

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

DETERMINACION DE LA DUREZA TOTAL Y DEL INDICE DE LANGELIER
DEL AGUA PARA USO INDUSTRIAL DE LOS POZOS DE LA EMPRESA
MUNICIPAL DE AGUA UBICADOS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA.

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERIA

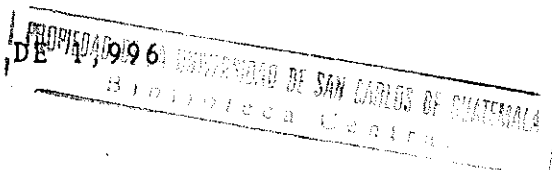
POR

VICTOR ERNESTO CORDON ORELLANA

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 1996



08
T(3841)

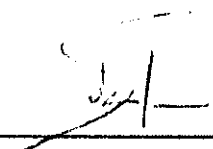
C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

DETERMINACION DE LA DUREZA TOTAL Y DEL INDICE DE LANGELIER DEL AGUA PARA USO INDUSTRIAL DE LOS POZOS DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA UBICADOS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA.

tema que fue aprobado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química.



VICTOR ERNESTO CORDON ORELLANA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO: ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK
VOCAL PRIMERO: ING. MIGUEL ANGEL SANCHEZ GUERRA
VOCAL SEGUNDO: ING. JACK DOUGLAS IBARRA SOLORZANO
VOCAL TERCERO: JUAN ADOLFO ECHEVERRIA MENDEZ
VOCAL CUARTO: BR. FERNANDO WALDEMAR DE LEON
VOCAL QUINTO: BR. PEDRO IGNACIO ESCALANTE PASTOR
SECRETARIO: ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

DECANO: ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK
EXAMINADOR: ING. JULIO ENRIQUE CHAVEZ MONTUFAR
EXAMINADOR: ING. ORLANDO POSADAS VALDEZ
EXAMINADOR: ING. JULIO ALBERTO RIVERA PALACIOS
SECRETARIO: ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ



Guatemala, octubre 9 de 1,996

Ingeniero
Adolfo Narciso Gramajo Antonio,
Director,
Escuela de Ingeniería Química,
Facultad de Ingeniería.

Señor Director

Por este medio me permito comunicarle que he asesorado el trabajo de tesis titulado DETERMINACION DE LA DUREZA TOTAL Y DEL INDICE DE LANGELIER DEL AGUA PARA USO INDUSTRIAL DE LOS POZOS DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA, del estudiante VICTOR ERNESTO CORDON ORELLANA, con carnet No. 9112001.

Considero que dicho trabajo llena los requisitos exigidos por la Escuela de Ingeniería Química, por lo que es conveniente que se apruebe y se proceda a la autorización del mismo.

Dejo constancia que la fase práctica de esta investigación cubrió la mayoría de los pozos que se encuentran en funcionamiento y que abastecen diariamente a la ciudad capital.

Me suscribo de usted, atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

ING. ZENON MUCH SANTOS
LABORATORIO DE QUIMICA Y MICROBIOLOGIA
SANITARIA
ASESOR



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 15 de octubre de 1,996.

Doctor
Adolfo Gramajo
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Doctor Gramajo.

Por medio de la presente hago de su conocimiento, que he revisado el Informe Final de Tels titulado: **DETERMINACION DE LA DUREZA TOTAL Y DEL INDICE DE LANGELIER DEL AGUA PARA USO INDUSTRIAL DE LOS POZOS DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA UBICADOS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA;** del estudiante **Víctor Ernesto Cordón Orellana**, de la cual dejo constancia de mi aprobación, para proceder a la autorización del respectivo trabajo.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Rodolfo Espinosa Smith
REVISOR

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA




FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Química; Dr. Adolfo Gramajo, después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de tesis del estudiante; **VICTOR ERNESTO CORDON ORELLANA** titulado: **DETERMINACION DE LA DUREZA TOTAL Y DEL INDICE DE LANGELIER DEL AGUA PARA USO INDUSTRIAL DE LOS POZOS DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA UBICADOS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA** procede a la autorización del mismo.


