABLE (TK-103)

• ROTÁMETRO (R-201) PARA LÍQUIDO

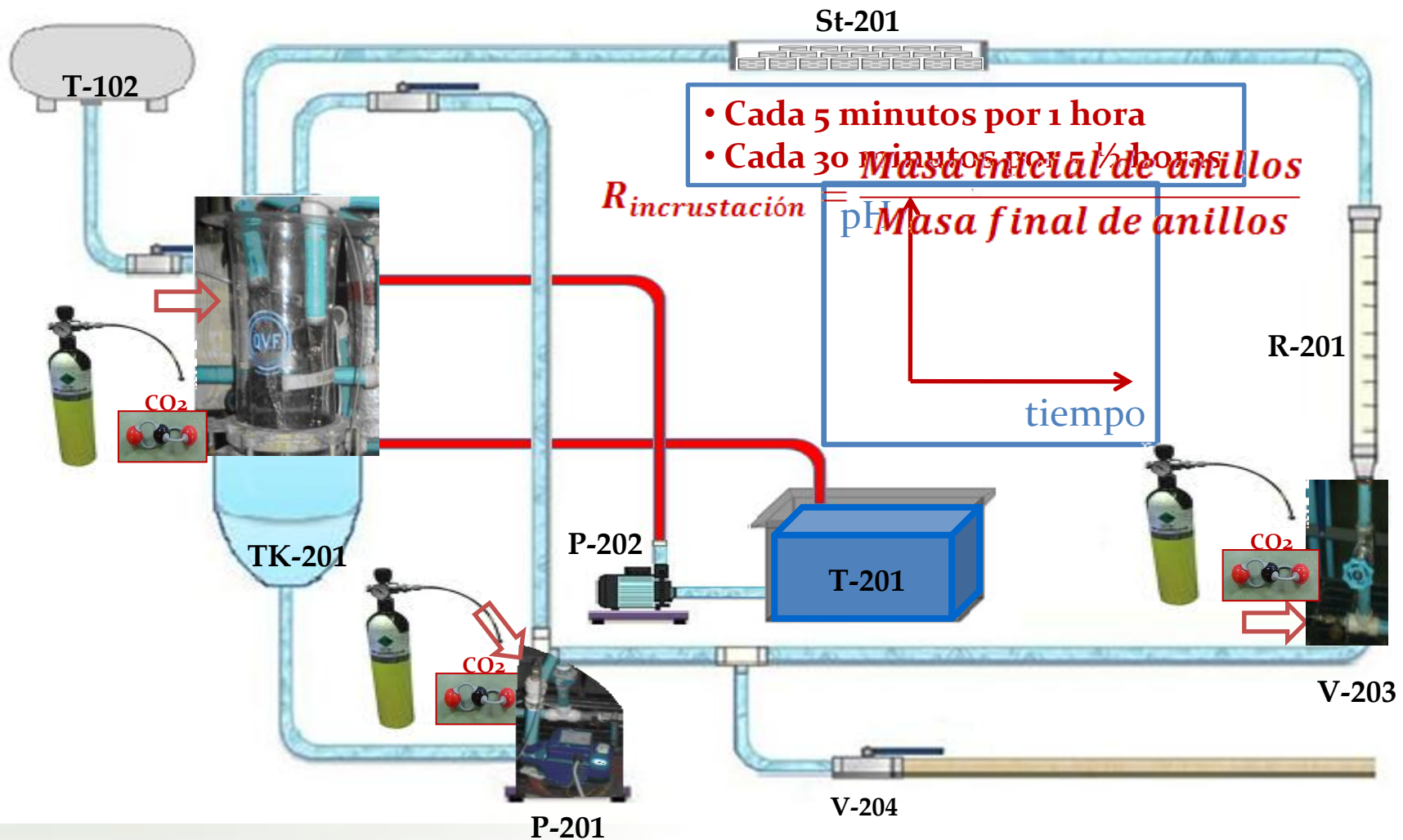
• VÁLVULA DE GLOBO DE ACERO INOXIDABLE (V-202)

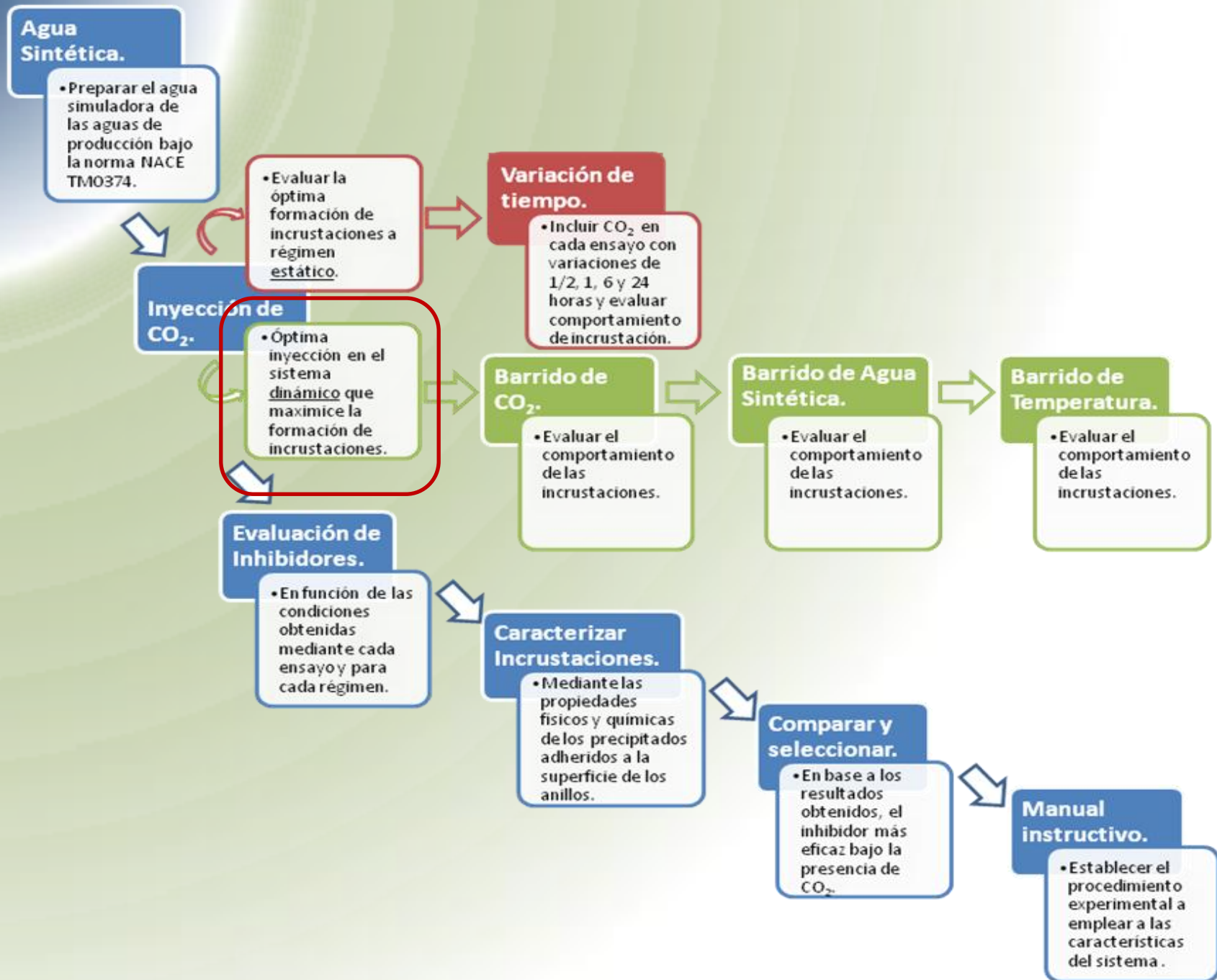
• VÁLVULAS TIPO ESFERA DE ACERO INOXIDABLE (V-201 Y V-202)



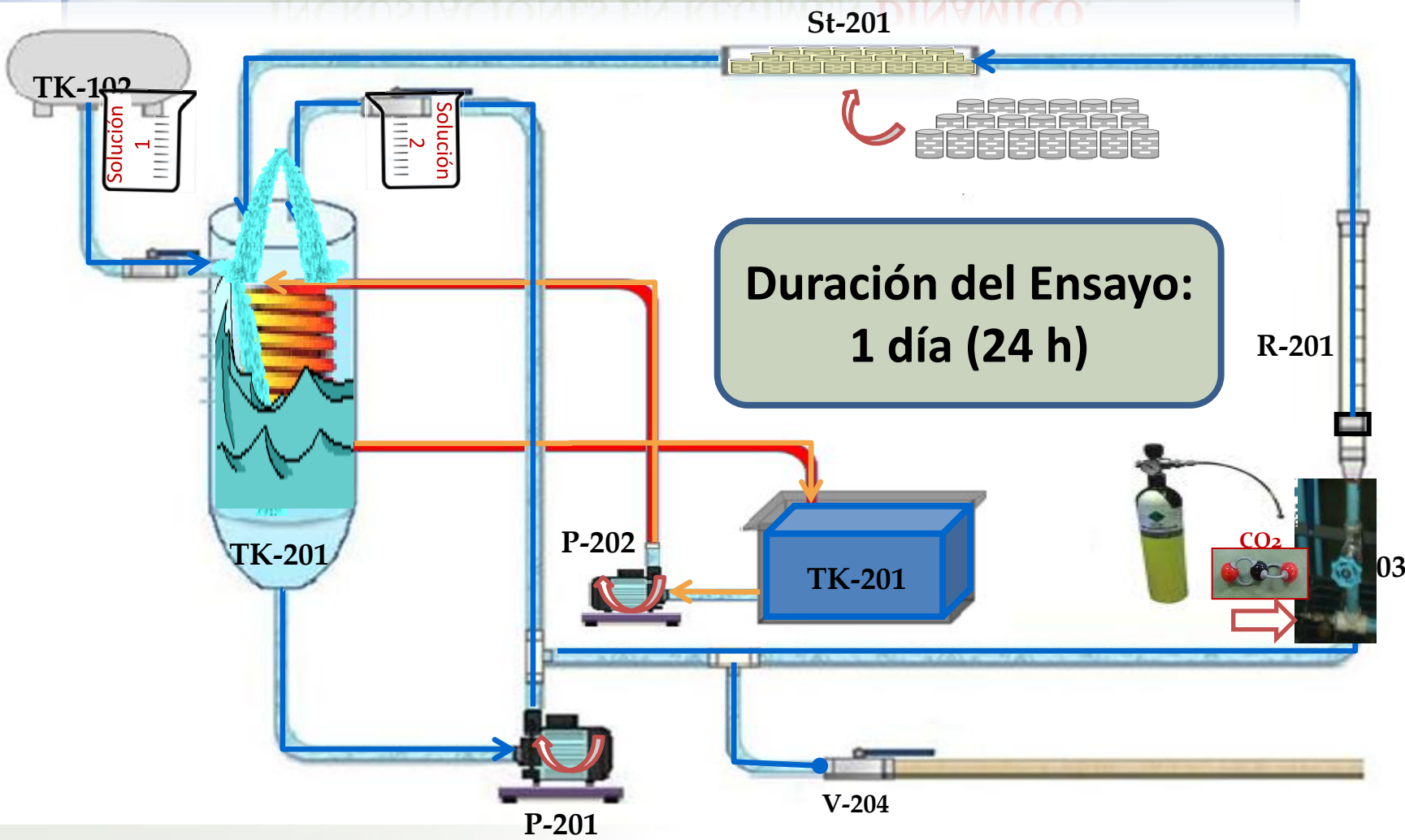


DETERMINACIÓN DEL PUNTO ÓPTIMO DE INYECCIÓN DE CO₂ EN EL SISTEMA DINÁMICO.



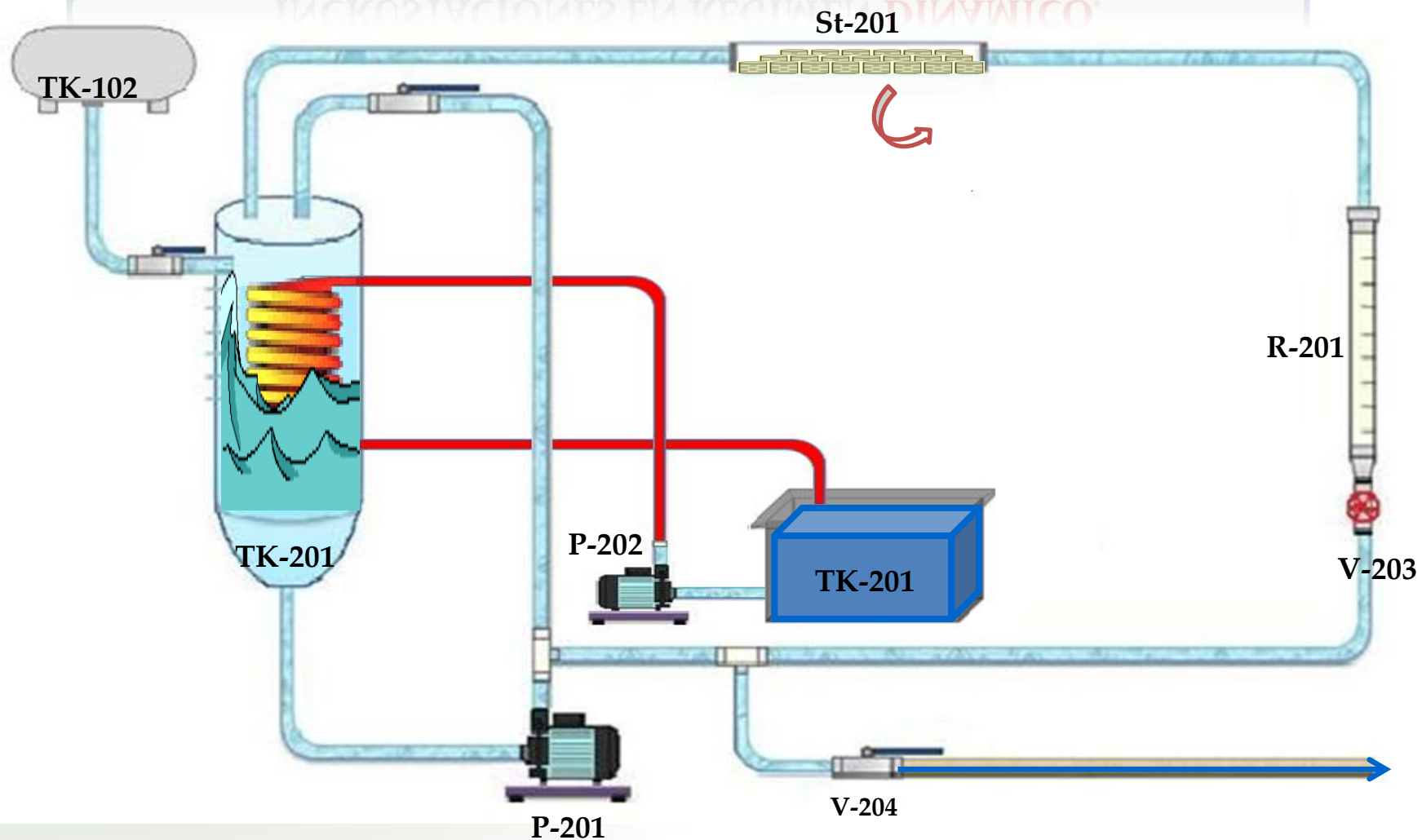


FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO PARA PRUEBAS DE INCRUSTACIONES EN RÉGIMEN DINÁMICO.



**Duración del Ensayo:
1 día (24 h)**

FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO PARA PRUEBAS DE INCRUSTACIONES EN RÉGIMEN DINÁMICO.



ENSAYOS A RÉGIMEN **DINÁMICO** CON BARRIDO DE FLUJO DE CO₂.



Tabla 2. Ensayos de incrustación a régimen dinámico con barrido de flujo de CO₂.

Nº de Ensayo	Cantidad de Anillos Pall 5/8"	Flujo de CO ₂ (mL/min)	Flujo de Agua Sintética (L/min)	Temperatura de operación (°C)
1	20	200	30	50 ± 1
2	20	250	30	50 ± 1
3	20	300	30	50 ± 1



ENSAYOS A RÉGIMEN **DINÁMICO** CON BARRIDO DE FLUJO DE AGUA SINTÉTICA.

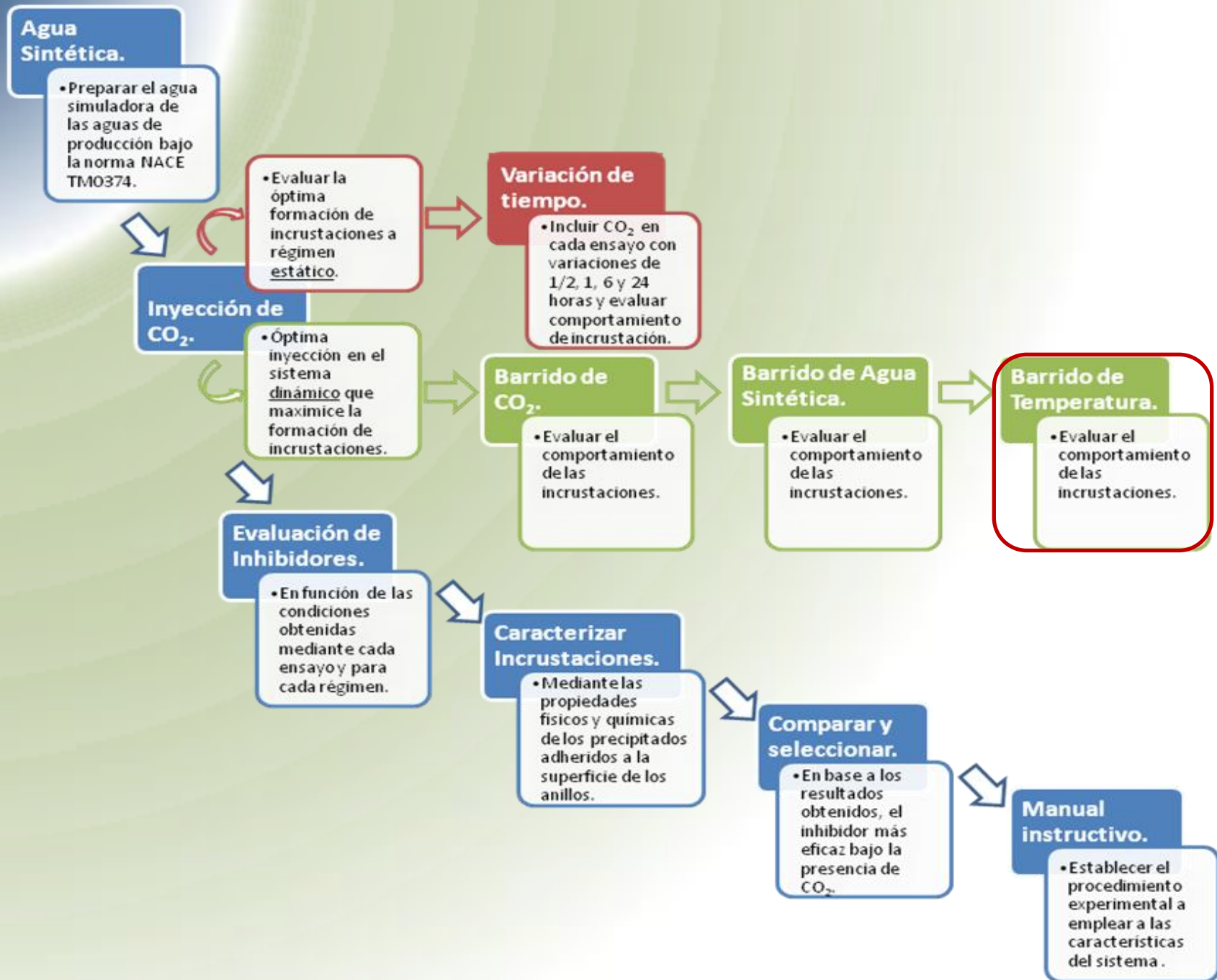
Tabla 3. Ensayos de incrustación a régimen dinámico con barrido de flujo de agua sintética.

Nº de Ensayo	Cantidad de Anillos Pall 5/8"	Flujo de CO ₂ (mL/min) 	Flujo de Agua Sintética (L/min) 	Temperatura de operación (°C)
1	20	Óptimo determinado	15	50 ± 1
2	20	Óptimo determinado	20	50 ± 1
3	20	Óptimo determinado	30	50 ± 1
4	20	Óptimo determinado	40	50 ± 1
5	20	Óptimo determinado	45	50 ± 1





ENSAYOS A RÉGIMEN **DINÁMICO** CON BARRIDO DE TEMPERATURA.

Tabla 4. Ensayos de incrustación a régimen dinámico con barrido de temperatura.

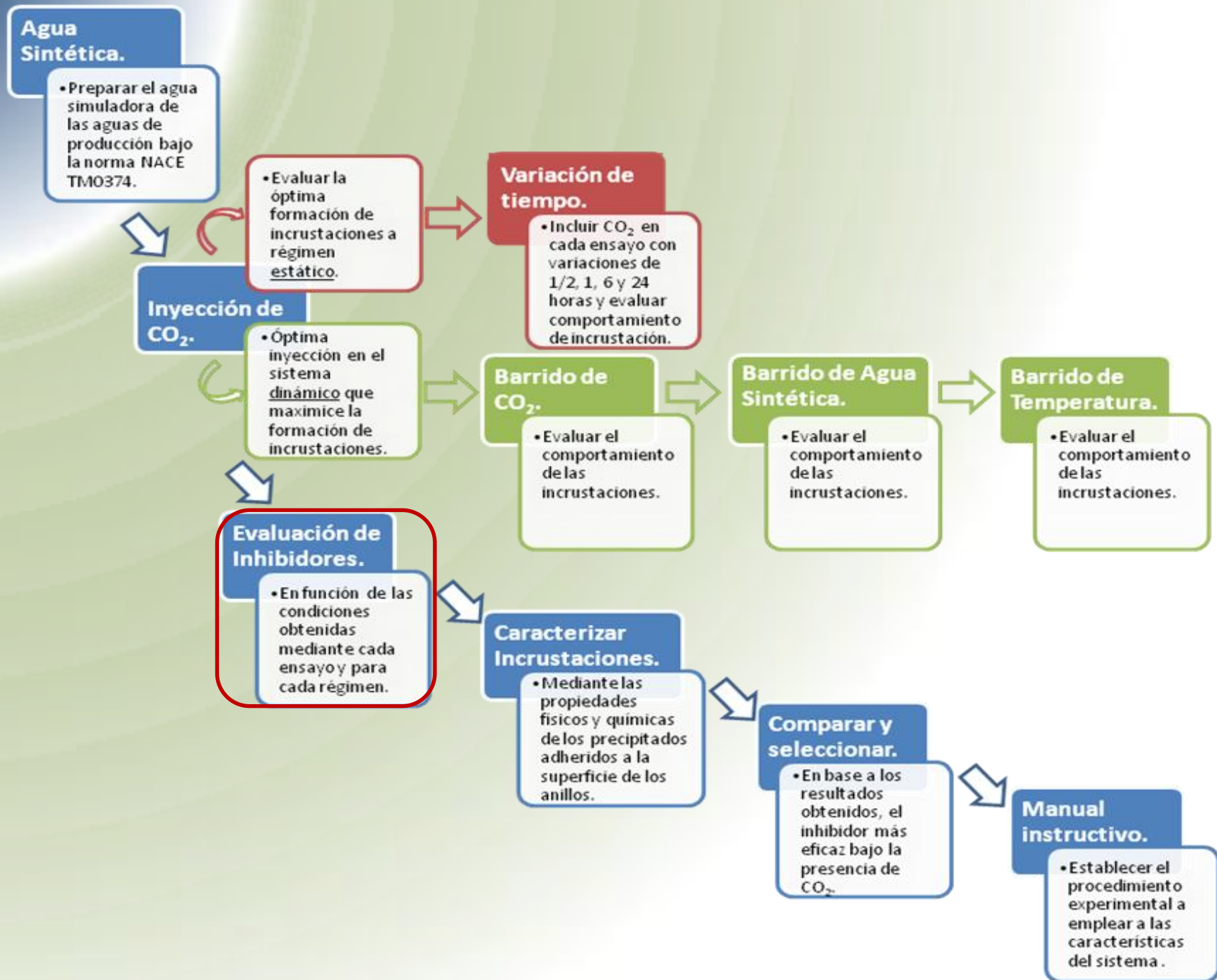
Nº de Ensayo	Cantidad de Anillos Pall 5/8"	Flujo de CO ₂ (mL/min) 	Flujo de Agua Sintética (L/min) 	Temperatura de operación (°C) 
1	20	Óptimo determinado	Óptimo determinado	40 ± 1
2	20	Óptimo determinado	Óptimo determinado	45 ± 1
3	20	Óptimo determinado	Óptimo determinado	50 ± 1
4	20	Óptimo determinado	Óptimo determinado	55 ± 1
5	20	Óptimo determinado	Óptimo determinado	60 ± 1



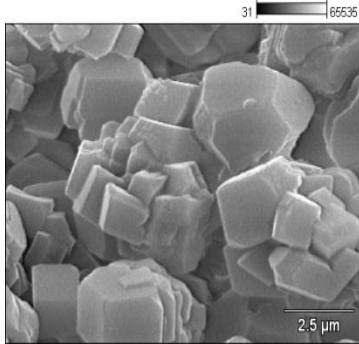
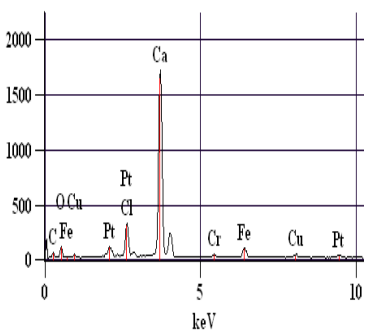
EVALUAR LOS DISTINTOS INHIBIDORES EN FUNCIÓN DE LAS CONDICIONES OBTENIDAS MEDIANTE ENSAYOS ESTÁTICOS Y DINÁMICOS.

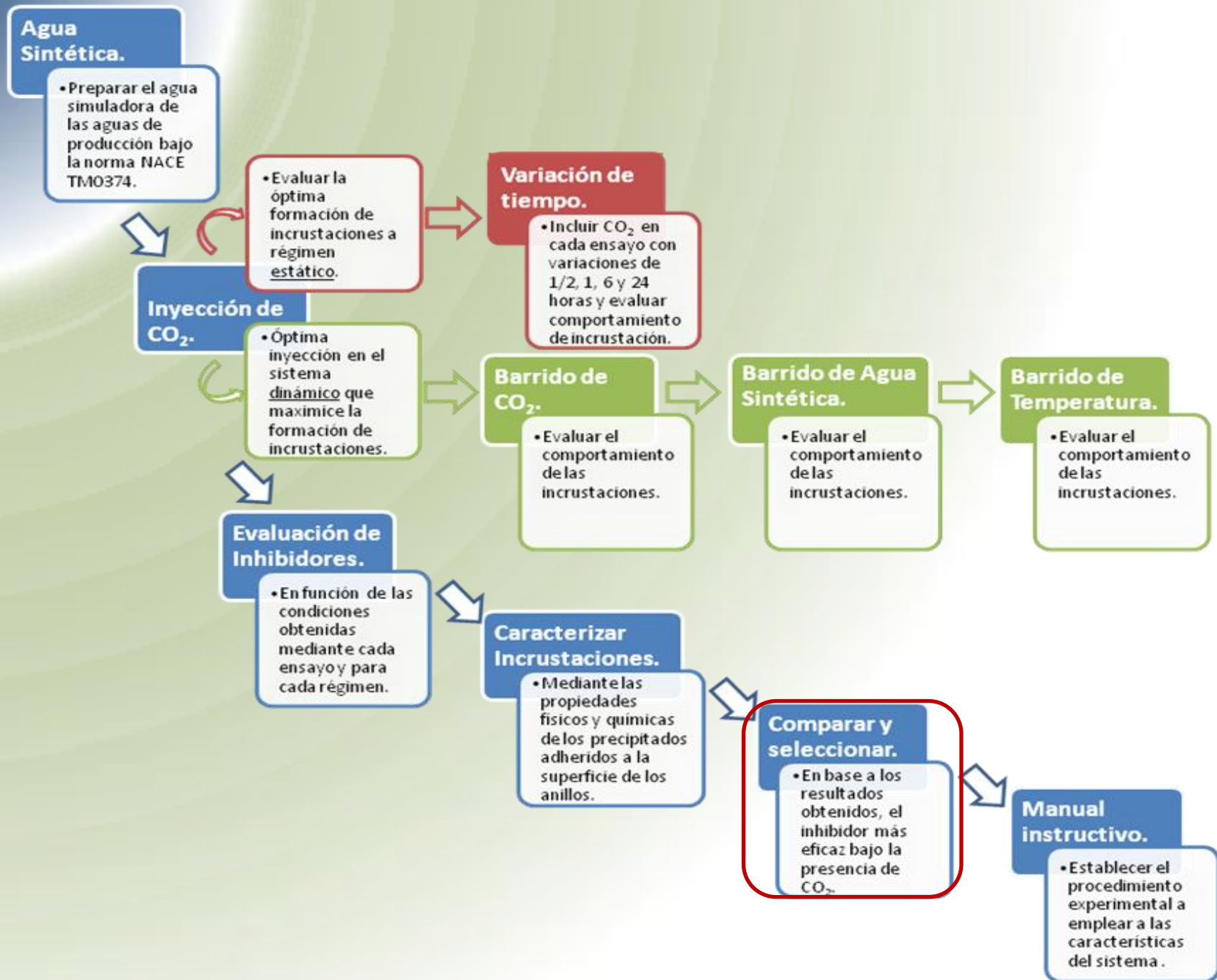
Tipo de Inhibidor	Nombre	
<p>ORGÁNICO</p>	<p>Aloe Vera al 15% p/p .</p>	
	<p>Extracto de aceite de Mango.</p>	
<p>SINTÉTICO</p>	<p>Bi-Fosfato.</p>	
	<p>Tri-Fosfato.</p>	

2000 ppm



MÉTODOS ANALÍTICOS IMPLEMENTADOS

Método Analítico	Basamento	Resultado
MEB	Permite la observación y caracterización superficial de materiales inorgánicos y orgánicos, entregando información morfológica del material analizado.	
EDS	Usada para análisis elemental o caracterización química de una muestra. Se basa en el principio fundamental de que cada elemento tiene una estructura atómica única (Método Cuantitativo).	



The background features abstract, flowing, wavy lines in shades of blue and green. The blue lines are positioned in the upper half, and the green lines are in the lower half, creating a sense of movement and depth. The text is centered in the middle of the page.

**RESULTADOS Y
ANÁLISIS**

CONDICIONES ÓPTIMAS DE FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES.

RELACIONES DE INCRUSTACIÓN EN FUNCIÓN A LA VARIABLE A ESTUDIAR

CONCENTRACIÓN DE CALCIO DE LA SOLUCIÓN FINAL EN FUNCIÓN A LA VARIABLE A ESTUDIAR

$$R_{\text{INCRUSTACIÓN}} = \frac{\text{Masa.Inicial.de.Anillos}}{\text{Masa.Final.de.Anillos}}$$



RELACIÓN DE INCRUSTACIÓN

DEPOSITOS DE CARBONATO DE CALCIO

CONCENTRACIÓN DE CALCIO

DEPOSITOS DE CARBONATO DE CALCIO

CONDICIONES ÓPTIMAS DE FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES A RÉGIMEN ESTÁTICO.

N° DE ANILLOS
20 UNIDADES

VOLUMEN DE
AGUA SINTÉTICA
500 mL

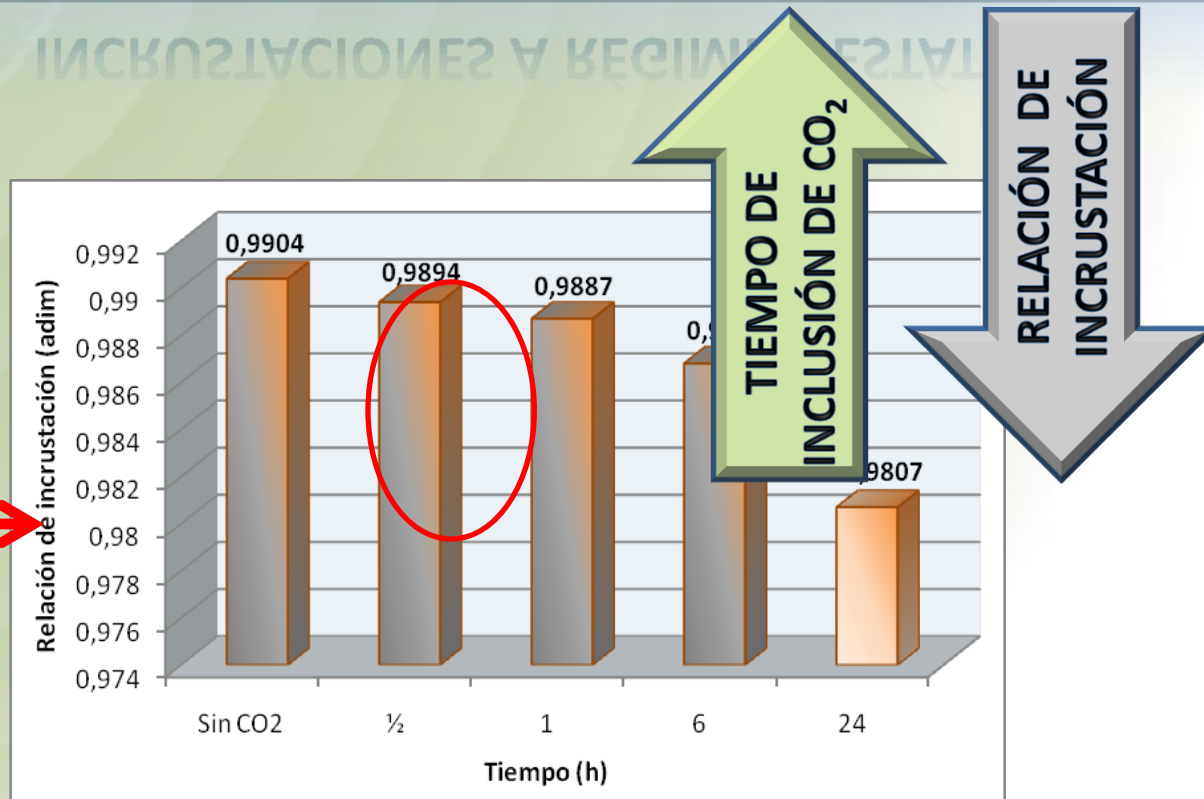
TEMPERATURA
 50 ± 1 °C

FLUJO DE CO₂
250 mL/min

TIEMPO DE
INCLUSIÓN DE
CO₂

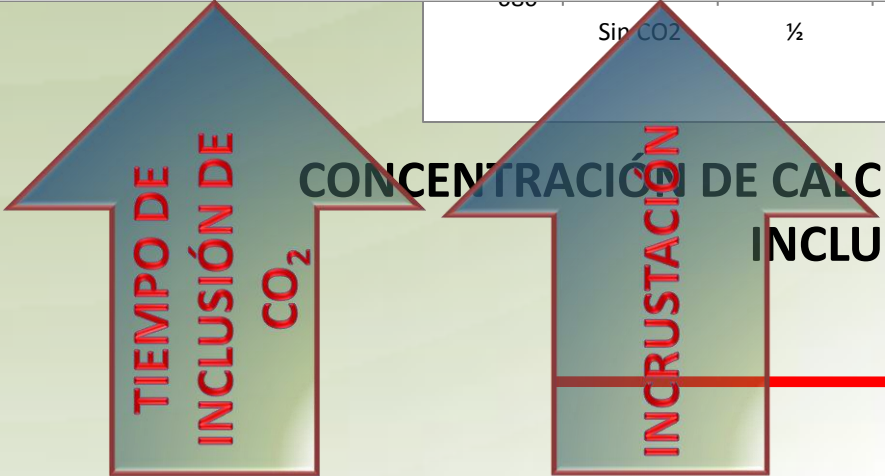
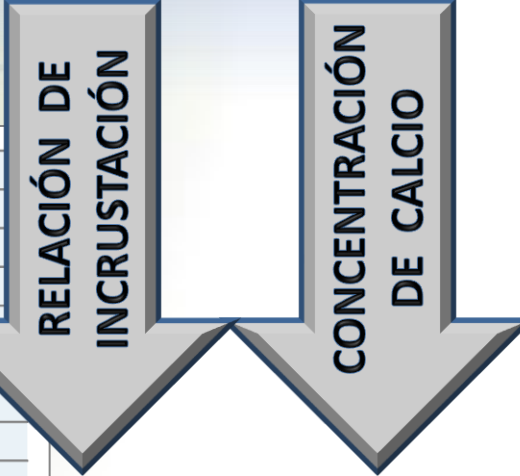
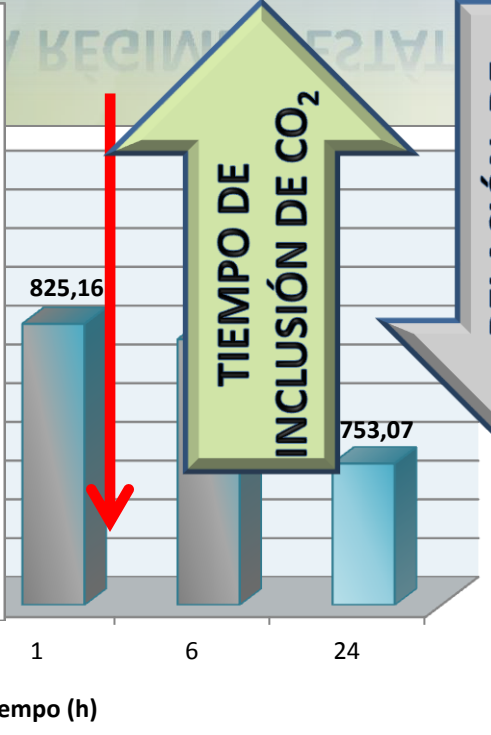
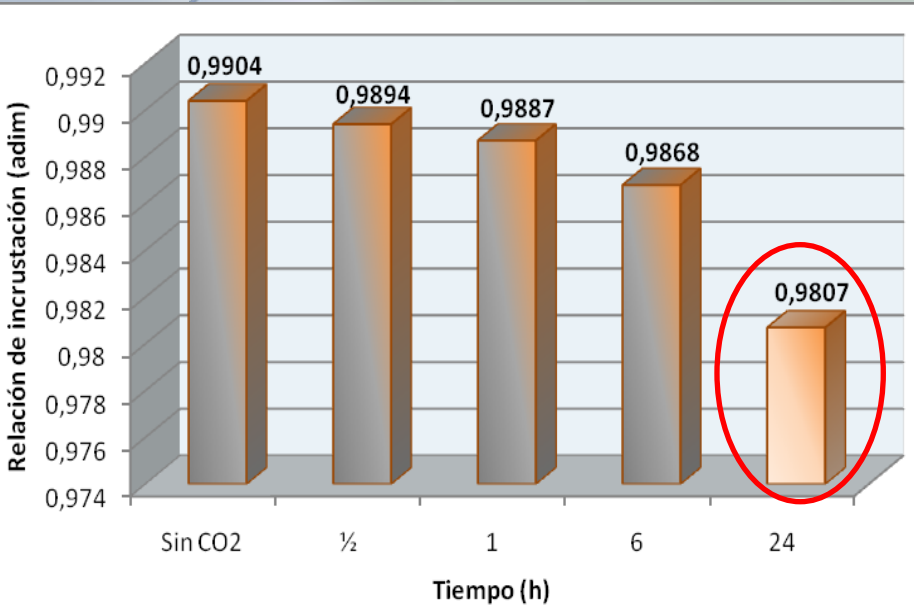


CONDICIONES ÓPTIMAS DE FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES A RÉGIMEN ESTÁTICO.

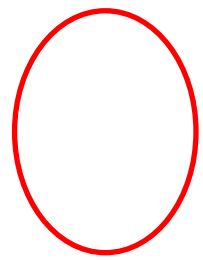


RELACIÓN DE INCRUSTACIÓN EN FUNCIÓN AL TIEMPO DE INCLUSIÓN DE CO₂

CONDICIONES ÓPTIMAS DE FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES A RÉGIMEN ESTÁTICO.