Dr. Adolfo Gramajo
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECTOR
ESCUELA
INGENIERIA QUIMICA
U. S. A. C.

Guatemala, 29 de octubre de 1,996.



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de tesis titulado: **DETERMINACION DE LA DUREZA TOTAL Y DEL INDICE DE LANGELIER DEL AGUA PARA USO INDUSTRIAL DE LOS POZOS DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA UBICADOS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA;** del estudiante **VICTOR ERNESTO CORDON ORELLANA,** procede a la autorización para la Impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Julio Ismael González Podszueck
DECANO



Guatemala, 29 de octubre de 1,996.

AGRADECIMIENTO

A Dios:

Por todo lo que El ha hecho y es en mi vida, especialmente por su amor.

A mis padres:

Victor Manuel Cordón y Cordón (QEPD) y Martha Judith Orellana de Cordón quienes siempre se esforzaron para darme el apoyo necesario. Gracias.

A mis hermanos:

Héctor Alberto, Mauricio y Ana Lucía por su cariño de siempre.

A mis abuelitas, tíos y primos:

Por el apoyo que me brindaron.

A mis amigos:

Especialmente a Ana Lucía Cotero Girón.

DEDICO ESTA TESIS

A Guatemala.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala.

A la Facultad de Ingeniería.

Al Colegio Guatemalteco Bilingüe.

A todas las personas que colaboraron en su elaboración.

INDICE

	PAGINA
1. Resumen.....	1
2. Glosario.....	2
3. Introducción.....	4
4. Antecedentes.....	6
4.1 Justificaciones.....	11
4.2 Objetivos.....	12
4.3 Hipótesis.....	13
5. Resultados.....	14
6. Discusión de resultados.....	17
7. Conclusiones.....	20
8. Recomendaciones.....	21
9. Referencias.....	22
10. Bibliografía.....	23
11. Anexos.....	24
11.1 Anexo No. 1: Datos originales.....	25
11.2 Anexo No. 2: Dirección de pozos de Empagua en la Ciudad de Guatemala.....	28
11.3 Anexo No. 3: Ubicación de pozos de Empagua en mapas de la Ciudad de Guatemala....	30
11.4 Anexo No. 4: Carta del Índice de Saturación de Langelier.....	37



1. RESUMEN

Se tomaron muestras de agua en 25 pozos de la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA) que surten a la Ciudad Guatemala (ver Anexo No. 3, Mapa No. 1 a No. 5), para analizar cada una de éstas y determinar la dureza total y el Índice de Langelier, con la finalidad de brindar esta información al industrial guatemalteco y al inversionista extranjero.

Los análisis se realizaron como lo indica la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR).

Se determinó que el agua proveniente de los pozos de EMPAGUA es en promedio moderadamente dura y moderadamente corrosiva. La dureza total estuvo en un rango de 62.56 a 244.04 mg/l de CaCO_3 y en promedio fue de 133.87. El Índice de Langelier varió desde -3.398 hasta +0.140 y en promedio fue de -0.921.

En este trabajo, se presentan los valores de la dureza total, índice de Langelier, dureza (aportada por Calcio), sólidos totales, alcalinidad, potencial de hidrógeno de las muestras recolectadas.

2. GLOSARIO

Ablandamiento: es todo aquel proceso que elimina o reduce la dureza del agua.

Alcalinidad: básicamente es la medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos, aunque los aniones de ácidos debiles pueden contribuir a la alcalinidad.

Dureza (aportada por calcio): es una característica del agua que presenta la concentración total de iones de calcio en el agua.

Dureza total: es una característica del agua que presenta la concentración total de los iones de calcio y magnesio, expresados como carbonato de calcio; si hubiera otros iones metálicos, se deben incluir.

Indice de Saturación de Langelier: es un indicador del comportamiento incrustante o corrosivo del agua, y se determina a partir de la alcalinidad, sólidos totales, dureza aportada por calcio y el potencial de hidrógeno, utilizando la "Carta del Indice de Saturación de Langelier". (Ver Anexo No. 4)

Potencial de hidrógeno (pH): es el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno en una solución acuosa.