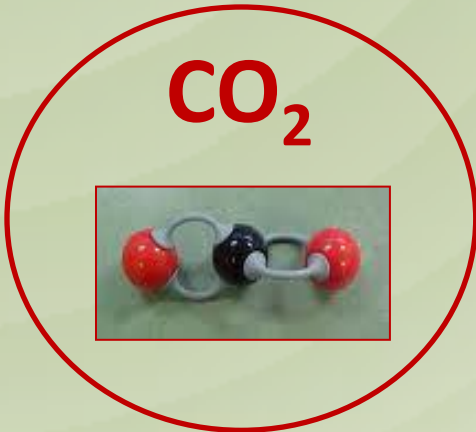


CONCENTRACIÓN DE CALCIO EN FUNCIÓN AL TIEMPO DE INCLUSIÓN DE CO₂



CONDICIONES ÓPTIMAS DE FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES A RÉGIMEN ESTÁTICO.

$$P k_{s(\text{CaCO}_3)} = [\text{Ca}^{2+}][\text{HCO}_3^-]^2$$



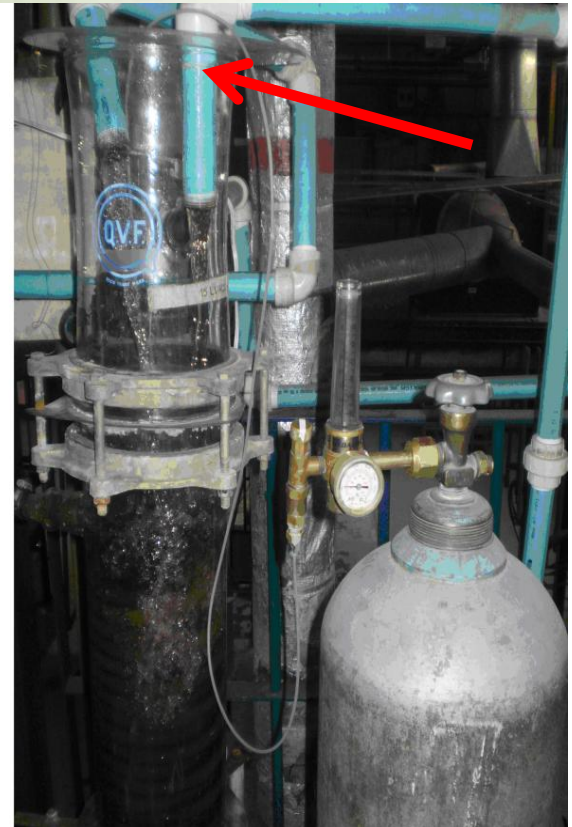
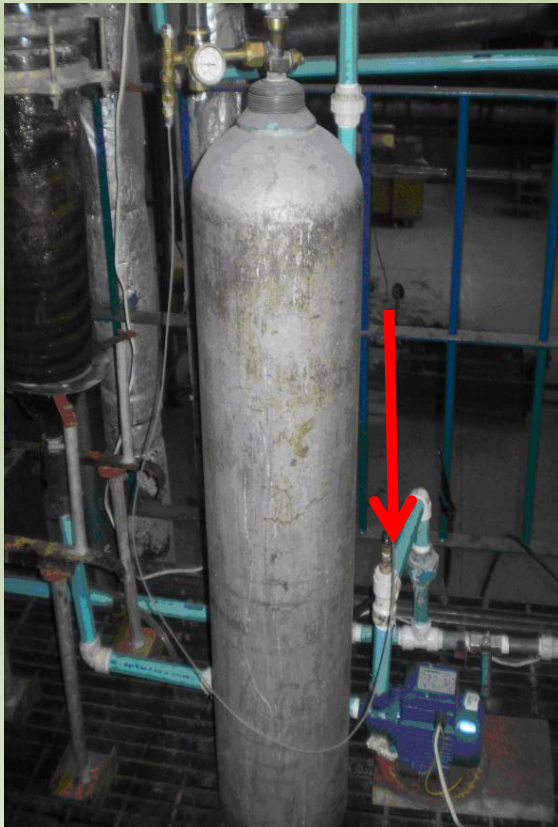
$$P k_{s(\text{CaCO}_3)} > k p_{s(\text{CaCO}_3)}^{(10^{-8} \text{ mol/L a } 20^\circ\text{C})}$$



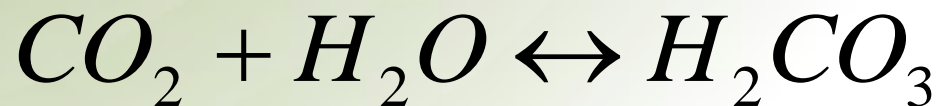
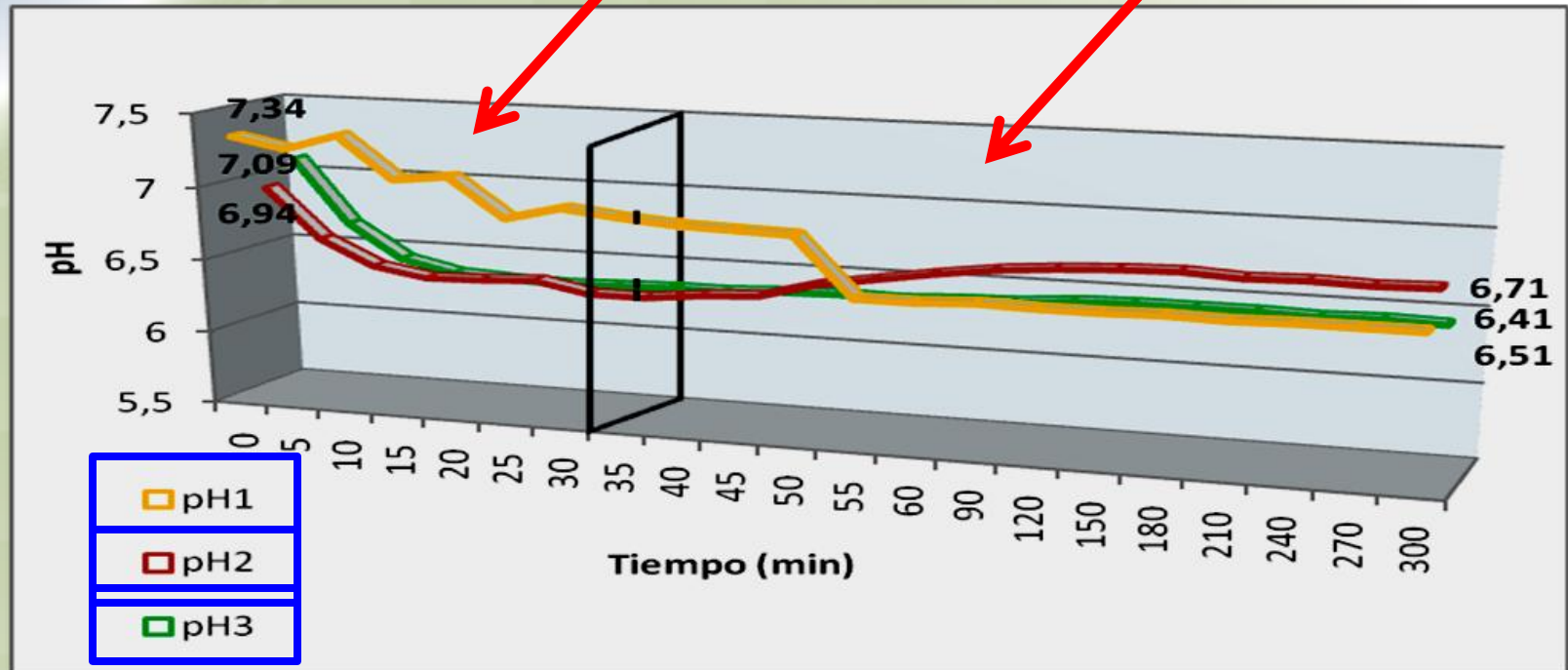
24 HORAS

CONDICIONES ÓPTIMAS DE FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES A RÉGIMEN DINÁMICO.

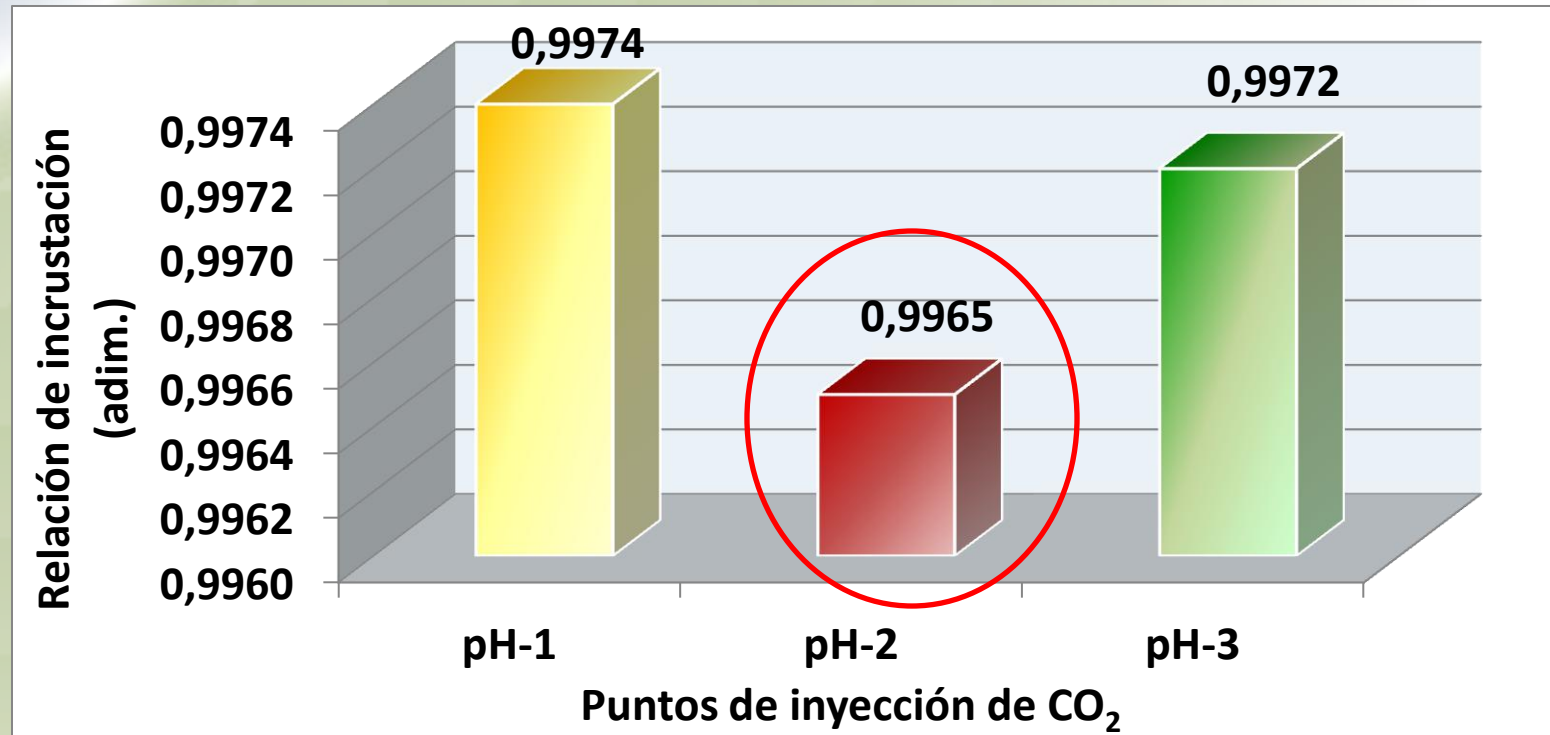
Punto Óptimo de Inclusión de CO₂



Punto Óptimo de Inclusión de CO₂

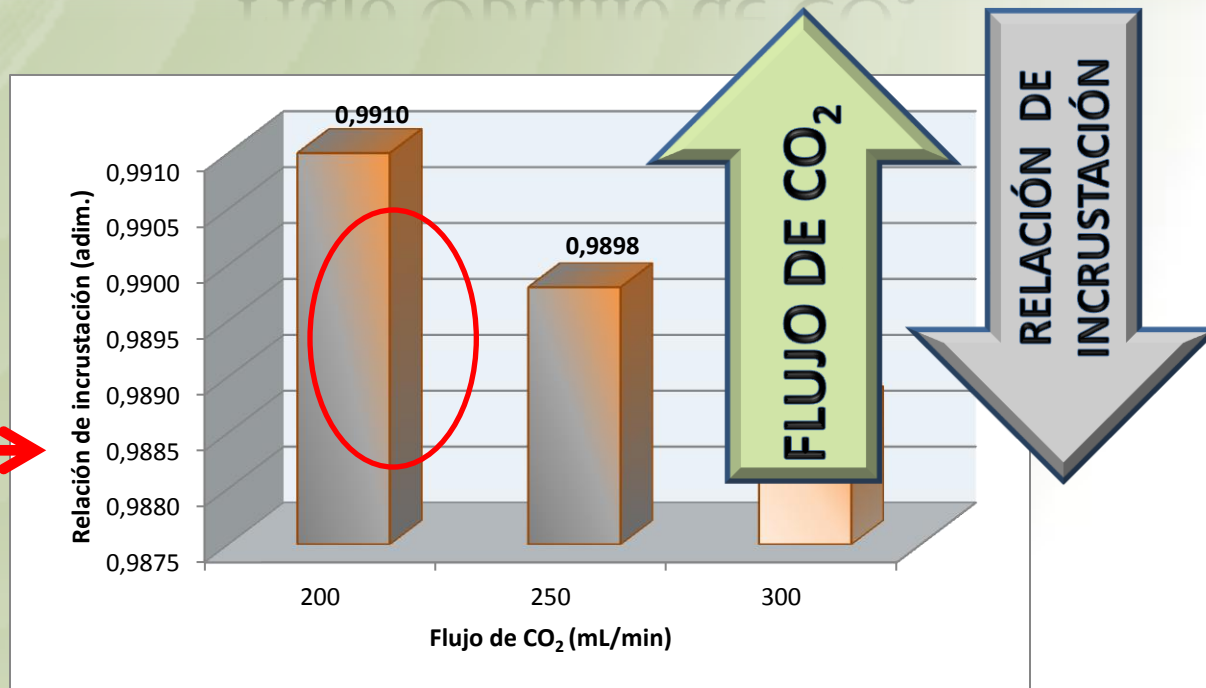


Punto Óptimo de Inclusión de CO₂



ENTRADA AL ROTÁMETRO (R-201)

Flujo Óptimo de CO₂

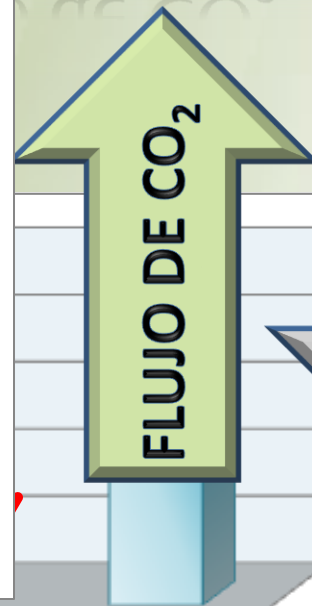
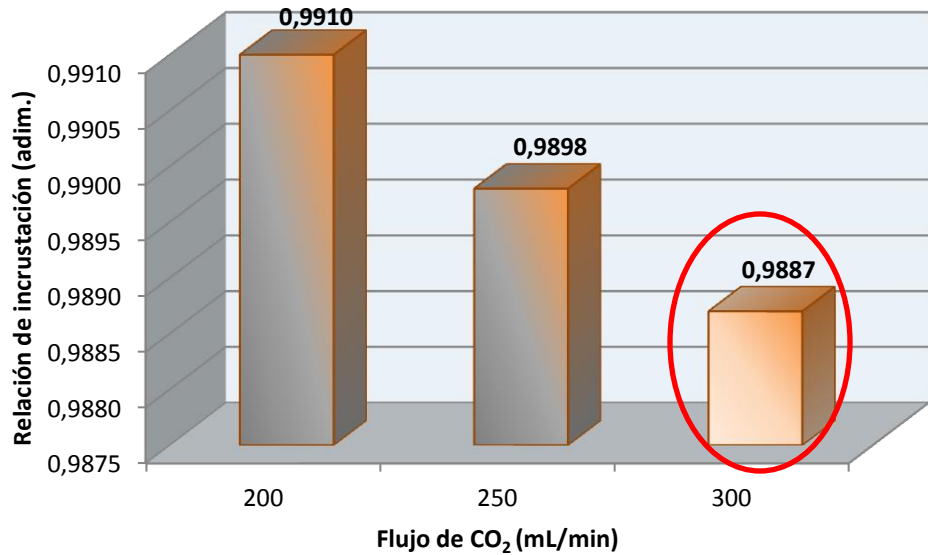


RELACIÓN DE INCRUSTACIÓN EN FUNCIÓN AL FLUJO DE CO₂

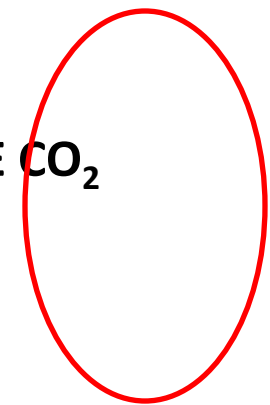
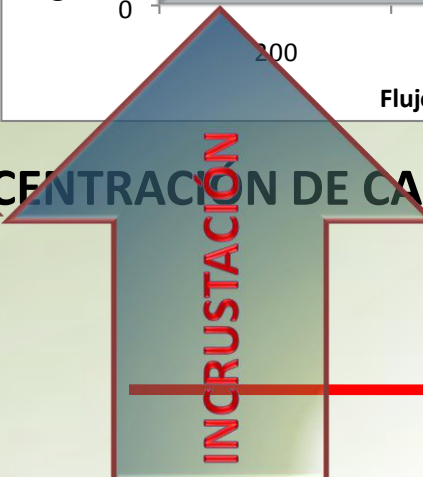
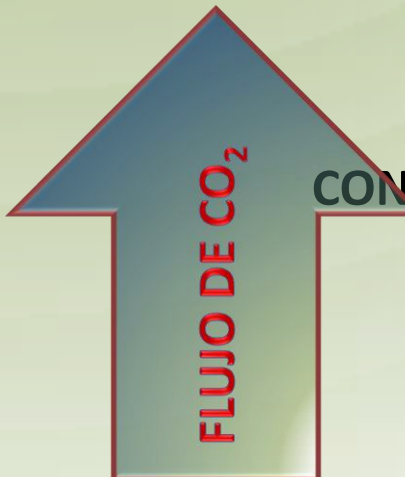
Tiempo de Inclusión de
CO₂ por 24 h.

Punto Óptimo de
Inclusión de CO₂
(Entrada al Rotámetro)

Flujo Óptimo de CO₂



CONCENTRACION DE CALCIO EN FUNCION AL FLUJO DE CO₂



Flujo Óptimo de CO₂



200 mL/min



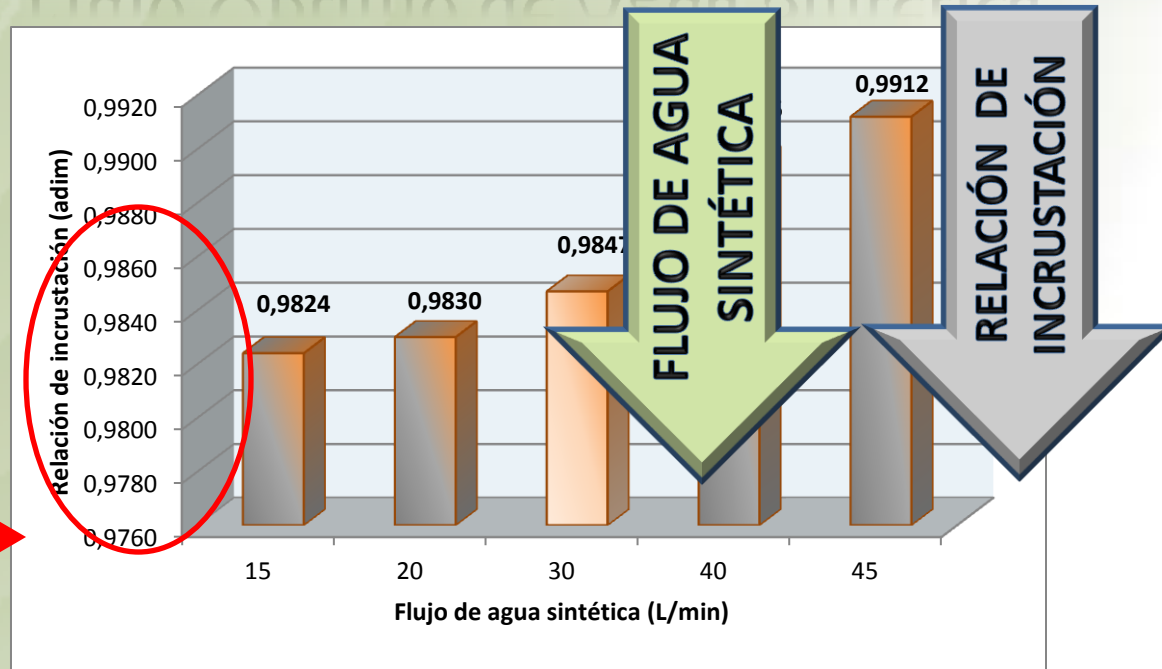
250 mL/min



300 mL/min

**FLUJO DE CO₂
300 mL/min**

Flujo Óptimo de Agua Sintética



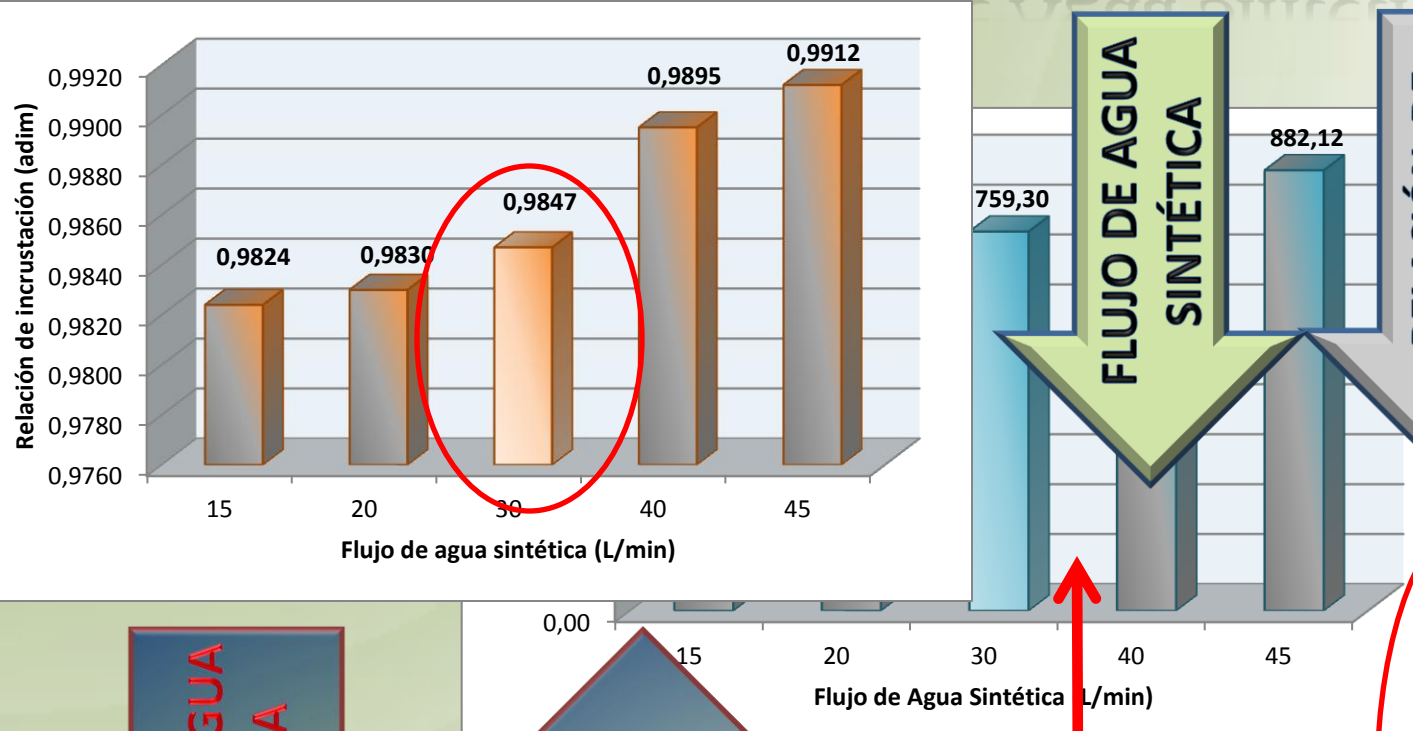
RELACIÓN DE INCRUSTACIÓN EN FUNCIÓN AL FLUJO DE AGUA SINTÉTICA

Tiempo de
Inclusión de
CO₂ por 24 h.

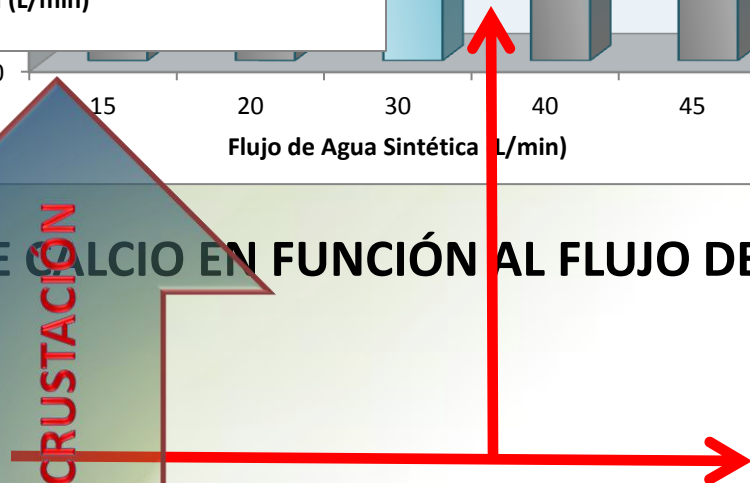
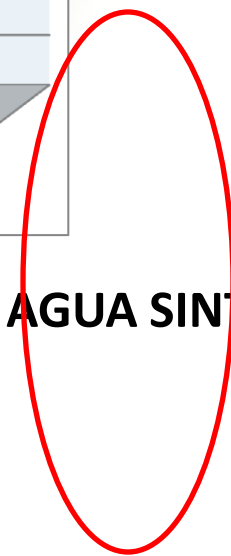
Punto Óptimo de
Inclusión de CO₂
(Entrada al
Rotámetro)

Flujo de
CO₂
300 mL/min

Flujo Óptimo de Agua Sintética



CONCENTRACIÓN DE CALCIO EN FUNCIÓN AL FLUJO DE AGUA SINTÉTICA



Flujo Óptimo de Agua Sintética



15 L/min

20 L/min

30 L/min

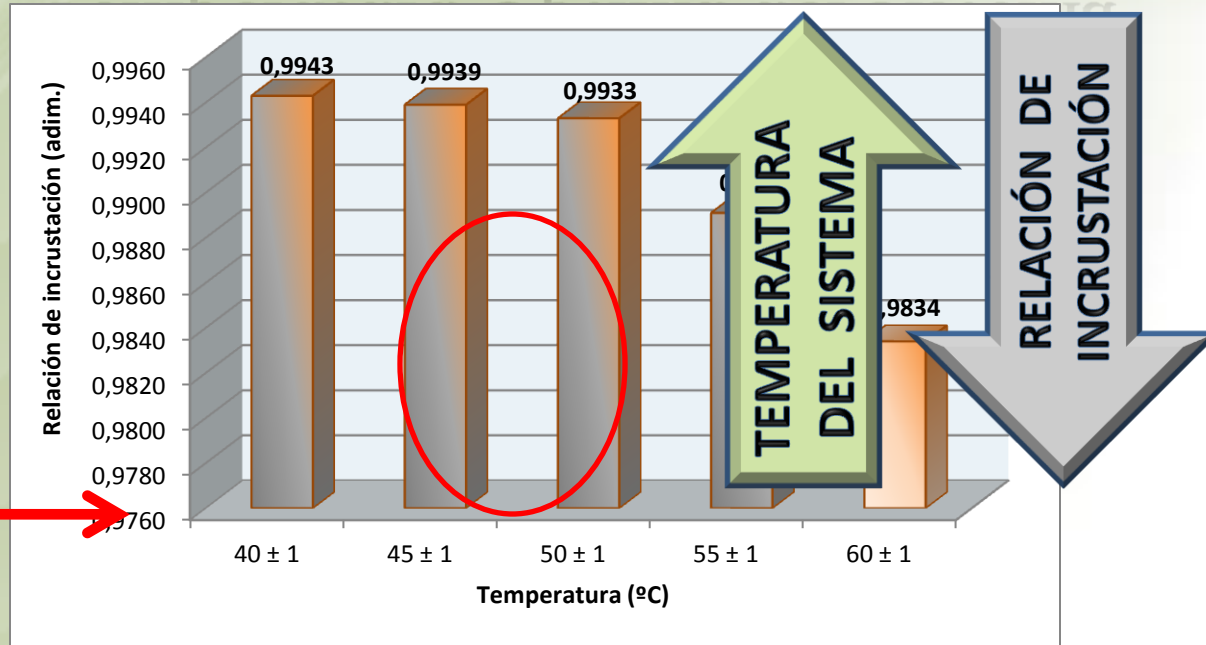
40 L/min

45 L/min

FLUJO DE AGUA SINTÉTICA

30 L/min

Temperatura Óptima del Sistema



RELACIÓN DE INCRUSTACIÓN EN FUNCIÓN A LA TEMPERATURA DEL SISTEMA

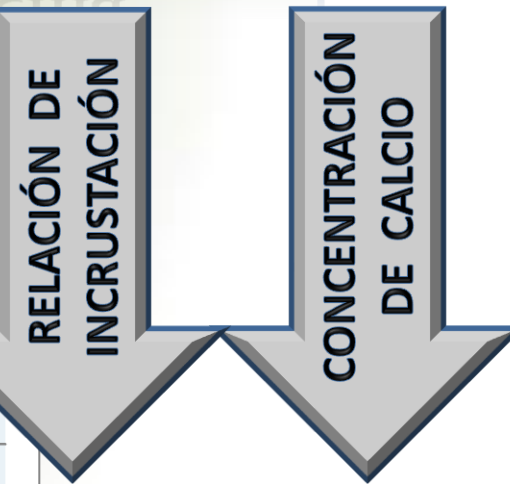
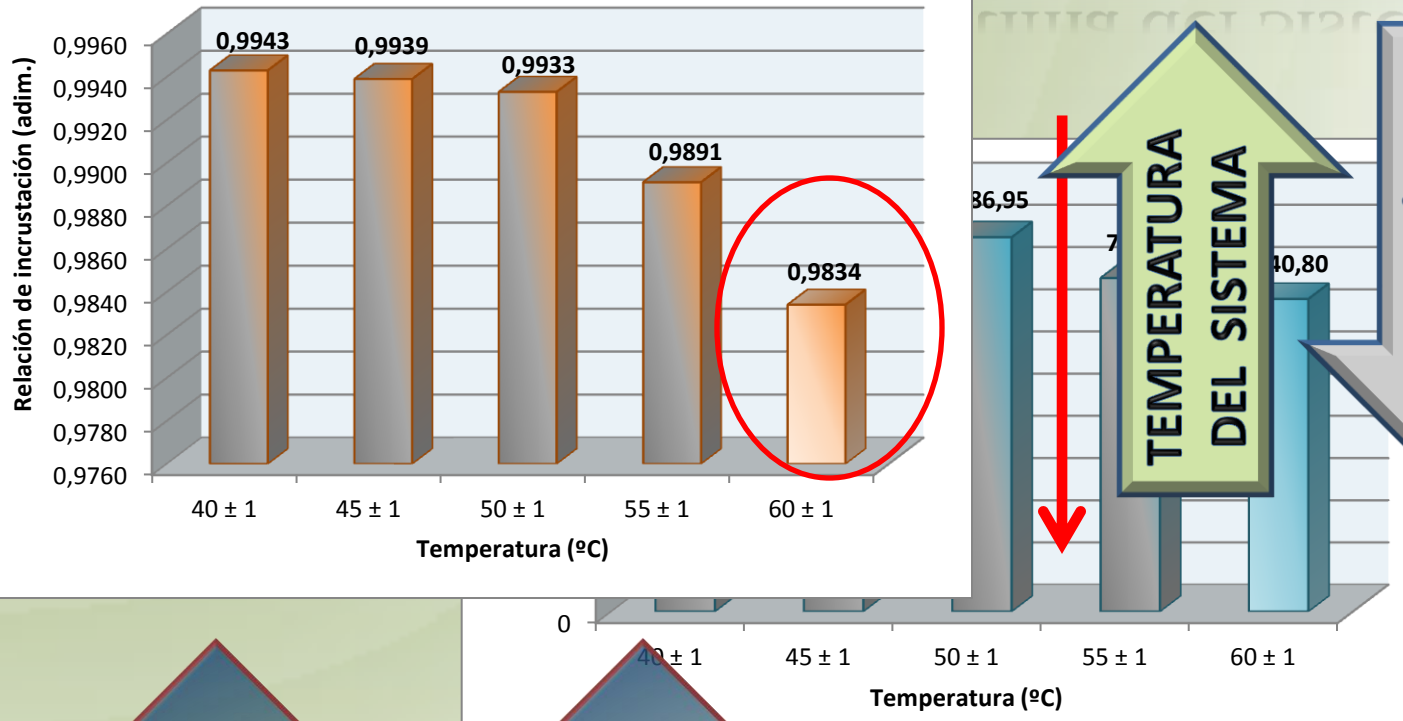
Tiempo de
Inclusión de
CO₂ por 24 h.

Punto Óptimo
de Inclusión de
CO₂ (Entrada al
Rotámetro)

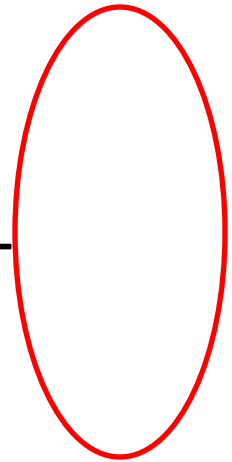
Flujo de
CO₂
300 mL/min

Flujo de
Agua
Sintética
30 L/min

Temperatura Óptima del Sistema



CONCENTRACION DE CALCIO EN FUNCION A LA TEMPERATURA DEL SISTEMA



Temperatura Óptima del Sistema



$40 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$



$45 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$



$50 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$



$55 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$



$60 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$

TEMPERATURA DEL SISTEMA

$60 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$

Condiciones Óptima de Formación de Incrustaciones

RÉGIMEN ESTÁTICO

VOLUMEN DE AGUA SINTÉTICA
500 mL

TEMPERATURA
 50 ± 1 °C

FLUJO DE CO₂
250 mL/min

TIEMPO DE INCLUSIÓN DE CO₂
24 HORAS

RÉGIMEN DINÁMICO

PUNTO DE INCLUSIÓN DE CO₂
ENTRADA AL ROTÁMETRO

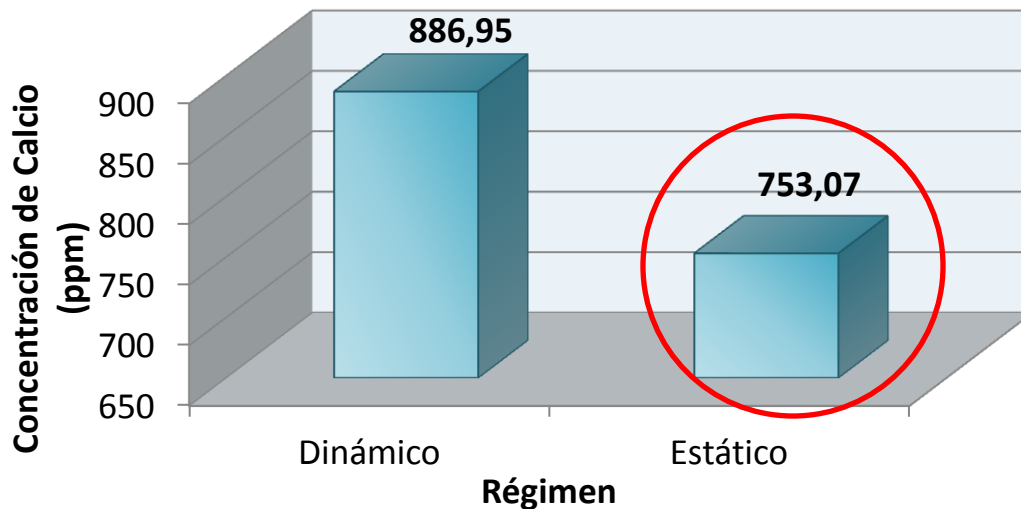
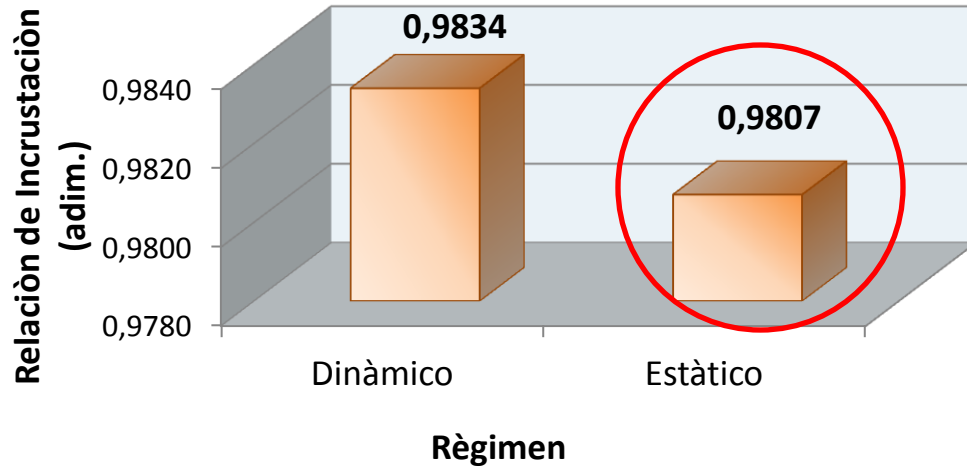
TEMPERATURA
 60 ± 1 °C

FLUJO DE CO₂
300 mL/min

FLUJO DE AGUA SINTÉTICA
30 L/min

TIEMPO DE INCLUSIÓN DE CO₂
24 HORAS

Condiciones Óptima de Formación de Incrustaciones

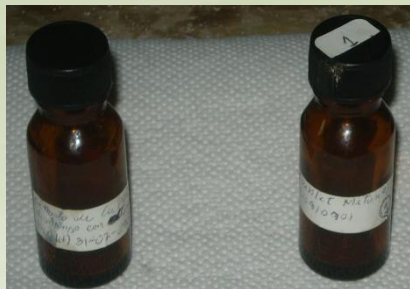


EVALUACIÓN DE LOS INHIBIDORES EN FUNCIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE FORMACIÓN DE INCRUSTACIÓN

AGENTES QUÍMICOS ORGÁNICOS

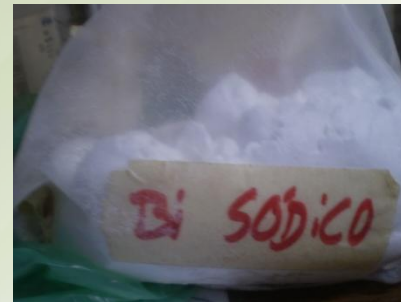


Aloe vera al
15 % p/p

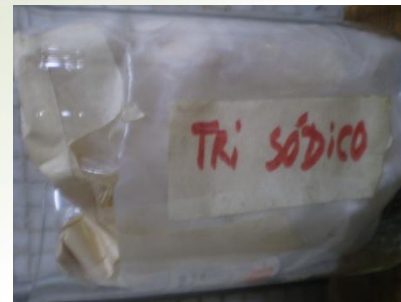


Extracto de
Aceite de
Mango

AGENTES QUÍMICOS SINTÉTICOS



Bi-Fosfato de
Sodio



Tri-Fosfato
de Sodio

EVALUACIÓN DE LOS INHIBIDORES EN FUNCIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE FORMACIÓN DE INCRUSTACIÓN

RELACIONES DE INCRUSTACIÓN EN FUNCIÓN AL AGENTE QUÍMICO EMPLEADO

CONCENTRACIÓN DE CALCIO DE LA SOLUCIÓN FINAL EN FUNCIÓN AL AGENTE QUÍMICO EMPLEADO

$$R_{\text{INCRUSTACIÓN}} \rightarrow 1$$

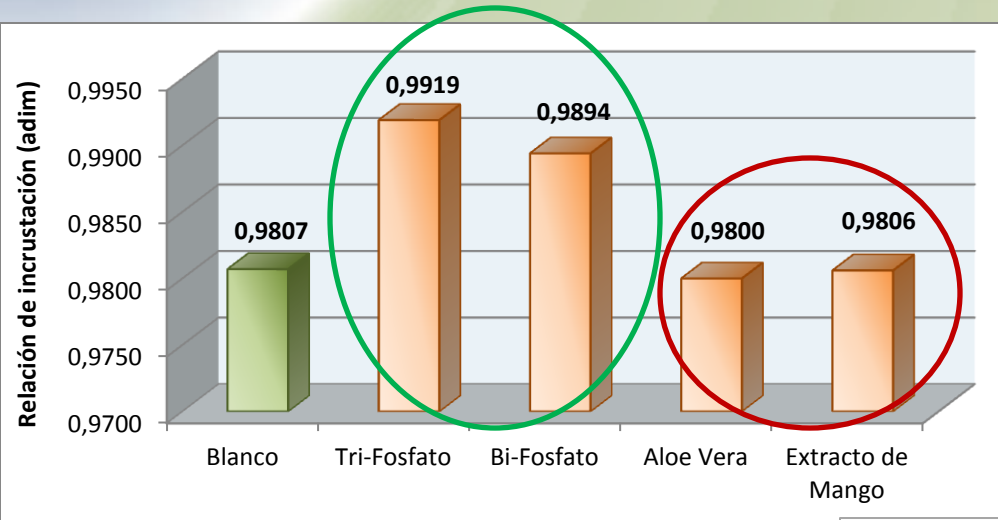
RELACIÓN DE INCRUSTACIÓN

DEPOSITOS DE CARBONATO DE CALCIO

CONCENTRACIÓN DE CALCIO

DEPOSITOS DE CARBONATO DE CALCIO

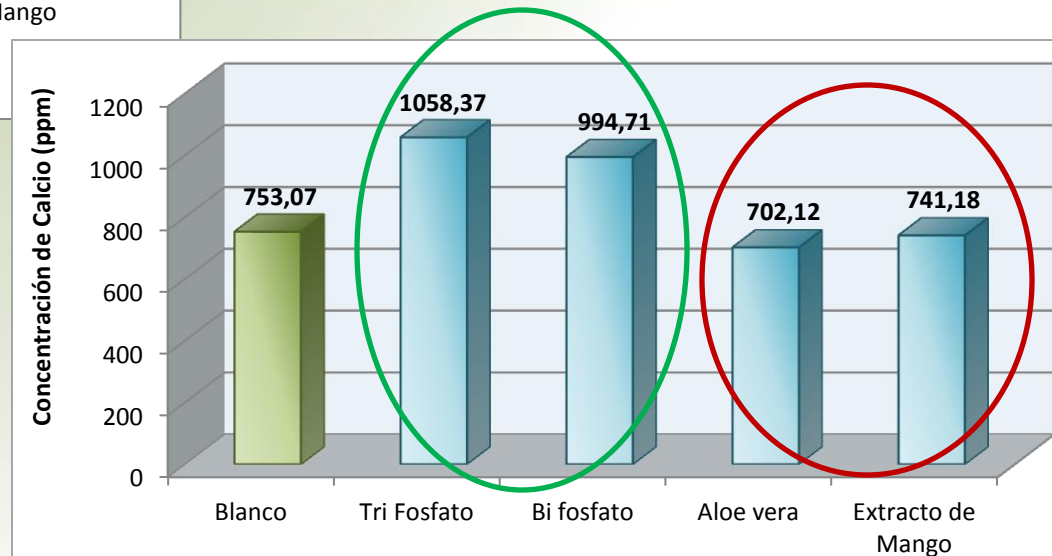
Evaluación de los Inhibidores a las Condiciones obtenidas a Régimen Estático