Sólidos totales: son las sustancias orgánicas, vegetación en putrefacción, desechos producidos por actividades económicas, partículas en suspensión, flóculos y sedimentos que se pueden encontrar en el agua.

3. INTRODUCCION

La dureza del agua es uno de los problemas que con mayor frecuencia se encuentran en la industria; es uno de los términos heredados del pasado y que se origina en el uso casero del agua para lavado. Se encontró que algunas aguas eran duras al utilizarlas para el lavado de la ropa familiar, ya que se necesitaba más jabón para producir espuma, y fue tal el problema que en algunas casas recolectaban el agua de lluvia en recipientes para luego utilizarla.

La tradición define la dureza como la capacidad de consumo de jabón por el agua; con fines prácticos, la dureza se define como el contenido de calcio y magnesio en la misma.

La cantidad y la calidad del agua disponible son muy importantes para elegir el sitio de una planta industrial, debido a que es un elemento indispensable en todo proceso. Deben considerarse las aguas superficiales (aquellas que provienen de ríos, lagos, etc.) y las subterráneas, que son generalmente duras.

Las aguas duras provocan problemas en muchas industrias como las textiles, cerveceras, licoreras, de hielo, de lavado y en general en toda aquella industria en la que haya que utilizar calderas para producir vapor, o se necesite usar sistemas de enfriamiento.

La dureza del agua que proviene de un pozo puede variar mucho respecto a la proveniente de otro dependiendo de geología del terreno, la cual puede variar desde unos cuantos miligramos por litro en el agua de lluvia, hasta varios miles de miligramos por litro en aguas de manantiales.

"Ablandamiento" es el nombre que se le da a los procesos que eliminan o reducen la dureza del agua. La calidad del agua en lo que a dureza respecta variará en cada una de las industrias, por lo que cada industria tendrá que utilizar el proceso de ablandamiento que más se acomode a sus necesidades. El proceso de ablandar el agua provoca un gasto extra al proceso de producción, por eso es muy importante poder ubicar la planta en un lugar donde se pueda abastecer y que cumpla con los requerimiento necesarios.

El agua dura, por lo general, es incrustante y hace que la transferencia de calor en calderas y otros equipos sea deficiente, y cause gastos adicionales. Por el contrario, el agua muy blanda provoca corrosión del equipo dañándolo permanentemente.

4. ANTECEDENTES

La dureza es una característica del agua debida principalmente a su contenido de carbonatos y sulfatos, y ocasionalmente a los nitratos y cloruros de calcio, magnesio y hierro, que hace que el jabón forme grumos en el agua, que se consume más jabón, y se depositen incrustaciones en las calderas, además produce efectos perjudiciales en algunos procesos industriales, y a veces le da sabor indeseable. Generalmente se determina por el contenido de calcio y magnesio en el agua, y se expresa como carbonato de calcio equivalente. (1)

La dureza del agua para uso industrial se clasifica generalmente de la siguiente forma:

0 - 50	mg/l	-----	blanda
50 - 150	mg/l	-----	moderadamente dura
150 - 300	mg/l	-----	dura
más de 300	mg/l	-----	muy dura

Donde mg/l son los miligramos de carbonato de calcio por litro de agua. (2)

Existe una cantidad grande de industrias en las cuales sus procesos industriales se ven afectados por la dureza del agua. Por ejemplo, en la industria textil, el lavado de la tela producida con agua dura provoca un gasto excesivo de jabón, además de la formación de precipitados de calcio y

magnesio que se adhieren a las fibras produciendo manchas. En la mayoría de industrias, se utilizan calderas para producir vapor. El agua dura al evaporarse deja residuos debido a los minerales de calcio y magnesio, los cuales se sedimentan e incrustan en los tubos de las calderas, y provocan un aislamiento que disminuye la transferencia de calor y la eficiencia de la caldera. La capa aislante que forman las incrustaciones es de muy baja conductividad térmica (aproximadamente el 5% de la conductividad del acero), y llega a provocar pérdidas de calor a veces hasta de un 30%. Esto eleva considerablemente los costos de combustible. En la industria papelera, los precipitados de calcio y magnesio provocan manchas en el papel. Otras industrias que se ven afectadas son las fábricas de hielo, fábricas de bebidas carbonatadas, emparadoras de alimentos, productos farmacéuticos, etc. (1)

Las incrustaciones son formaciones cristalizadas de sales minerales, especialmente de calcio y magnesio contenidas en el agua, las cuales se depositan en la superficie interna de las calderas, tuberías, etc., principalmente bajo la acción de altas temperaturas y presiones. Las incrustaciones más comunes en calderas y demás equipos son las formadas por el carbonato de calcio, hidróxido de magnesio, sulfato de calcio y sílice.

Todas las industrias antes mencionadas se ven afectadas

por aguas duras. Sin embargo, las aguas blandas también provocan problemas debido a que normalmente son ácidas y contienen gases disueltos como oxígeno y bióxido de carbono, los cuales producen corrosión. El bióxido de carbono se combina con el agua formando ácido carbónico que ataca al hierro formando carbonatos de hierro. El oxígeno, a su vez, reacciona con los carbonatos de hierro formando óxido de hierro y liberando bióxido de carbono con lo que se inicia nuevamente la reacción. La corrosión también es causada por la acción de ácidos naturales presentes en el agua, y a menos que estos ácidos sean neutralizados, destruyen las calderas, tuberías y equipos auxiliares. (3)

La calidad del agua, en lo que a dureza se refiere, variará según el proceso de manufactura y la calidad que se desea obtener. (5)

La dureza total de cada una de las muestras recolectadas en el trabajo de campo en los pozos de EMPAGUA se determinó, según lo recomienda la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) en la norma COGUANOR NGO 29 002 h3; se usaron los reactivos, equipo y método que ahí se recomienda. (6)

El Índice de Saturación de Langelier es utilizado para predecir el comportamiento corrosivo o incrustante del agua. La tendencia de un abastecimiento de agua para producir incrustaciones o para corroer los metales depende del balance

entre sus constituyentes. Tanto el fenómeno de incrustación como el de corrosión se pueden minimizarse con tratamientos diversos que se aplican en forma diferente en cada caso. El agua se clasifica en corrosiva o incrustante, según el índice de saturación de la siguiente forma. (2)

<u>Índice de Saturación</u>	<u>Calidad del Agua</u>
-0.96 en adelante	corrosiva
-0.51 a -0.95	moderadamente corrosiva
-0.02 a -0.50	ligeramente corrosiva
cero	corrosión e incrustación mínimos
+0.02 a +0.50	ligeramente incrustante
+0.51 a +0.95	moderadamente incrustante
+0.96 en adelante	incrustante

Con el propósito de inhibir la corrosión, es necesario mantener un índice de saturación ligeramente positivo. La corrosión destruye un equipo, mientras que cuando hay incrustaciones, éstas se pueden eliminar y el equipo volverá a funcionar con normalidad. El rango recomendado para el índice de saturación es de +0.6 a +1.0. (2)

El Índice de Saturación de Langelier (Is) se calculó al restar el potencial de hidrógeno de saturación (pHs), que se indicará como se calculó posteriormente, del potencial de hidrógeno (pH) medido en la muestra de agua. Se utilizó la ecuación siguiente:

$$Is = pH - pHs \quad (1)$$

Para calcular el pHs, se debe determinar en cada muestra de agua la dureza de calcio expresado en mg/l de CaCO₃, la alcalinidad expresada como mg/l de CaCO₃ y los sólidos totales (C) a la temperatura del agua. Se debe usar la siguiente ecuación. (2)

$$\text{pHs} = \text{pCa} + \text{pAlc} + C \quad (\text{II})$$

Los valores de pCa, pAlc y C se determinaron con la gráfica que se presenta en el Anexo No. 4.