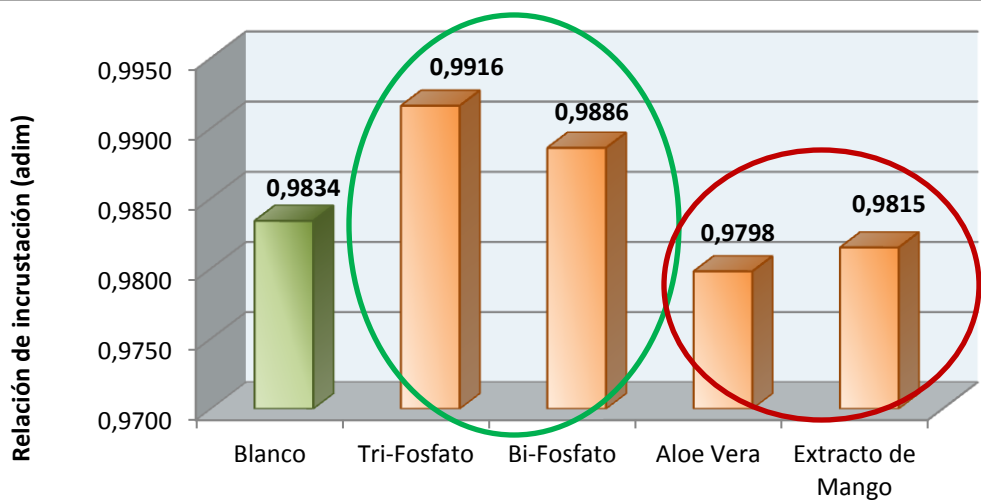
Agentes Químicos Sintéticos



Agentes Químicos Orgánicos

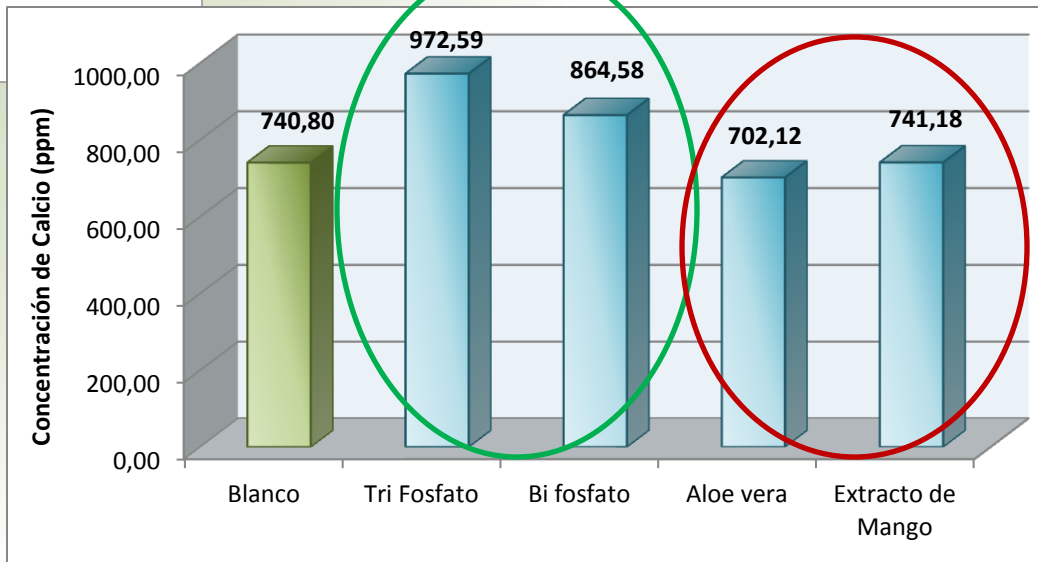


Evaluación de los Inhibidores a las Condiciones obtenidas a Régimen Dinámico



Agentes Químicos Sintéticos ✓

Agentes Químicos Orgánicos ✗

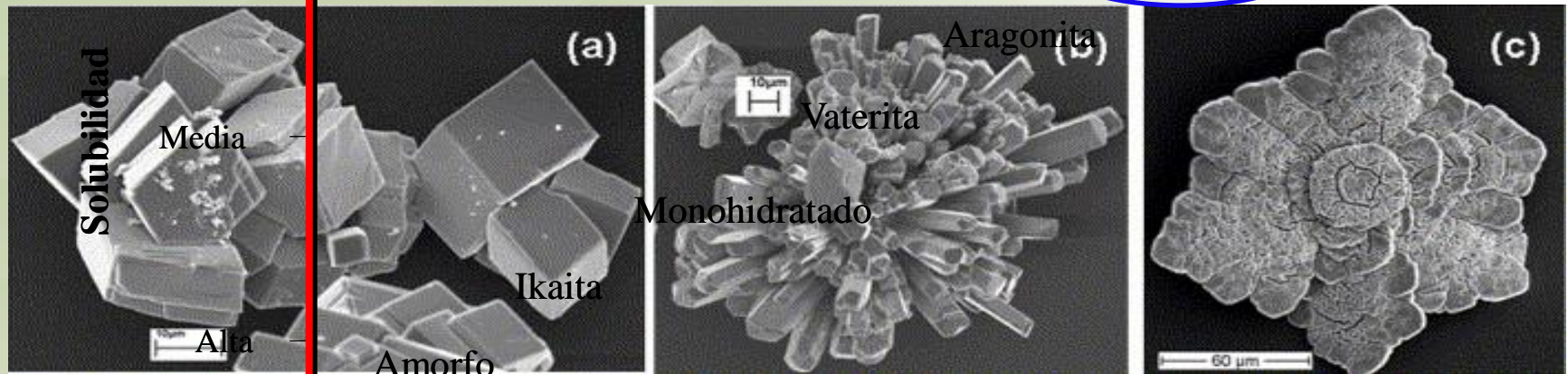


CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS PRECIPITADOS ADHERIDOS A LOS ANILLOS PALL

MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB)

Baja

Calcita



Solubilidad

Media

Alta

Amorfo

Ikaita

Monohidratado

Vaterita

Aragonita

Calcita
Muy Baja

Baja

Aragonita
Alta

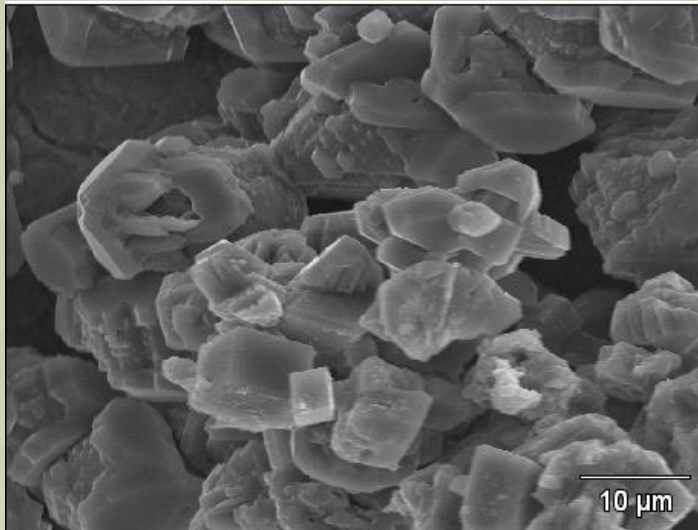
Muy Alta

Vaterita

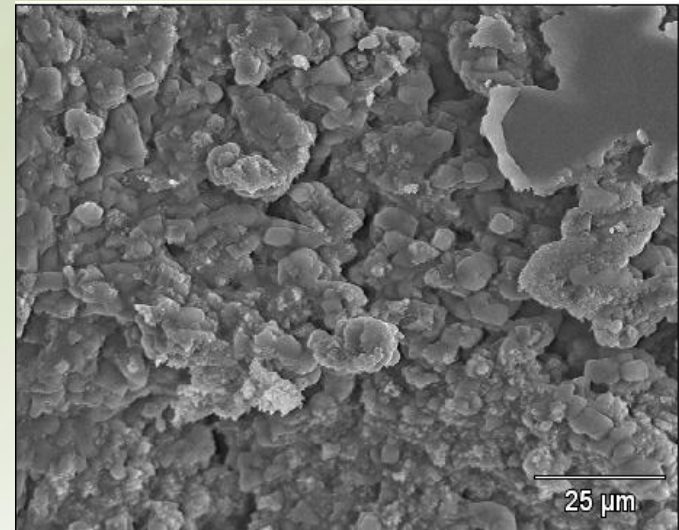
Estable Referencia: Mata, 2009.

Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

BLANCO



Régimen Estático



Régimen Dinámico

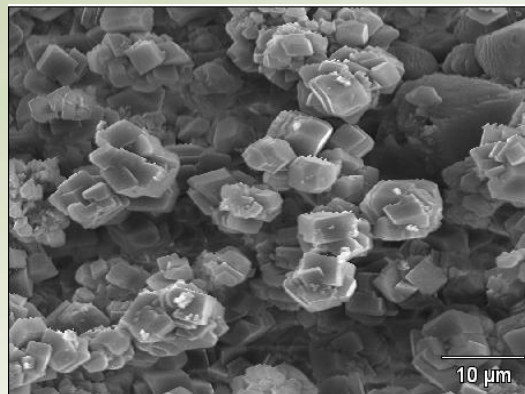
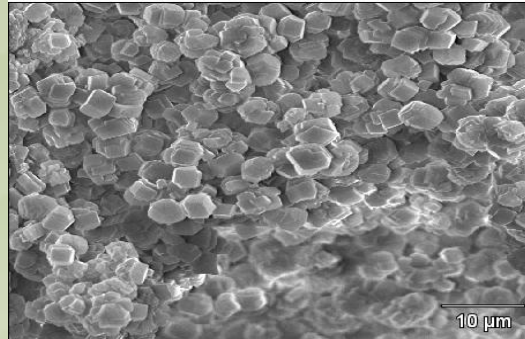
Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

AGENTES QUÍMICOS ORGÁNICOS

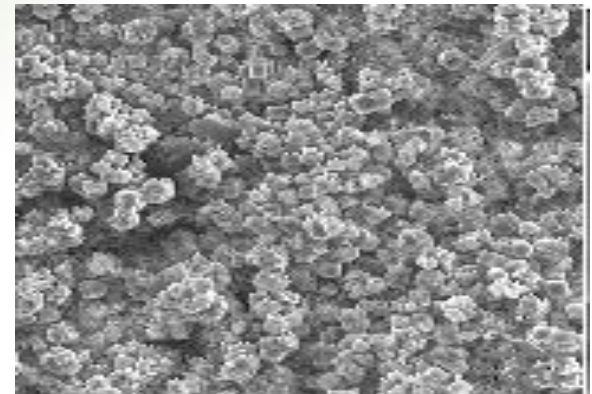
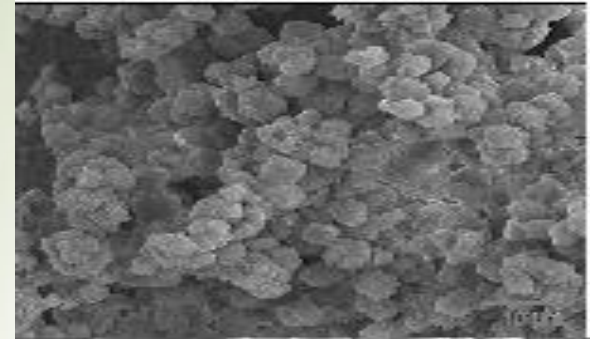
INTAV™
Aloe vera
al 15 % p/p

Proteína
Extracto de
Mango

Régimen Estático



Régimen Dinámico

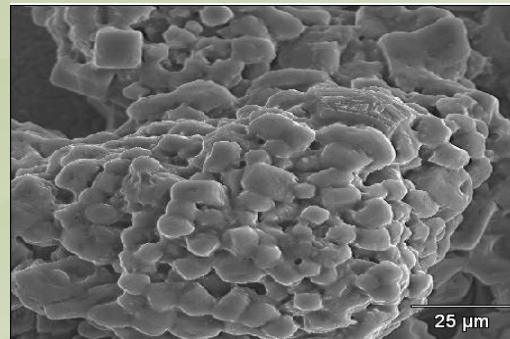


Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

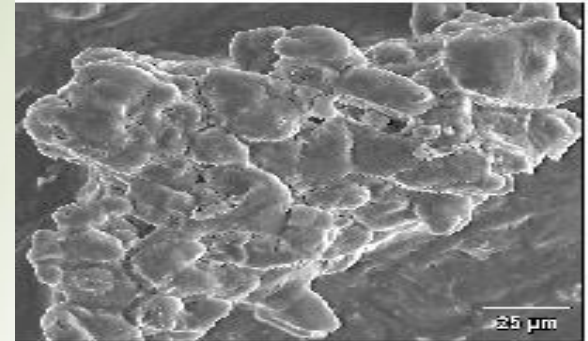
AGENTES QUÍMICOS SINTÉTICOS

**Bi-Fosfato
de Sodio**

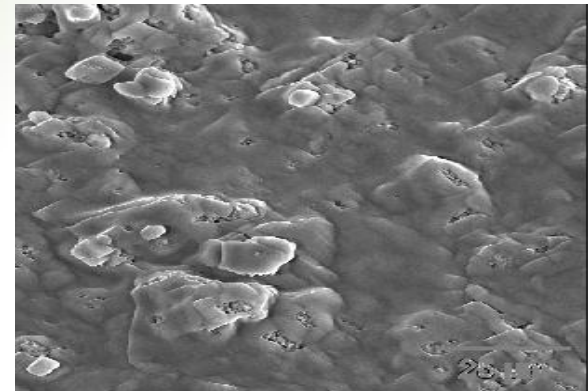
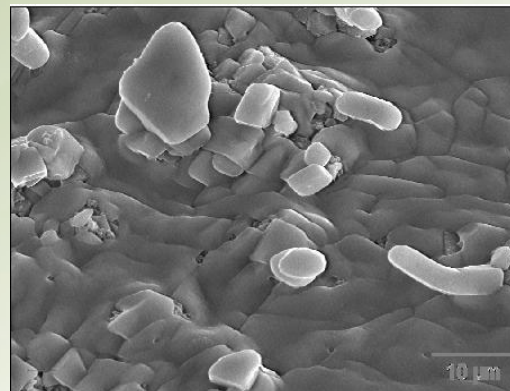
Régimen Estático



Régimen Dinámico

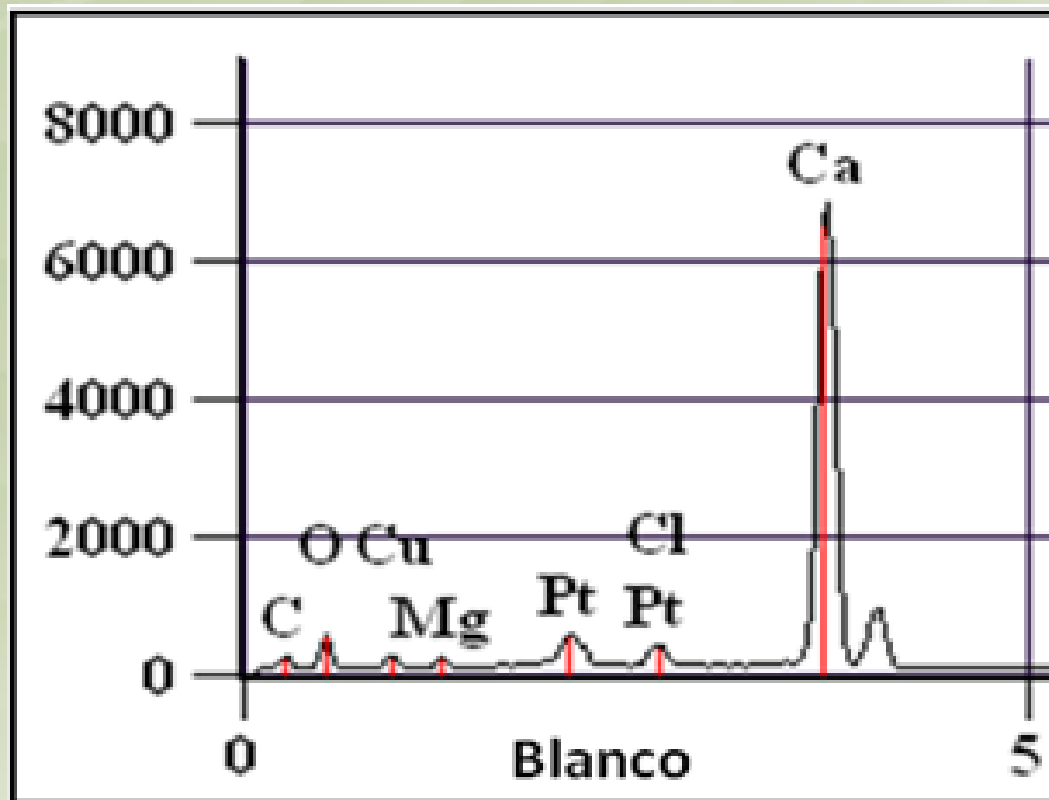


**Tri-Fosfato
de Sodio**



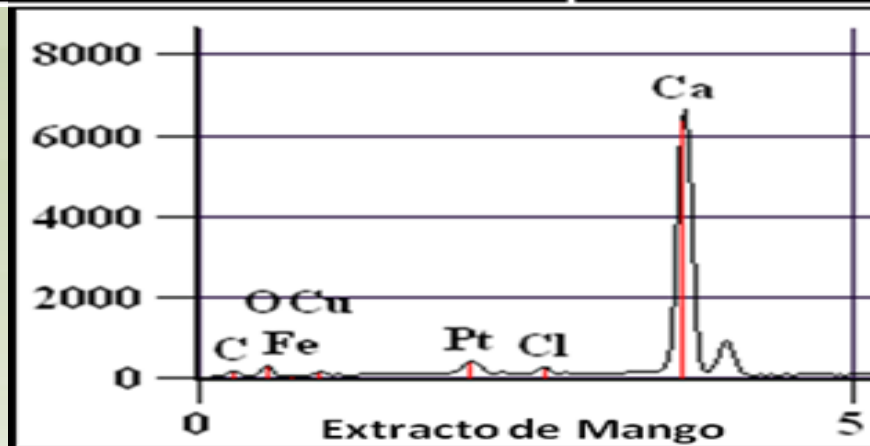
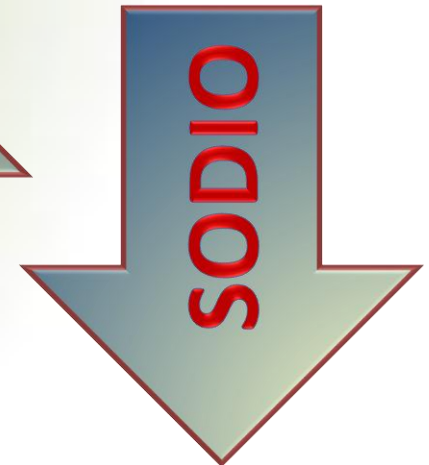
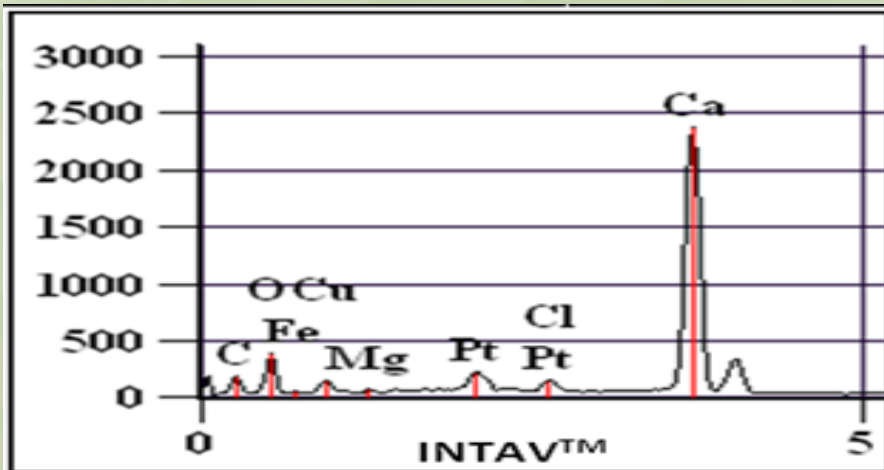
Espectros de Energía Dispersiva (EDS)

BLANCO



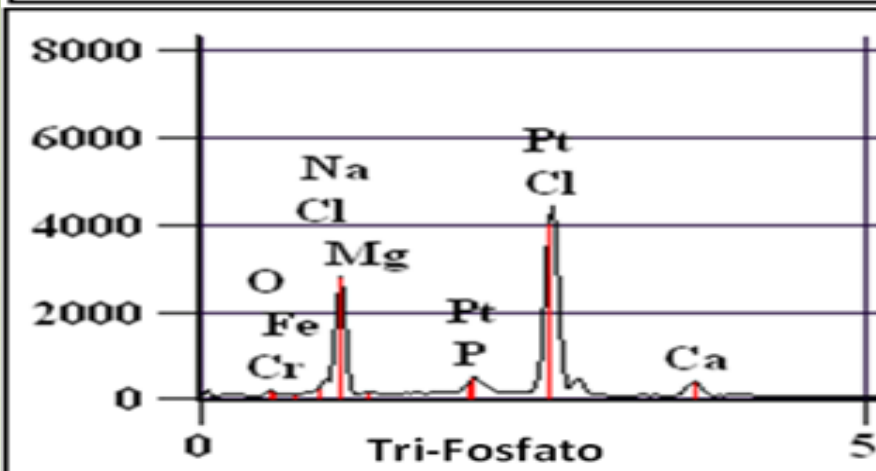
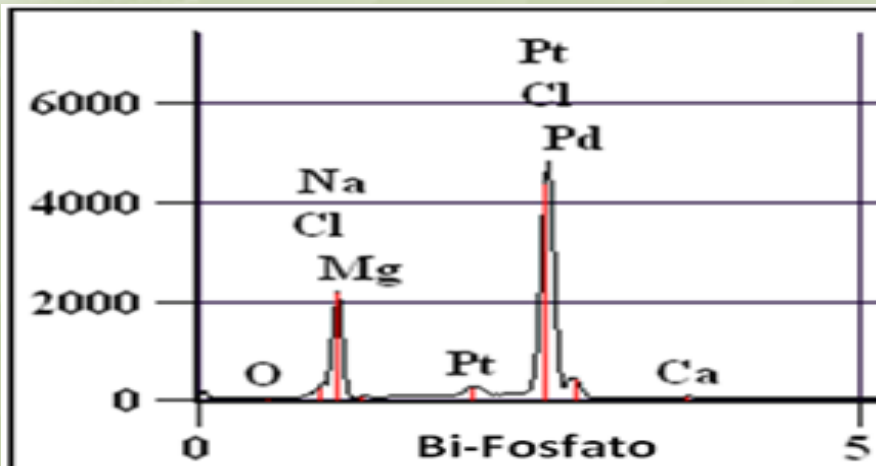
Espectros de Energía Dispersiva (EDS)