Anteriormente se realizaron dos estudios acerca de la dureza del agua en Guatemala. El primero se realizó en 1967 por Magdiel Escobar Archila titulado "Consideraciones sobre la Dureza del Agua". (3). En este caso, el enfoque se hizo a toda la República, y no se hizo un muestreo, sino que se obtuvieron los datos del Archivo del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Dirección General de Obras Públicas. Se estudió el tipo de industrias que utilizan agua en la Ciudad Capital de Guatemala, pero no se presentaron datos de dureza. El segundo estudio lo realizó Carlos Alfredo Fernández Erazo en 1985, y lo tituló "Investigación de la Calidad del Agua desde el Punto de Vista Químico Sanitario en la República de Guatemala". (4). En este caso, tampoco se realizó un muestreo y como lo indica el título se realizó a nivel República.

EMPAGUA realiza un análisis completo al agua en cada uno de los pozos al momento que éstos entran en funcionamiento. Todos los análisis necesarios para que el agua sea apta para consumo humano se siguen realizando diariamente, no así los análisis de dureza.

4.1 JUSTIFICACIONES

Actualmente no existe información actualizada que esté al alcance del industrial e inversionista guatemalteco acerca de la dureza del agua y el índice de Langelier en la Ciudad de Guatemala. La mayor parte de la industria que está ubicada en el perímetro de la Ciudad de Guatemala realiza este tipo de análisis periódicamente, pero esta información no está al alcance del pequeño y mediano industrial, y mucho menos para aquel que desee iniciar labores. Este estudio busca brindar información para todo aquel que desee iniciar con una pequeña planta, en la cual el agua sea un elemento básico en su producción y que estos parámetros influyan en su producto final. Se pretende analizar la dureza total y el índice de Langelier del agua en cada uno de los pozos de EMPAGUA que actualmente surten a la ciudad, para que así el nuevo industrial ubique su fábrica en el lugar que mejor le convenga, y pueda también prever los gastos en que incurrirá si necesita tratarla. Si el nuevo industrial necesitara perforar un pozo para abastecerse de agua, tendrá información

general del agua de los pozos más cercanos a su planta, o podrá decidir dónde le conviene más ubicarse según estos parámetros.

4.2 OBJETIVOS

Objetivo General

- Determinar la dureza del agua y el índice de Langelier en los pozos de EMPAGUA que abastecen la Ciudad de Guatemala, y así proporcionar información para una correcta ubicación de plantas industriales en las que el agua sea un elemento importante.

Objetivo Específico

- Determinar la dureza de calcio, el potencial de hidrógeno, los sólidos totales y la alcalinidad en las muestras de agua recolectadas.

4.3 HIPOTESIS

El agua que abastece a la Ciudad de Guatemala proveniente de los pozos de la Empresa Municipal de Agua será moderadamente dura e incrustante, si la dureza total está entre 50 y 150 mg/l de carbonato de calcio, y el Índice de Langelier es un valor positivo.

5. RESULTADOS

El muestreo de 25 pozos de EMPAGUA da como resultado que el agua proveniente de éstos tiene una dureza total promedio de 133.87 mg/l de CaCO_3 y un Índice de Langelier promedio de -1.057. A continuación, se presenta la dureza total y el Índice de Langelier de cada uno de los pozos, según su ubicación en la Ciudad de Guatemala.

TABLA No. 1

No.	NOMBRE DE POZOS	DUREZA TOTAL (mg/l CaCO_3)	INDICE DE LANGELIER
13	Belén	87.57	- 1.287
23	Brigada VI	80.06	- 1.425
24	Filtros Brigada I	82.58	- 1.318
25	Filtros Brigada II	85.08	- 1.442
	Promedio	83.82	- 1.368

Dureza total e Índice de Langelier de muestras de agua de pozos ubicados en noroeste de la Ciudad de Guatemala. (Ver Mapa No. 3, Anexo No. 2).

TABLA No. 2

No.	NOMBRE DE POZOS	DUREZA TOTAL (mg/l CaCO ₃)	INDICE DE LANGELIER
1	Proyecto 4-3 I	237.71	+ 0.075
2	Proyecto 4-3 II	225.20	+ 0.105
3	Proyecto 4-10	244.04	+ 0.140
4	Jocotales II	150.14	- 0.766
5	San Antonio	75.06	- 1.375
6	José Milla	112.60	- 1.465
7	Neuro I	212.70	- 0.015
8	Neuro II	187.66	- 0.035
9	Maya I	62.56	- 2.200
10	Maya II	212.70	+ 0.120
11	Barrio Colombia	200.18	- 0.117
12	Canalitos	62.56	- 3.398
18	Colón	125.11	- 1.255
19	Santo Domingo	162.64	- 1.425
20	Juana de Arco	92.57	- 1.515
21	Preventiva	212.69	- 0.086
22	Centro América	97.60	- 1.482
	Promedio	157.24	- 0.864

Dureza total e Índice de Langelier de muestras de agua de pozos ubicados en noreste de la Ciudad de Guatemala. (Ver Mapa No. 4, Anexo No. 2).

TABLA No. 3

No.	NOMBRE DE POZOS	DUREZA TOTAL (mg/l CaCO ₃)	INDICE DE LANGELIER
14	Arcos II	87.58	- 1.587
15	Américas	75.06	- 1.567
16	Diagonal VI	100.09	- 1.505
17	Maestro	75.06	- 1.595
	Promedio	84.45	- 1.564

Dureza total e Índice de Langelier de muestras de agua de pozos ubicados en sureste de la Ciudad de Guatemala. (Ver Mapa No. 5, Anexo No. 2).

6. DISCUSION DE RESULTADOS

Dureza total

El análisis de las 25 muestras de agua recolectados en 25 distintos pozos de la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA) ha arrojado datos ya esperados, según la hipótesis planteada. En 1,967, se realizó un estudio acerca de la dureza total del agua en la República de Guatemala y reveló que la dureza total en el agua de los pozos de la ciudad era de 142 mg/l de CaCO_3 (Pag. 17, Ref. No. 3). El presente estudio revela que la dureza total en los pozos de la Ciudad de Guatemala es de 133.87 mg/l de CaCO_3 , lo que indica que la dureza total de las aguas subterráneas depende muy poco del paso del tiempo y la época del año. La dureza total de las aguas subterráneas está determinada por la naturaleza del suelo y subsuelo donde está ubicado el pozo. El agua de lluvia se filtra a través de los estratos geológicos y a su paso disuelve pequeñas cantidades de minerales que determinan su composición química.

Se determinó que en las zonas noroeste y sureste de la Ciudad Guatemala, el agua contiene 83.82 y 84.45 mg/l de CaCO_3 en promedio respectivamente, lo que indica que es moderadamente dura, mientras que en la zona noreste el agua contiene 157.24 mg/l de CaCO_3 en promedio, por lo que se considera dura.

Indice de Langelier

El Índice de Langelier obtenido fue de -1.057 lo que indica que el agua de pozos ubicados en la Ciudad de Guatemala es corrosiva. Sin embargo, al analizar los datos obtenidos en cada uno de los pozos, se observa que el pozo # 12 llamado "Canalitos" ubicado en la Aldea Canalitos, zona 17 arrojó datos muy lejanos al promedio obtenido. Es el pozo con alcalinidad más baja, dureza total y dureza aportada por calcio más bajas, potencial de hidrógeno más bajo, el cuarto valor más bajo en lo que a sólidos totales se refiere, y como era de esperarse, según estos valores, un Índice de Langelier de -3.398 (Índice de Langelier más bajo que se halló). (Ver Tabla No. 1, Anexo No. 1 y Sección de Resultados). El hecho de que estos valores estén tan alejados de los promedios se debe a la composición química del suelo donde se ubica el pozo (aunque esto no se comprobó), por lo que se descarta este pozo para determinar el promedio.

El Índice de Langelier promedio es de -0.921, que indica que el agua es moderadamente corrosiva.

Al analizar los resultados del Índice de Langelier de los pozos, según su ubicación, determinaron que la zonas noroeste y sureste proveen agua corrosiva, ya que los índices fueron de -1.368 y -1.564 respectivamente, mientras que la zona noreste provee agua moderadamente corrosiva, ya que el índice determinado es de -0.864.