AGENTES QUÍMICOS ORGÁNICOS



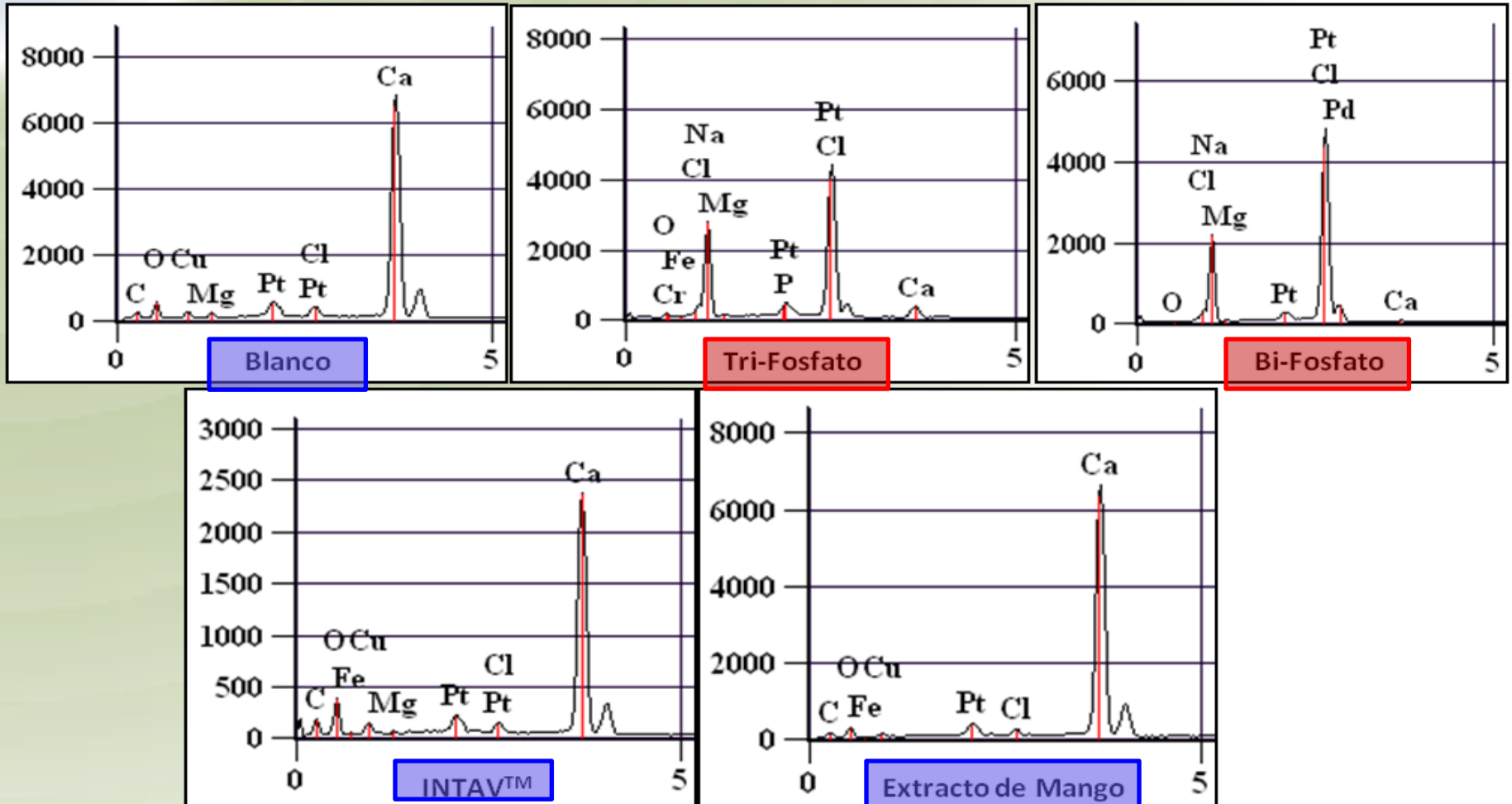
Espectros de Energía Dispersiva (EDS)

AGENTES QUÍMICOS SINTÉTICOS



**Intercambio
Iónico**

Espectros de Energía Dispersiva (EDS)

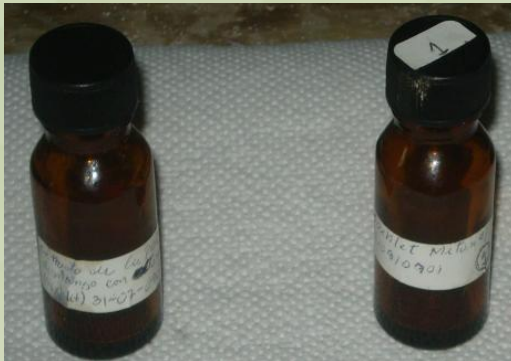
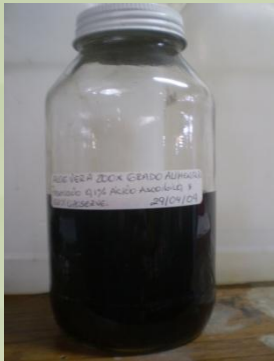


CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS PRECIPITADOS ADHERIDOS A LOS ANILLOS PALL

AGENTES QUÍMICOS
ORGÁNICOS

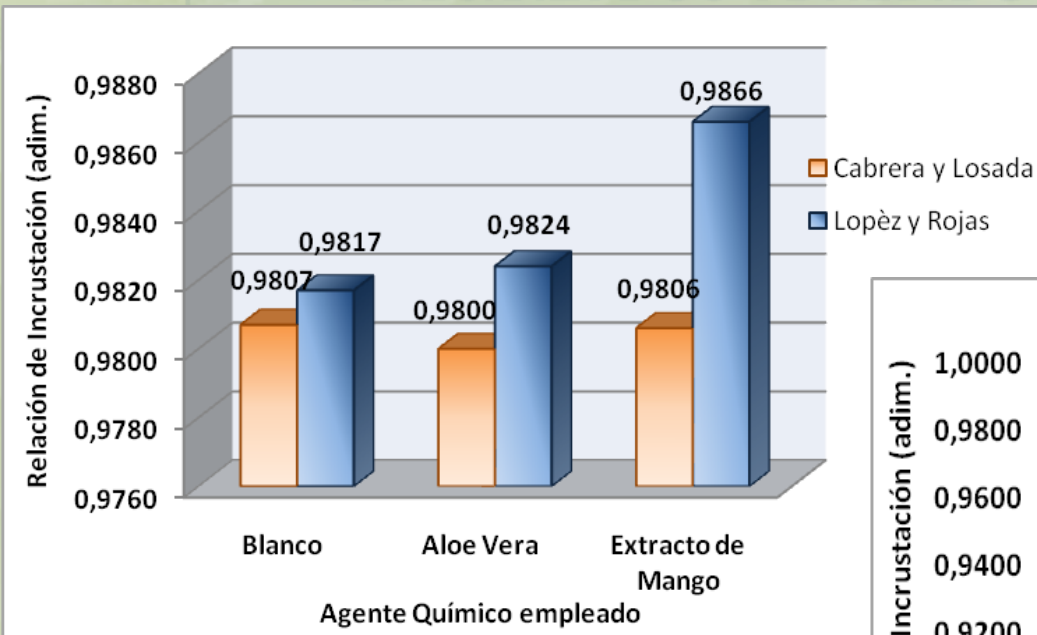


AGENTES QUÍMICOS
SINTÉTICOS

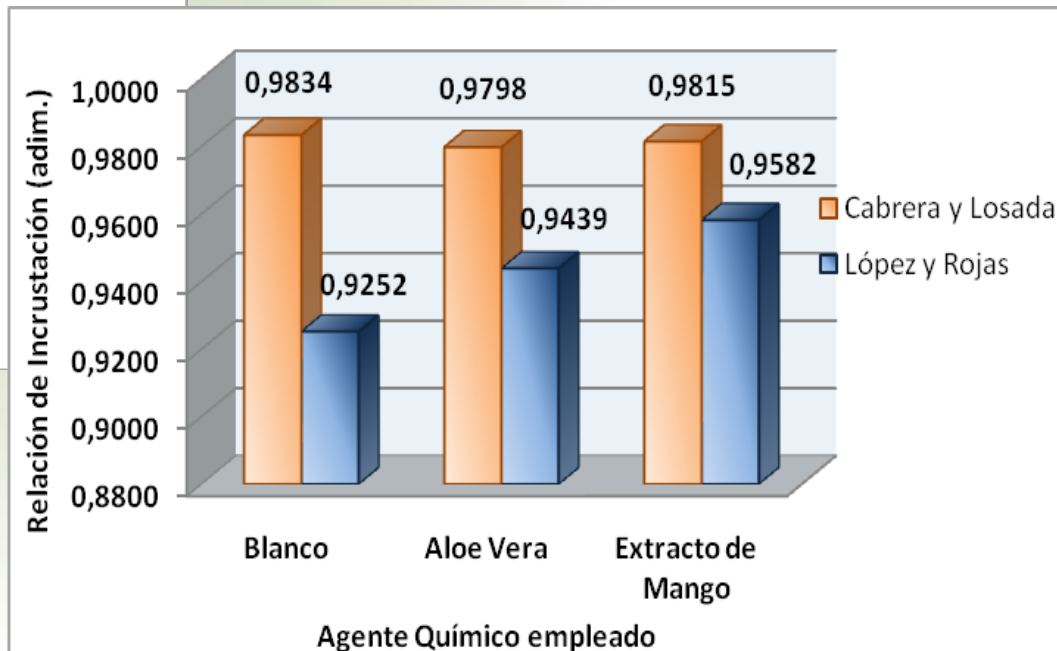


CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS PRECIPITADOS ADHERIDOS A LOS ANILLOS PALL

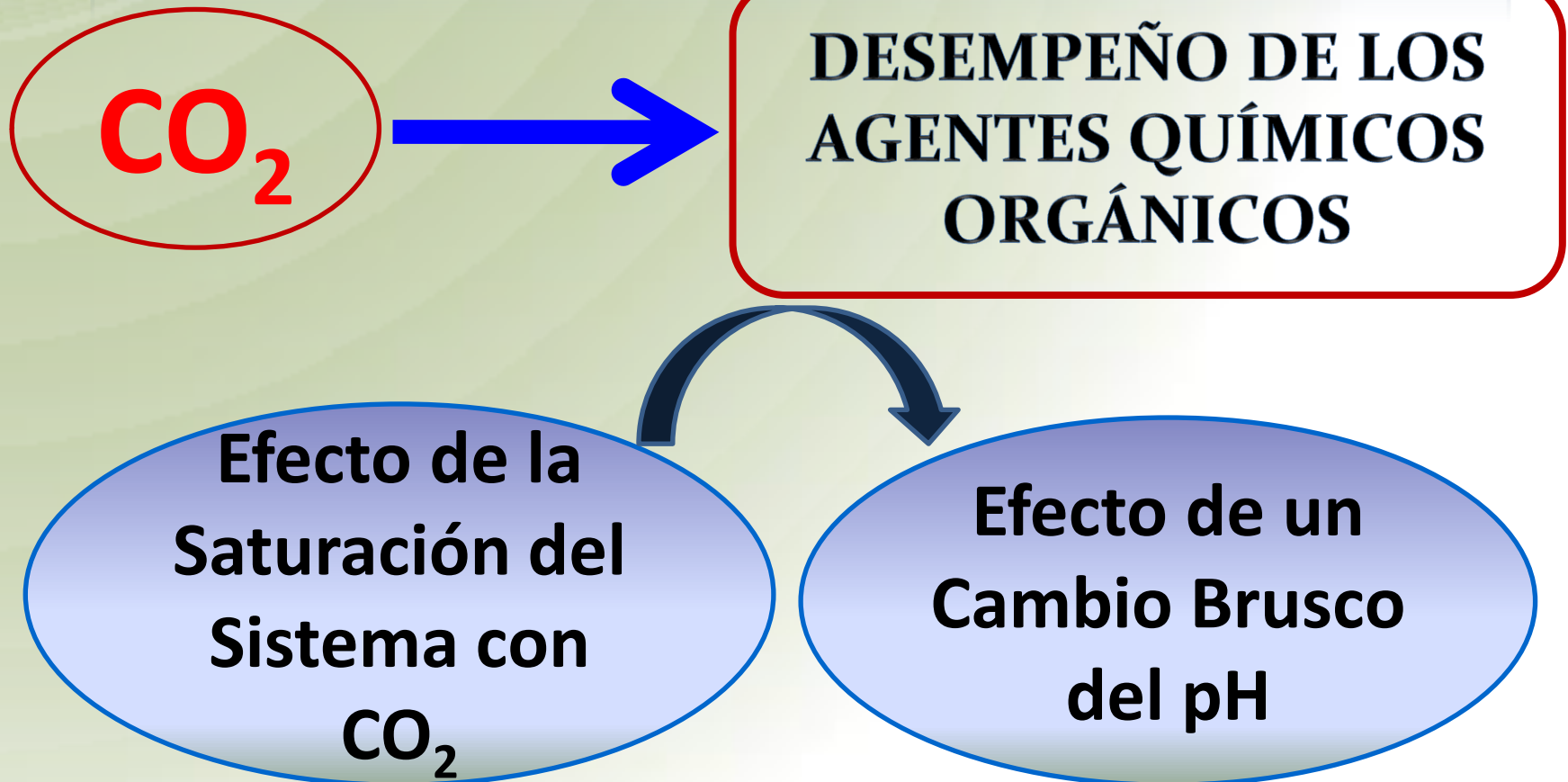
Régimen Estático



Régimen Dinámico



CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS PRECIPITADOS ADHERIDOS A LOS ANILLOS PALL

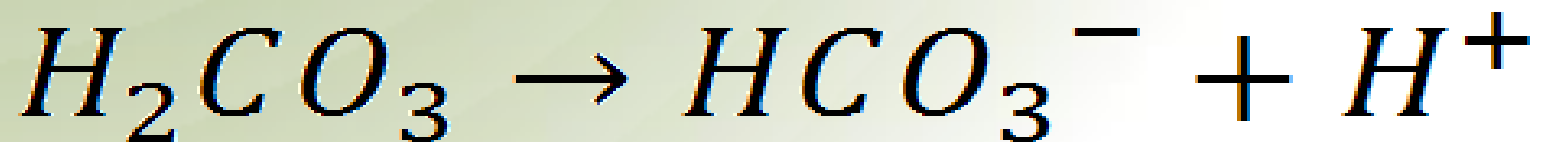


EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS AGENTES QUÍMICOS ORGÁNICOS EN PRESENCIA DE CO₂ Y EN AUSENCIA DEL MISMO

Agente Químico	Ensayo	pH Inicial	pH con Inclusión de Agente Químico	pH Final	Conc. Inicial de Calcio (ppm)	Conc. Final de Calcio (ppm)	Relación de Incrustación (Adim.)
INTAV™ Aloe vera 15% p/p	Sin CO ₂	7,05	6,87	7,80	1620	1055,65	0,9925
	Con CO ₂	7,10	6,41	6,03	1620	696,66	0,9897
Extracto de Mango	Sin CO ₂	7,07	7,29	8,05	1620	1097,34	0,9931
	Con CO ₂	7,10	7,87	6,90	1620	736,76	0,9901

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS AGENTES
QUÍMICOS ORGÁNICOS EN PRESENCIA DE CO₂ Y EN
AUSENCIA DEL MISMO

Cambio de la
Estructura del
Inhibidor

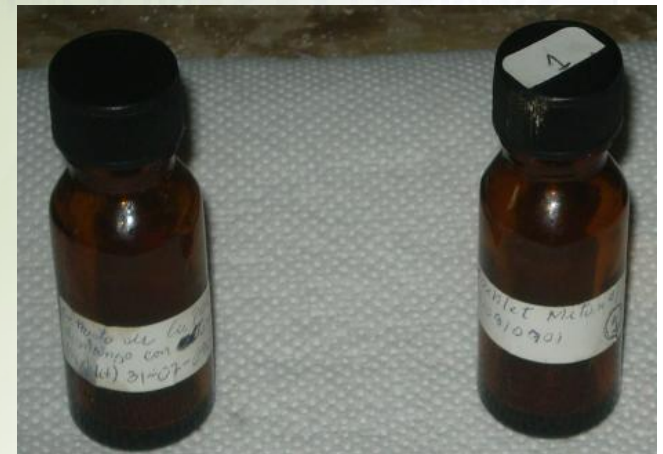


EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS AGENTES QUÍMICOS ORGÁNICOS BAJO CONDICIONES EXTREMAS DE pH



HCl







NaOH



pH INICIAL

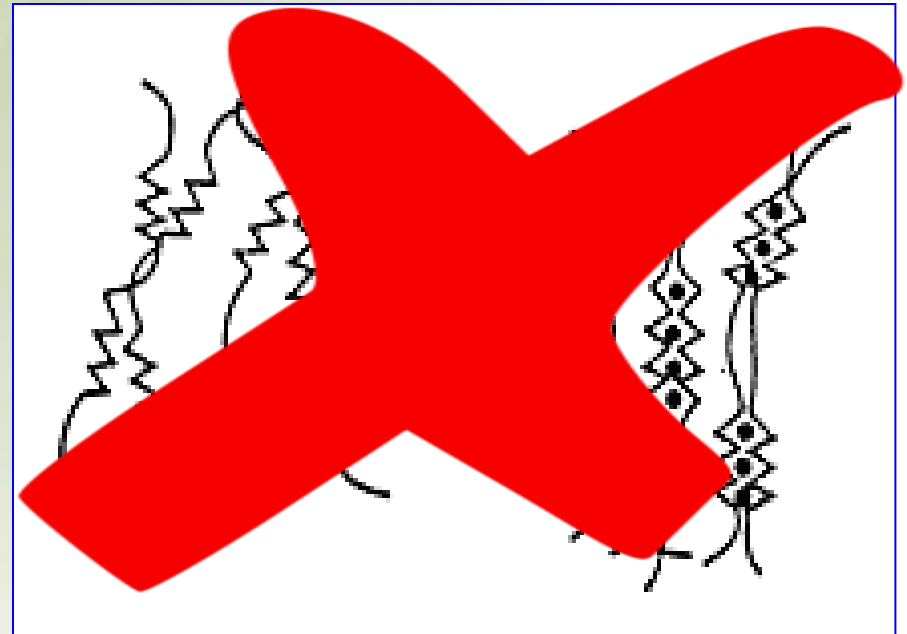
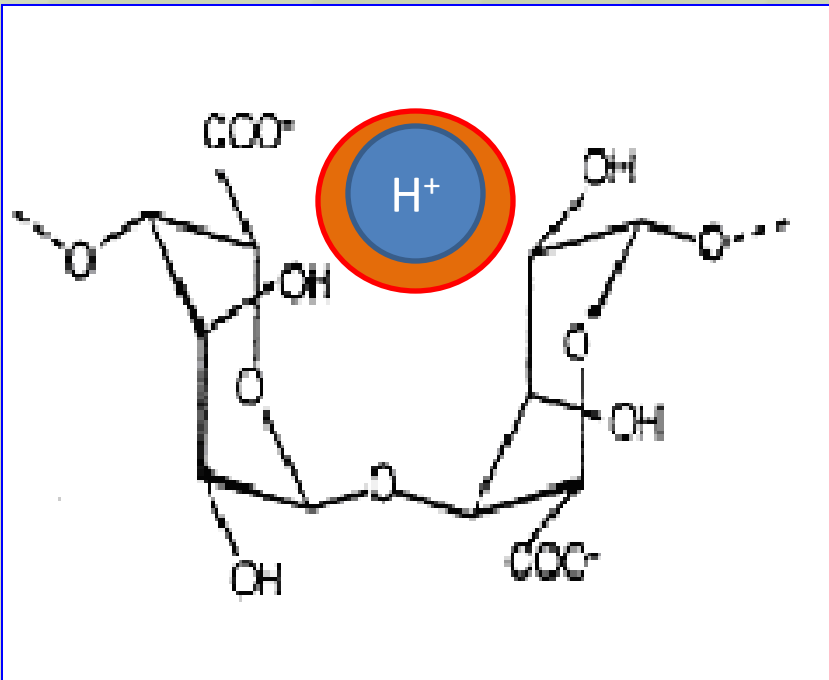
pH FINAL

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS AGENTES QUÍMICOS ORGÁNICOS BAJO CONDICIONES EXTREMAS DE pH

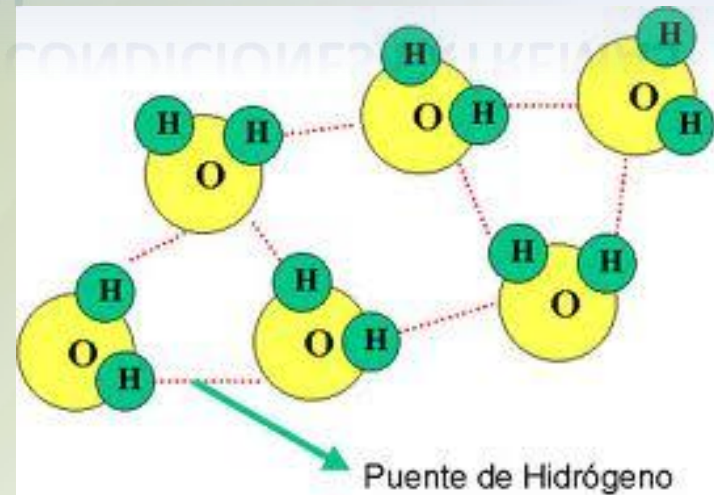
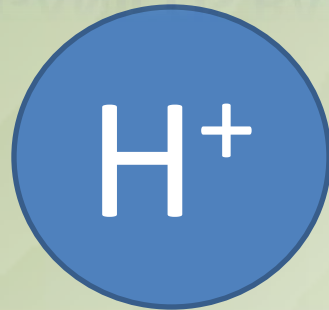
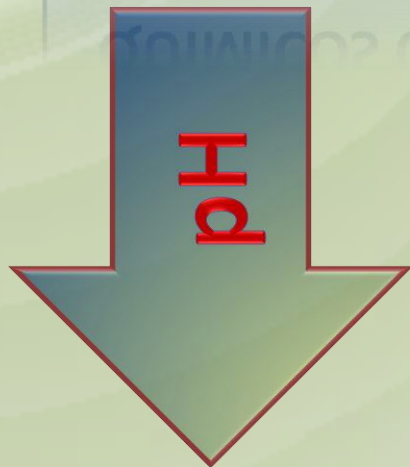
Agente Químico	Ensayo	pH Inicial	pH Final	Coloración	Observación
INTAV™ Aloe vera 15%p/p 	HCl	0,94	1,04		Cambio de Color
	NaOH	12,74	12,81		No hay cambio de color aparente
Proteína de Extracto de Mango 	HCl	1,08	1,09		Cambio de Color
	NaOH	12,77	12,87		No hay cambio de color aparente