Al analizar conjuntamente los resultados de la dureza total y el Índice de Langelier se comprueba la validez de los mismos, ya que el agua mientras más blanda es (menor dureza), su potencial corrosivo será mayor, esta situación se observó en los resultados.

7. CONCLUSIONES

1. El agua de los pozos de la Empresa Municipal de Agua que abastece a la Ciudad de Guatemala es en promedio moderadamente dura y moderadamente corrosiva.
2. El agua de los pozos de la Empresa Municipal de Agua que abastece las zonas noroeste y sureste de la Ciudad de Guatemala es en promedio moderadamente dura y corrosiva, mientras que la zona noreste es abastecida por agua dura y moderadamente corrosiva.
3. El agua proveniente del pozo "Canalitos" ubicado en la Aldea Canalitos zona 17, ciudad de Guatemala, no es apta para uso industrial.

8. RECOMENDACIONES

1. El agua de los pozos de la Empresa Municipal de Agua que abastece a la Ciudad de Guatemala, que es dura, puede ser ablandada por el método de cal y zeolitas si se desea darle uso industrial.
2. El agua proveniente del pozo "Canalitos" ubicado en la Aldea Canalitos zona 17 Ciudad Guatemala no debe tener uso industrial, sin antes ser tratada debido a su alto potencial corrosivo.
3. Se debe conocer la calidad del agua que se necesita para una industria antes de determinar su ubicación.
4. Hay que realizar un análisis completo de la fuente de agua que se utilizará en una industria antes de iniciar operaciones.
5. Se deben realizar periódicamente determinaciones de dureza total e Índice de Langelier en toda industria donde se utilice agua.

9. REFERENCIAS

1. AUSTIN, George T. Manual de Procesos Químicos en la Industria
5a. Edición. Traducido por Matilde Eva Espinoza
Rubio. México. Editorial McGraw Hill. 1,988. p.p. 23-
26.
2. CARBONELL LARA; Juan Fernando. Evaluación de la Calidad de
Agua del Rio El Zapote y sus Posibles Usos. Estudio
Especial, ERIS, Facultad de Ingeniería, USAC. Guatemala,
1,995. p.p. 58-65.
3. ESCOBAR ARCHILA, Magdiel. Consideraciones sobre la Dureza del
Agua. (tesis, Ing. Civil. Universidad de San Carlos de
Guatemala). Guatemala, 1,967.
p.p. 5-11, 17.
4. FERNANDEZ ERAZO, Carlos Alfredo. Investigación de la Calidad
del Agua desde el Punto de Vista Químico Sanitario en la
República de Guatemala. (tesis, Ing. Civil. Universidad
de San Carlos de Guatemala).
Guatemala, 1,985. p.p. 12, 18, 33-35, 63.
5. Manual de Tratamiento de Aguas.
Traducido por Ing. Raúl Guerrero Torres.
México: Editorial Limusa Wiley, S.A.
Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York.
1,964. p.p. 123.
6. Norma COGUANOR N60 29 002 H3.
Determinación de la dureza del agua por el procedimiento
del titulación con EDTA.
Comisión guatemalteca de normas.
Guatemala, 1,983. p.p. 1-6.

10. BIBLIOGRAFIA

1. AYRES, Gilbert H. Análisis Químico Cuantitativo.
2a. Edición. México. Editorial Harla. 1,970.
2. DAY JR., R.A. & A. L. Underwood. Química Analítica Cuantitativa. 5a. Edición. Traducido por María Cristina Arroyo Espinosa. México. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. 1,989.
3. Guía para la Calidad del Agua.
2a. Edición. Ginebra. Organización Mundial de la Salud. s.p.i. 1,995.
4. KEMMER, Frank N. & John McCallion. Manual del Agua, su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones.
Traducido por Matilde Eva Espinoza Rubio. México. Editorial McGraw Hill. 1,979.
5. Manual para Análisis de aguas HACH.
s.l.i. s.p.i. 1,982 - 1,984.
6. MERCK, E. Análisis del Agua.
9a. Edición. Alemania. s. p. i. 1,974.
7. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters.
14a. Edición. E.U.A. s.p.i. 1,975.
8. Taller No. 1. Calidad del Agua, Evaluación de la Calidad del Agua del Embalse Chixoy. ERIS , Facultad de Ingeniería, USAC. Guatemala, 1,987.