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS AGENTES QUÍMICOS ORGÁNICOS BAJO CONDICIONES EXTREMAS DE pH

DENSIDAD NEGATIVA



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS AGENTES QUÍMICOS ORGÁNICOS BAJO CONDICIONES EXTREMAS DE pH



**Cambio en
la Estructura
del Inhibidor**



**BAJO DESEMPEÑO DE LOS
AGENTES QUÍMICOS
ORGÁNICOS**

EVALUACIÓN DE LOS AGENTES QUÍMICOS COMO REMOVEDORES DE INCRUSTACIÓN

TEMPERATURA
 $60 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$

TIEMPO DEL ENSAYO
24 HORAS

FLUJO DE AGUA SINTÉTICA
30 L/min

2000 PPM DE AGENTES QUÍMICOS

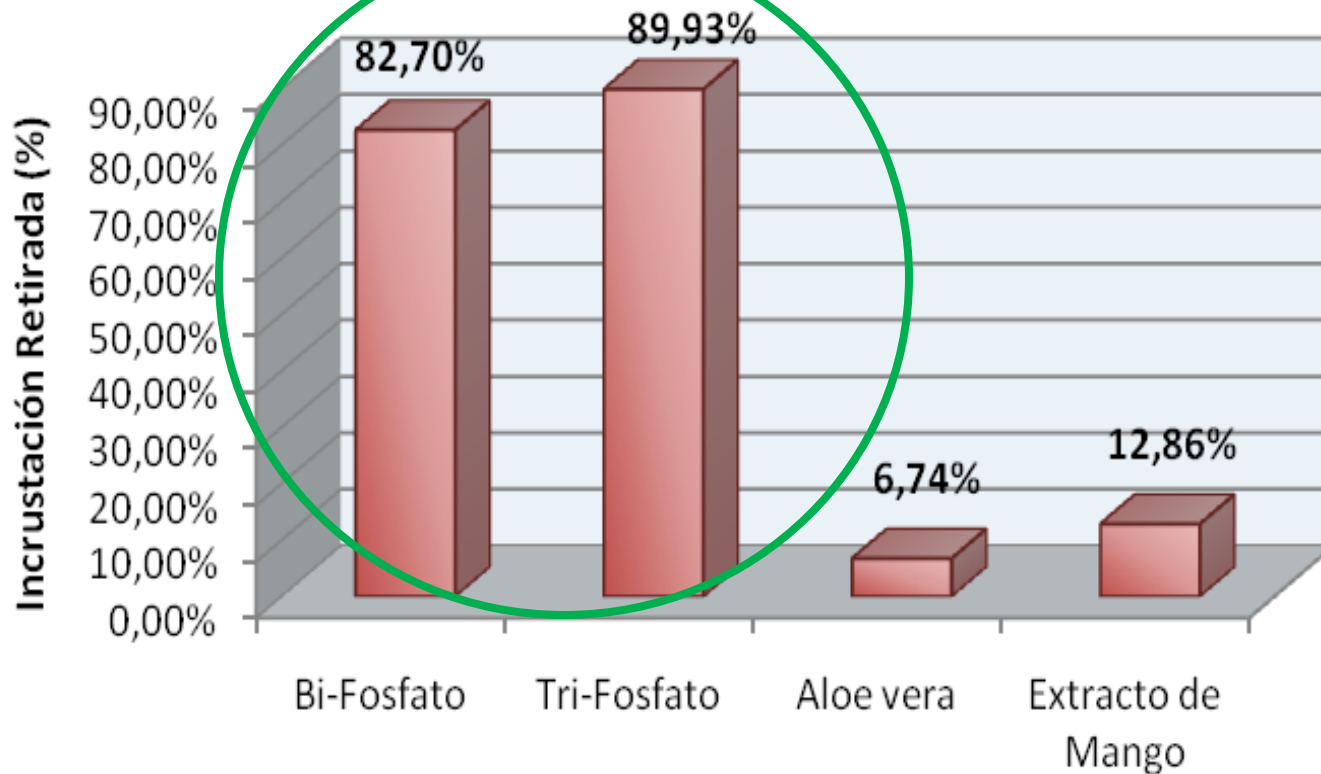
SIN
 CO_2

CO_2

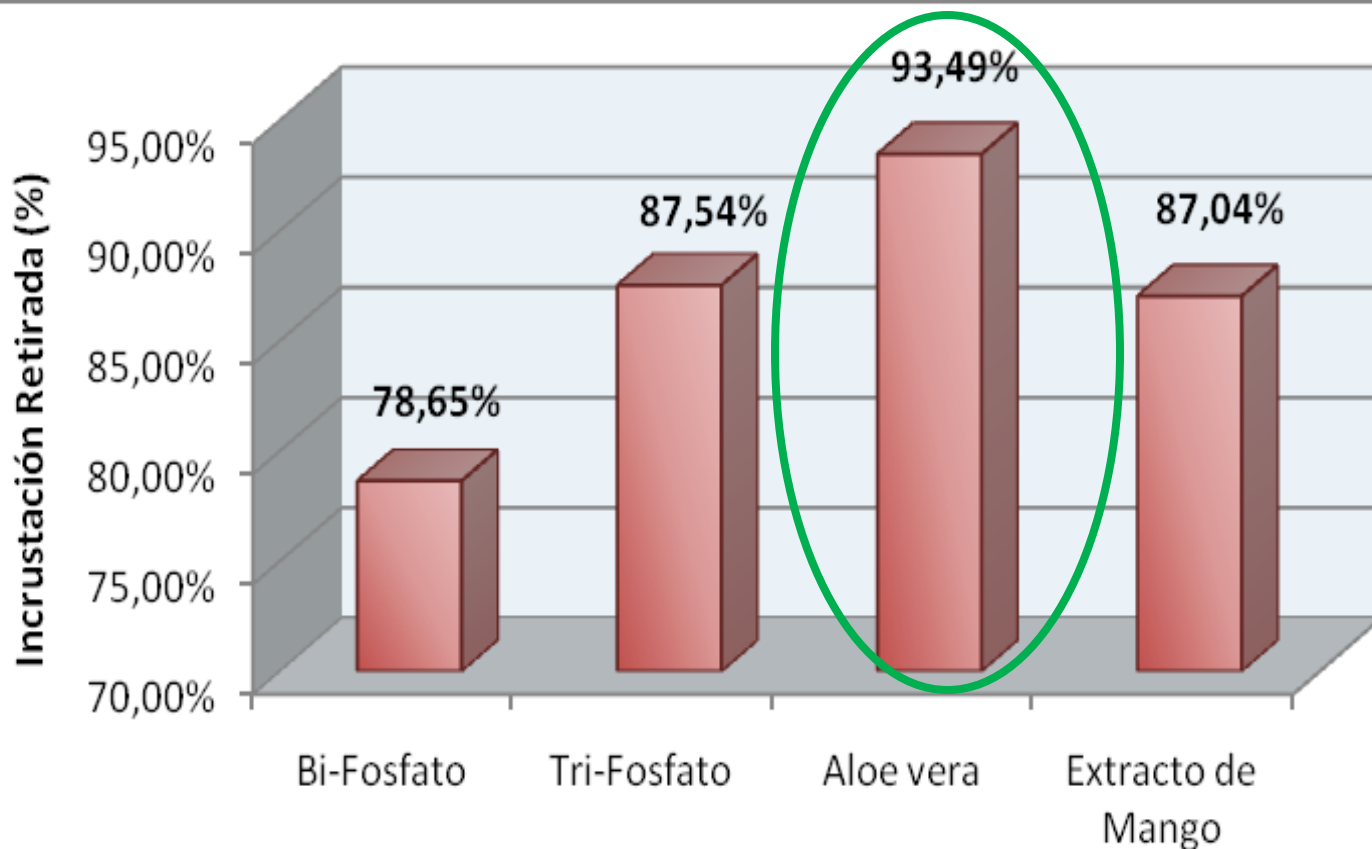
FLUJO DE CO_2
300 mL/min

PUNTO DE INCLUSIÓN DE CO_2
ENTRADA AL ROTÁMETRO

Evaluación de los Agentes Químicos como Removedores de Incrustación en **Presencia** de CO_2



Evaluación de los Agentes Químicos como Removedores de Incrustación en **Ausencia** de CO_2



Evaluación de los Agentes Químicos como Inhibidores y Removedores de Incrustación

AGENTES QUÍMICOS ORGÁNICOS



CO_2



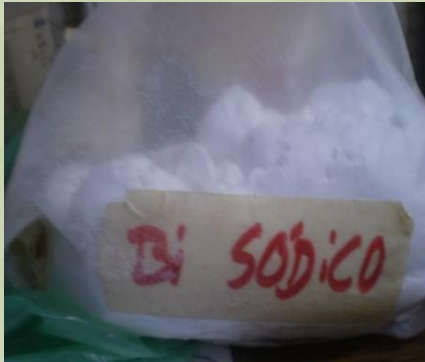
Inhibidor

Removedor

EFICIENCIA

Evaluación de los Agentes Químicos Orgánicos como Inhibidores y Removedores de Incrustación

AGENTES QUÍMICOS SINTÉTICOS



CO_2



Inhibidor

Removedor

EFICIENCIA

LA FORMACIÓN DE DEPÓSITOS CON CARACTERÍSTICAS INCRUSTANTES SE VE PROMOVIDA EN PRESENCIA DE CO_2 PARA MAYORES PERÍODOS DE EXPOSICIÓN EN SISTEMAS SEMI-CERRADOS.

PARA UN TIEMPO DE 24 HORAS DE INYECCIÓN DE CO_2 SE OBTIENE LA MAYOR CANTIDAD DE INCRUSTACIONES A RÉGIMEN ESTÁTICO, TIEMPO QUE GARANTIZA LA INTERACCIÓN ENTRE LOS IONES BICARBONATO Y LOS IONES CALCIO PRESENTES EN SOLUCIÓN.

CONCLUSIONES

LA INCLUSIÓN DEL CO_2 EN EL PUNTO ÓPTIMO DEL SISTEMA, GENERA UNA RÁPIDA DISMINUCIÓN EN LOS VALORES DE pH PARA LOS PRIMEROS 30 MINUTOS DE INYECCIÓN DE GAS, Y UN AUMENTO POSTERIOR QUE INDICA LA FORMACIÓN DE CARBONATO DE CALCIO.

EL PUNTO ÓPTIMO DE INCLUSIÓN DE CO_2 AL SISTEMA DINÁMICO ES LA ENTRADA AL ROTÁMETRO R-201 DEBIDO A QUE GARANTIZÓ EL MAYOR MEZCLADO CON EL AGUA SINTÉTICA.

A MAYOR FLUJO DE CO₂, SE OBTIENE MAYOR CANTIDAD DE CARBONATO DE CALCIO EN RÉGIMEN DINÁMICO.

A MENOR FLUJO DE AGUA, SE INCREMENTA LA DEPOSICIÓN DE CARBONATO DE CALCIO SOBRE LA SUPERFICIE DE LOS ANILLOS PALL.

A MAYORES TEMPERATURAS SE OBTIENE MAYOR CANTIDAD DE INCRUSTACIONES, DEBIDO A LA DISMINUCIÓN DE LA SOLUBILIDAD DE LOS SÓLIDOS PRESENTES EN EL SISTEMA.

A RÉGIMEN ESTÁTICO SE FAVORECE LA FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES, DEBIDO A QUE MEDIOS POCO TURBULENTOS NO GENERAN PERTURBACIONES SIGNIFICATIVAS, FACILITANDO ASÍ EL PROCESO DE NUCLEACIÓN Y POR ENDE EL CRECIMIENTO DE DEPÓSITOS CON CARACTERÍSTICAS INCRUSTANTES.

LOS AGENTES QUÍMICOS SINTÉTICOS PRESENTARON UN MEJOR DESEMPEÑO COMO INHIBIDORES DE INCRUSTACIÓN, EN COMPARACIÓN CON LOS ORGÁNICOS.

LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE MEB PARA LOS ENSAYOS EN BLANCO Y CON IMPLEMENTACIÓN DE AGENTES QUÍMICOS ORGÁNICOS, EVIDENCIAN LA PRESENCIA DE CALCITA, SIENDO ESTA LA MORFOLOGÍA MÁS ESTABLE.

LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE MEB PARA LOS ENSAYOS CON IMPLEMENTACIÓN DE AGENTES QUÍMICOS SINTÉTICOS, MOSTRARON DEPÓSITOS CRISTALINOS CON ARISTAS MODIFICADAS, DANDO ESTRUCTURAS AMORFAS QUE PODRÍAN SEMEJARSE AL CRISTAL DE LA VATERITA.

EN LOS EDS DE LOS ENSAYOS EN PRESENCIA DE AGENTES QUÍMICOS SINTÉTICOS, SE OBSERVAN ALTOS NIVELES DE CLORO Y SODIO, Y BAJOS NIVELES DE CALCIO, LO QUE EVIDENCIA EL BUEN FUNCIONAMIENTO Y DESEMPEÑO DE DICHS INHIBIDORES.

LOS EDS EVIDENCIAN LA PRESENCIA SIGNIFICATIVA DE CALCIO PARA EL BLANCO Y PARA LOS ENSAYOS CON IMPLEMENTACIÓN DE AGENTES QUÍMICOS ORGÁNICOS, CORROBORANDO LA DEPOSICIÓN DE CARBONATO DE CALCIO SOBRE LA SUPERFICIE DE LOS ANILLOS.

LA PRESENCIA DE CO_2 A ALTAS CONCENTRACIONES EN EL SISTEMA AFECTÓ DE MANERA SIGNIFICATIVA EL FUNCIONAMIENTO Y POR ENDE LA EFICIENCIA DE LOS INHIBIDORES ORGÁNICOS.

LA PRESENCIA DE UNA ALTA CONCENTRACIÓN DE PROTONES (H^+) EN EL MEDIO ACUOSO, PUDO PRODUCIR LA FORMACIÓN PUENTES DE HIDRÓGENO LOGRANDO MODIFICAR LAS ESTRUCTURAS DE LOS AGENTES QUÍMICOS ORGÁNICOS.

LA ADICIÓN DE LOS AGENTES QUÍMICOS ORGÁNICOS A UN MEDIO ÁCIDO, ORIGINÓ UN CAMBIO EN LA COLORACIÓN DE LA SOLUCIÓN, EVIDENCIANDO UNA INTERACCIÓN ENTRE DICHOS AGENTES Y EL MEDIO, LO QUE PUDO GENERAR UN CAMBIO EN LA ESTRUCTURA DE LOS MISMOS.

EN PRESENCIA DE CO_2 , LA MAYOR EFICIENCIA COMO REMOVEDOR DE INCRUSTACIÓN SE LE ADJUDICÓ AL TRI-FOSFATO DE SODIO CON UN 89,93% DE LA MASA RETIRADA SOBRE LA SUPERFICIE DE LOS ANILLOS, MIENTRAS QUE LOS ORGÁNICOS MANTUVIERON UN BAJO DESEMPEÑO.

EN AUSENCIA DE CO₂, LA MAYOR EFICIENCIA COMO REMOVEDOR DE INCRUSTACIÓN SE LE ADJUDICÓ AL ALOE VERA, CON UN 93,49% DE LA MASA INCRUSTADA RETIRADA, MIENTRAS QUE EL TRI-FOSFATO Y LA PROTEÍNA DE EXTRACTO DE MANGO PRESENTARON EFICIENCIAS SIMILARES ENTRE SÍ, OCUPANDO EL SEGUNDO LUGAR.

OCUPANDO EL SEGUNDO LUGAR.

EXTRACTO DE MANGO PRESENTARON EFICIENCIAS SIMILARES ENTRE SÍ, OCUPANDO EL SEGUNDO LUGAR.

REALIZAR UN ESTUDIO QUÍMICO Y ANALÍTICO DEL EFECTO QUE CAUSA LA SATURACIÓN DE CO₂ A LOS AGENTES QUÍMICOS ORGÁNICOS.

DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN CRÍTICA DE DIÓXIDO DE CARBONO QUE AFECTA EL FUNCIONAMIENTO DE LOS INHIBIDORES ORGÁNICOS.

RECOMENDACIONES

REALIZAR UN ESTUDIO DETALLADO DEL EMPLEO DE LOS AGENTES QUÍMICOS COMO REMOVEDORES DE INCRUSTACIONES A DISTINTAS CONDICIONES DEL SISTEMA, Y COMPARAR EL FUNCIONAMIENTO DE LOS SINTÉTICOS VS. ORGÁNICOS.

REALIZAR ADAPTACIONES AL EQUIPO DINÁMICO QUE PERMITAN EVALUAR EL DESEMPEÑO DE LOS DIFERENTES AGENTES QUÍMICOS A TEMPERATURAS SUPERIORES DE LOS 60 °C.



Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química



EVALUACIÓN DE INHIBIDORES DE INCRUSTACIONES EN TUBERÍAS DE AGUA DE PRODUCCIÓN EN PRESENCIA DE CO₂

Tutor Académico:
Francisco Yáñez

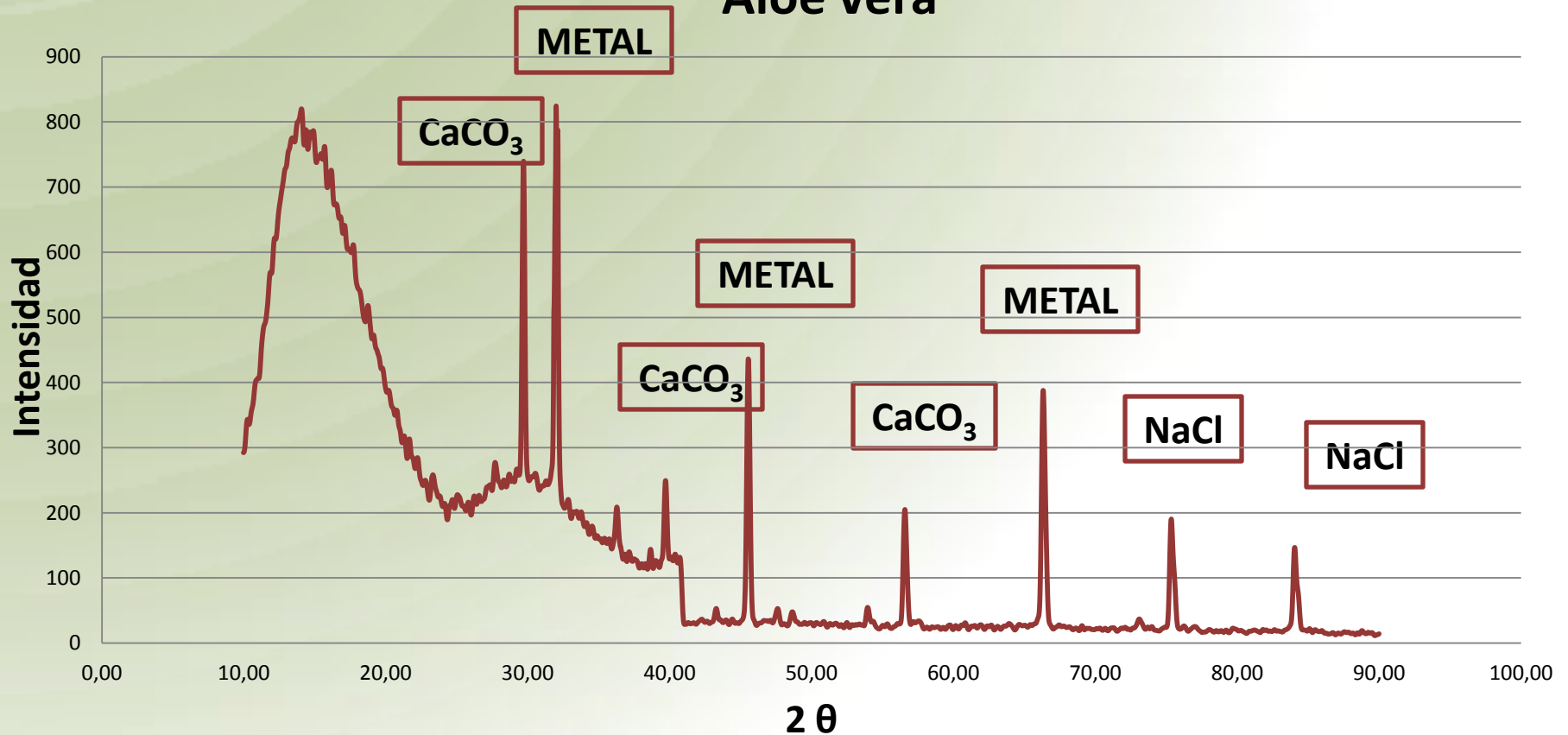
Presentado por:
Richard Cabrera
Ramón Losada

Caracas, Noviembre 2010

Difracción de Rayos X (DRX)

AGENTES QUÍMICOS ORGÀNICOS

Aloe vera



Difracción de Rayos X (DRX)

AGENTES QUÍMICOS ORGÀNICOS

PDF # 831762, Wavelength = 1.54060 (Å)

83-1762 Quality: C

CAS Number:

Molecular Weight: 100.09

Volume[CD]: 367.85

Dx: 2.711 Dm:

Syn: Hexagonal

Lattice: Rhomb-centered

S.G.: R $\bar{3}c$ (167)

Cell Parameters:

a 4.989 b c 17.06

α β γ

Mfoc: 3.25

Rad: CuK α 1

Lambda: 1.54060

Filter:

d-sp: calculated

ICSD #: 100676

Mineral Name:

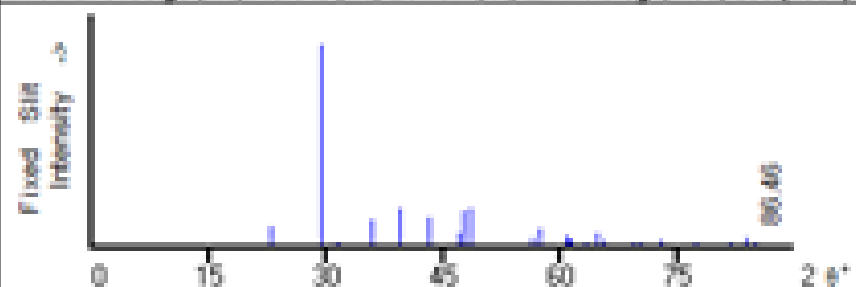
Calcite

Ca (C O3)

Calcium Carbonate

Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)

Ref: Effenberger, H., Messler, K., Zemann, J., Z. Kristallog., 196, 233 (1981)

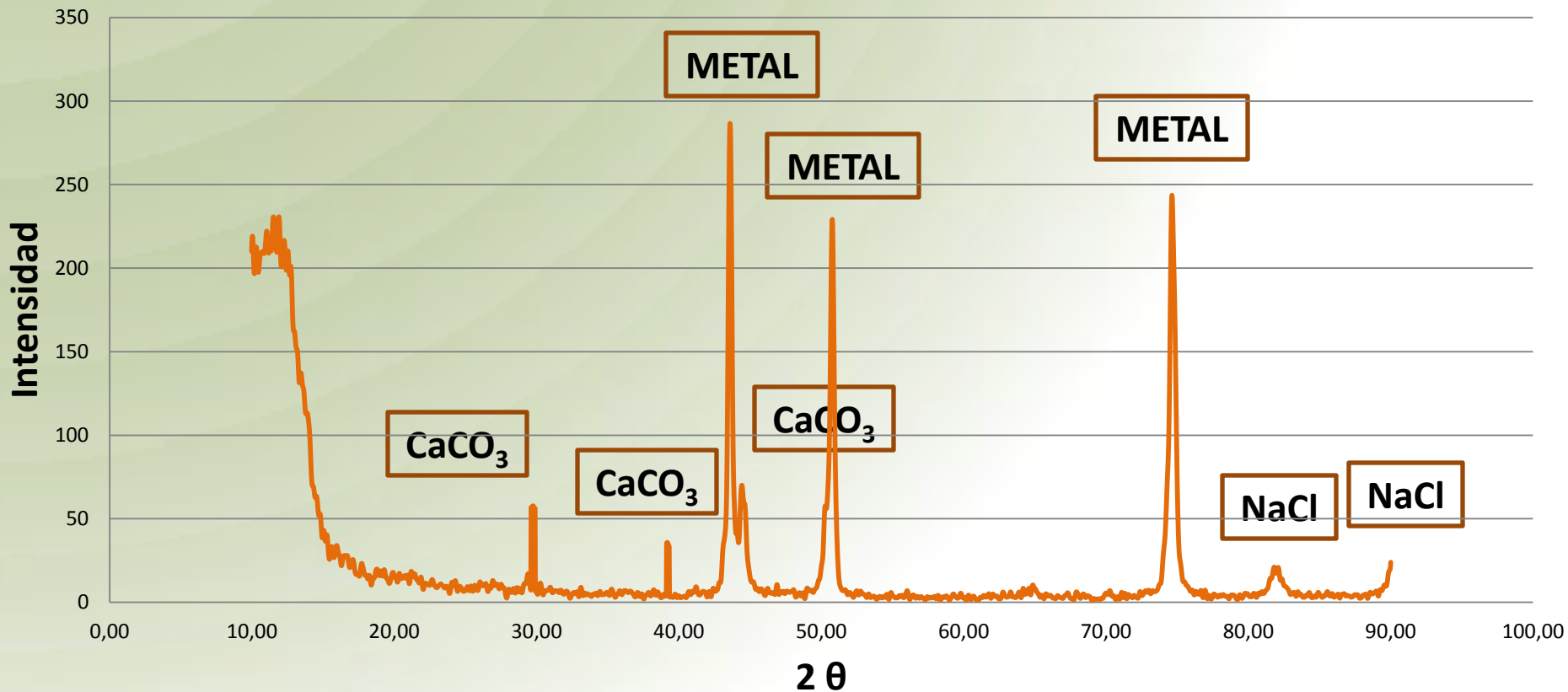


2 θ	Int-I	h	k	l	2 θ	Int-I	h	k	l	2 θ	Int-I	h	k	l
23.054	96	0	1	2	58.079	10	1	0	10	76.271	9	2	2	0
29.400	939	1	0	4	60.657	47	2	1	4	77.160	18	1	1	12
31.435	18	0	0	6	60.998	24	2	0	8	78.426	1	2	2	3
35.969	133	1	1	0	61.374	25	1	1	9	80.230	1	1	3	1
39.409	185	1	1	3	63.052	20	1	2	5	80.940	4	3	1	2
43.158	143	2	0	2	64.660	57	3	0	0	81.523	21	2	1	10
47.114	58	0	2	4	65.612	31	0	0	12	82.106	3	0	1	14
47.506	180	0	1	8	69.186	12	2	1	7	83.769	38	1	3	4
48.505	190	1	1	6	70.240	20	0	2	10	84.804	18	2	2	6
56.562	35	2	1	1	72.692	23	1	2	8	85.880	1	3	1	5
57.388	88	1	2	2	73.686	5	3	0	6	86.457	4	1	2	11

Difracción de Rayos X (DRX)

AGENTES QUÍMICOS ORGÀNICOS

Extracto de Mango



Difracción de Rayos X (DRX)

AGENTES QUÍMICOS ORGÀNICOS

PDF # 812027, Wavelength = 1.54060 (Å)

81-2027 Quality: C

CAS Number:

Molecular Weight: 100.09

Volume[CD]: 368.07

Dx: 2.709 Dm:

Sys: Hexagonal

Lattice: Rhomb-centered

S.G.: R $\bar{3}c$ (167)

Cell Parameters:

a 4.991 b c 17.06

α β γ

I/I_{cor}: 3.23

Rad: CuK α 1

Lambda: 1.54060

Filter:

d-sp: calculated

ICSD #: 073446

Mineral Name:

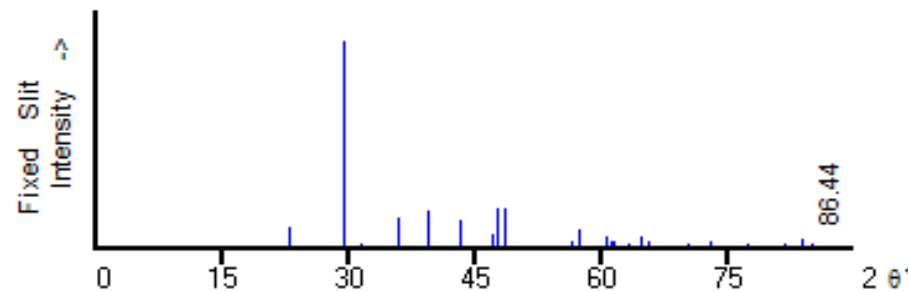
Calcite, syn

Ca (C O3)

Calcium Carbonate

Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)

Ref: Maslen, E.N., Streltsov, V.A., Streltsova, N.R., Acta Crystallogr., Sec. B: Structural Science, 49, 636 (1993)

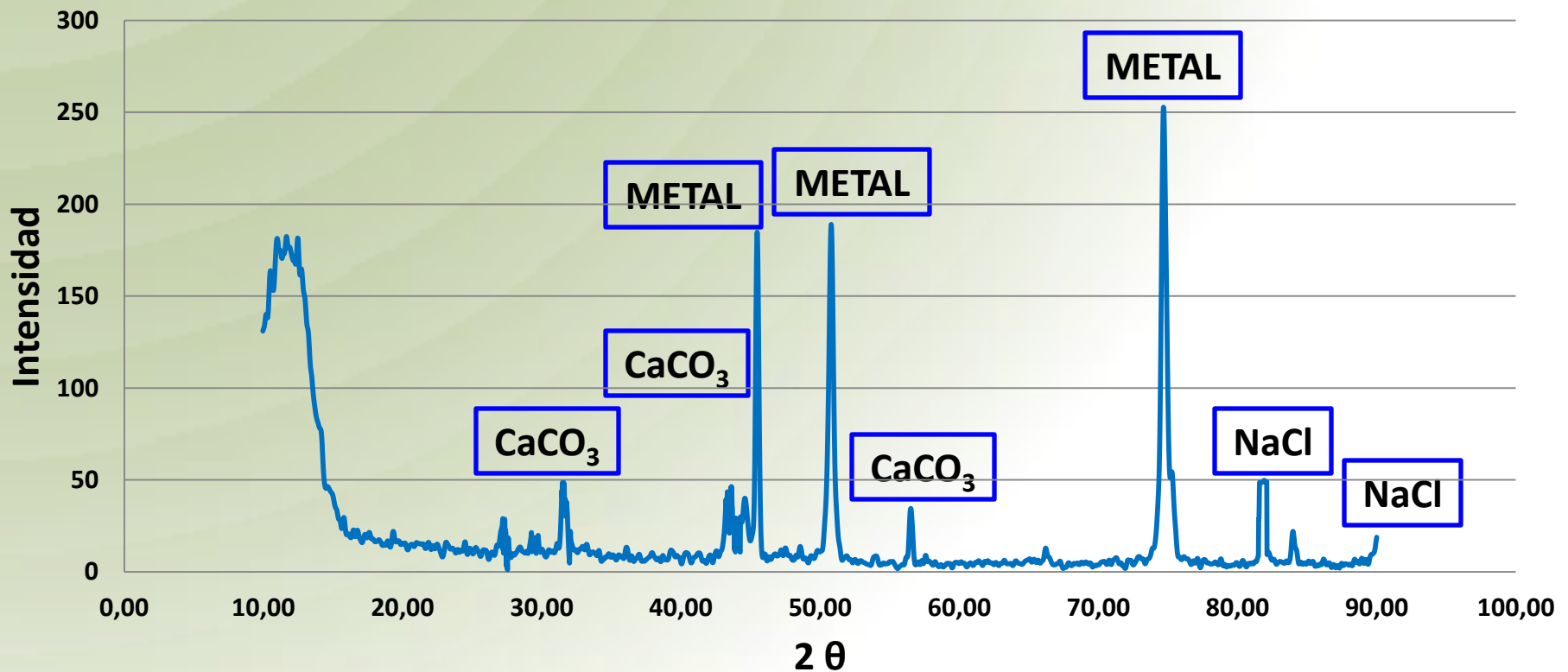


2 θ	Int-f	h	k	l	2 θ	Int-f	h	k	l	2 θ	Int-f	h	k	l
23.049	101	0	1	2	58.074	10	1	0	10	76.246	9	2	2	0
29.395	999	1	0	4	60.651	50	2	1	4	77.149	19	1	1	12
31.434	19	0	0	6	60.986	25	2	0	8	78.401	1	2	2	3
35.959	141	1	1	0	61.364	24	1	1	9	80.203	1	1	3	1
39.399	173	1	1	3	63.035	16	1	2	5	80.913	5	3	1	2
43.146	135	2	0	2	64.639	55	3	0	0	81.506	20	2	1	10
47.102	63	0	2	4	65.608	32	0	0	12	82.098	3	0	1	14
47.501	183	0	1	8	69.169	10	2	1	7	83.741	35	1	3	4
48.495	186	1	1	6	70.229	19	0	2	10	84.779	18	2	2	6
56.545	28	2	1	1	72.875	24	1	2	8	85.852	1	3	1	5
57.381	84	1	2	2	73.646	6	0	3	6	86.440	3	1	2	11

Difracción de Rayos X (DRX)

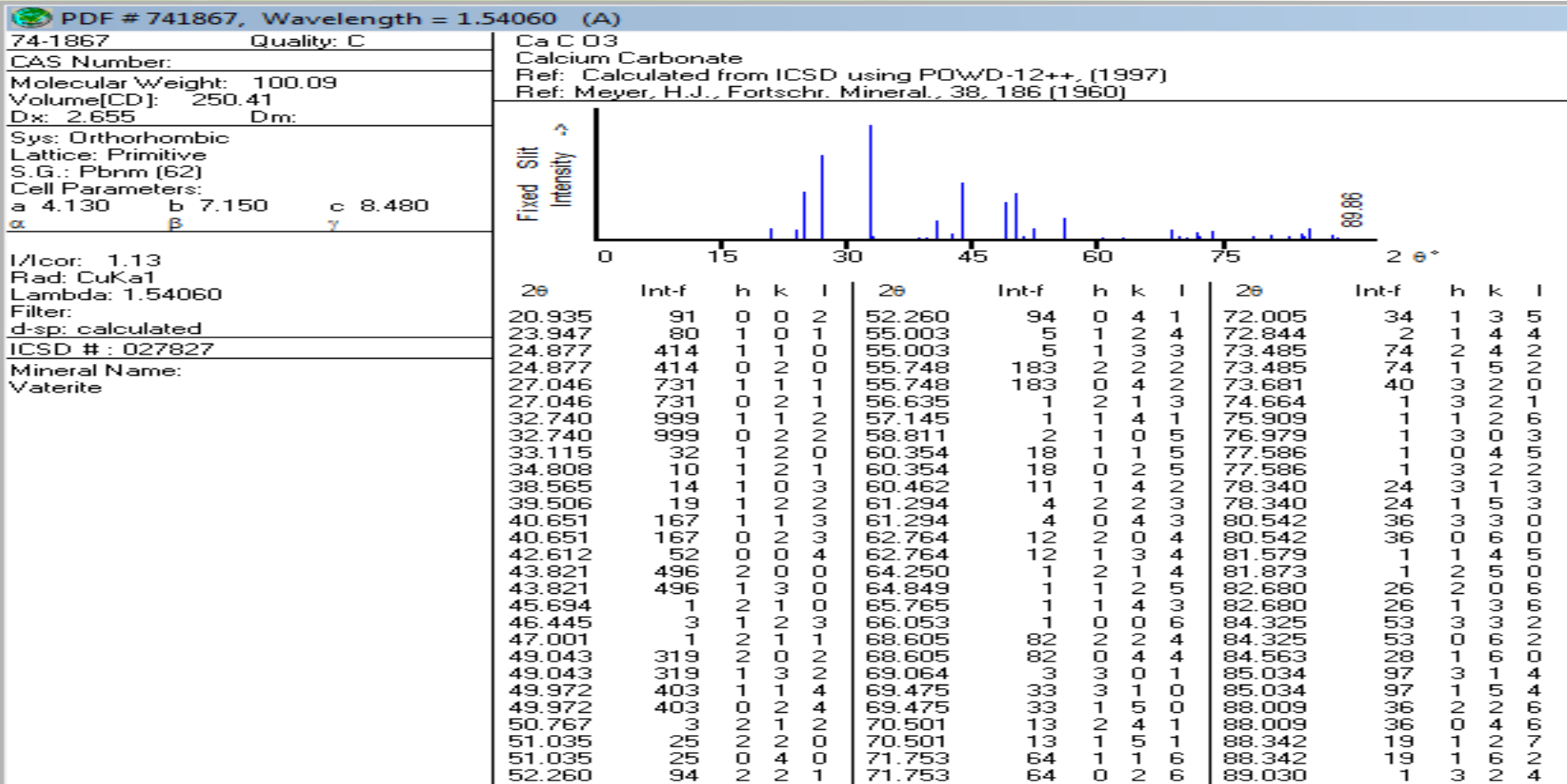
AGENTES QUÍMICOS SINTÉTICOS

Bi-Fosfato



Difracción de Rayos X (DRX)

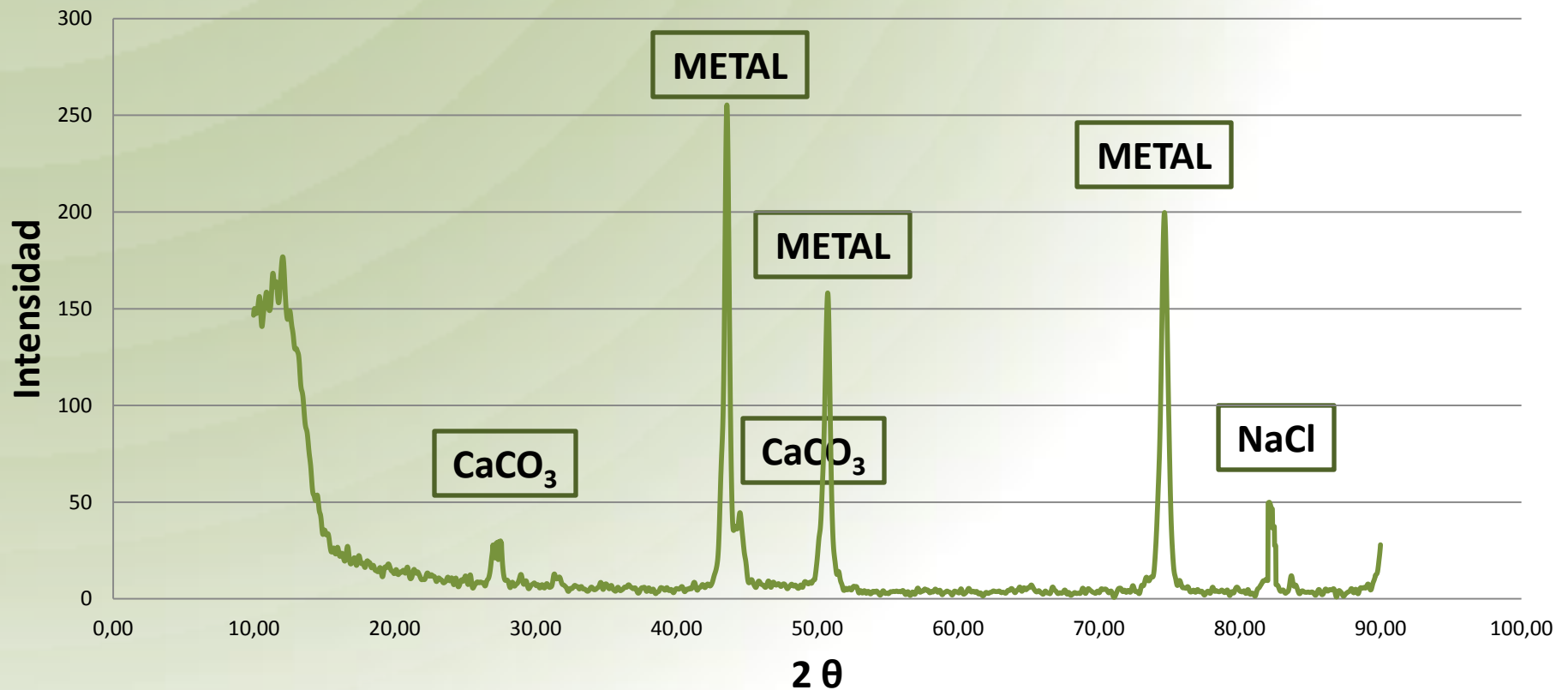
AGENTES QUÍMICOS SINTÉTICOS



Difracción de Rayos X (DRX)

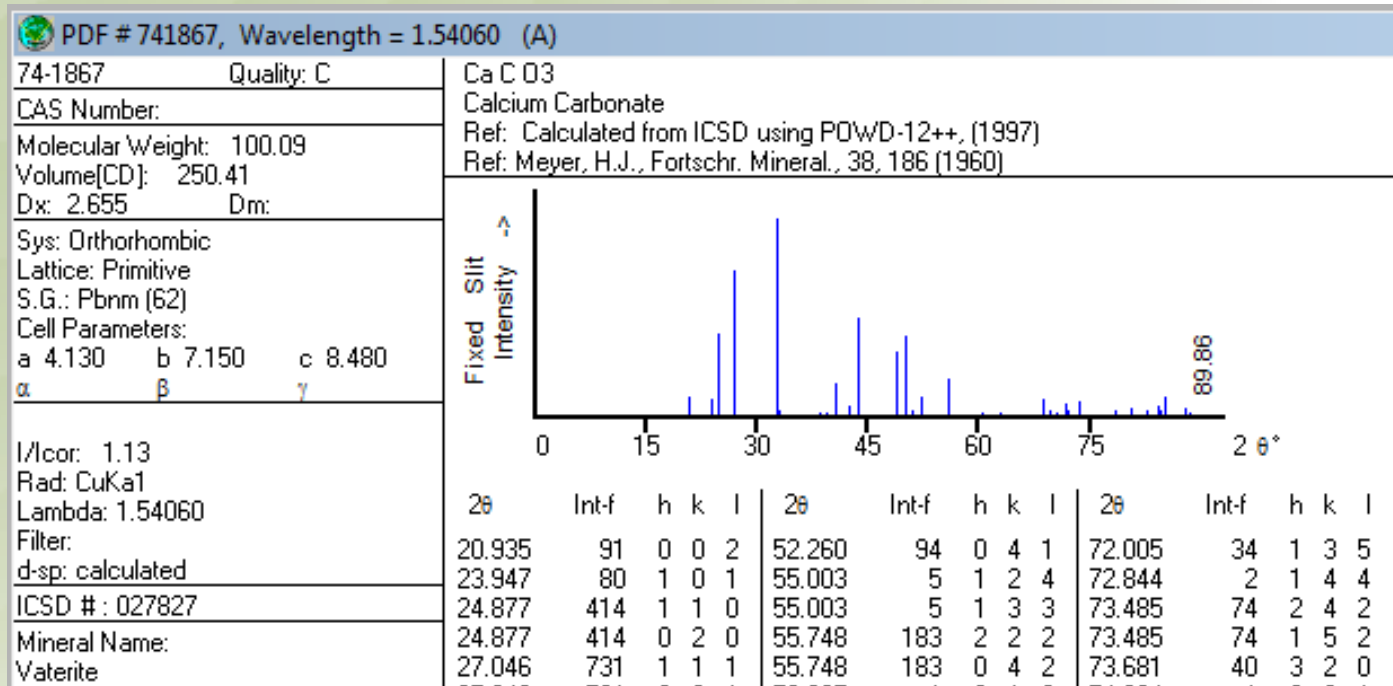
AGENTES QUÍMICOS SINTÉTICOS

Tri-Fosfato



Difracción de Rayos X (DRX)

AGENTES QUÍMICOS SINTÉTICOS



Flujo de Aguas de Producción

$$1\text{barril} = 159L$$

$$30 \frac{L}{\text{min}} * \frac{1\text{barril}}{159L} * \frac{60 \text{ min}}{1h} * \frac{24h}{1\text{día}} = 271,70 \frac{\text{barril}}{\text{día}}$$