ANEXOS

11.1 ANEXO No. 1

DATOS ORIGINALES

TABLA No. 4

No.	NOMBRE DEL POZO	ALCALINIDAD	SOLIDOS TOTAL	DUREZA	pH	TEMPERATURA
1	Proyecto 4-3 I	183.02	405.00	230.30	7.30	26.00
2	Proyecto 4-3 II	193.50	280.20	221.51	7.30	25.70
3	Proyecto 4-10	188.74	363.00	244.04	7.30	25.40
4	Jocotales II	87.97	271.00	142.67	7.00	25.90
5	San Antonio	97.23	276.00	71.33	6.60	27.50
6	Jose Milla	83.88	321.00	105.13	6.41	27.80
7	Neuro I	154.42	325.50	191.48	7.38	27.20
8	Neuro II	162.05	318.50	142.67	7.47	27.70
9	Maya I	26.69	192.50	60.07	6.40	27.30
10	Maya II	175.39	295.50	171.45	7.49	27.20
11	Barrio Colombia	186.83	349.00	160.19	7.26	27.40
12	Canalitos	11.44	184.00	52.56	5.61	27.90
13	Belen	99.13	353.50	86.35	6.61	28.00
14	Arcos II	85.79	269.00	80.09	6.36	26.60
15	Americas	81.98	262.00	50.06	6.60	27.10
16	Diagonal VI	83.88	281.50	77.59	6.47	26.80
17	Maestro	85.79	97.00	56.32	6.46	26.90
18	Colon	83.88	395.00	111.38	6.60	25.60
19	Santo Domingo	83.88	472.50	148.93	6.30	25.80
20	Juana de Arco	45.76	150.50	85.10	6.70	27.20
21	Preventiva	183.02	343.50	162.70	7.28	27.10
22	Centro America	99.14	134.00	80.09	6.40	26.60
23	Brigada IV	85.79	395.00	75.09	6.57	26.90
24	Filtros Brigada I	78.16	183.50	70.08	6.68	26.90
25	Filtros Brigada II	83.88	252.00	72.59	6.55	27.30
	Promedio	109.25	286.81	117.99	6.76	26.87

Alcalinidad (mg/l de CaCO₃), sólidos totales (mg/l), dureza aportada por calcio (mg/l de CaCO₃), potencial de hidrógeno y temperatura (grados centígrados) de cada uno de las muestras de agua recolectadas en los pozos de EMPAGUA.

TABLA No. 5

No.	NOMBRE DEL POZO	pCa	Alc P.	C	pHs	Is
1	Proyecto 4-3 I	2.65	2.44	2.135	7.225	0.075
2	Proyecto 4-3 II	2.66	2.42	2.115	7.195	0.105
3	Proyecto 4-10	2.62	2.41	2.130	7.160	0.140
4	Jocotales II	2.89	2.76	2.116	7.766	(0.766)
5	San Antonio	3.15	2.71	2.115	7.975	(1.375)
6	Jose Milla	3.01	2.74	2.125	7.875	(1.465)
7	Neuro I	2.73	2.54	2.125	7.395	(0.015)
8	Neuro II	2.89	2.49	2.125	7.505	(0.035)
9	Maya I	3.23	3.27	2.100	8.600	(2.200)
10	Maya II	2.79	2.46	2.120	7.370	0.120
11	Barrio Colombia	2.81	2.44	2.127	7.377	(0.117)
12	Canalitos	3.28	3.64	2.088	9.008	(3.398)
13	Belen	3.07	2.70	2.127	7.897	(1.287)
14	Arcos II	3.10	2.73	2.117	7.947	(1.587)
15	Americas	3.30	2.75	2.117	8.167	(1.567)
16	Diagonal VI	3.12	2.74	2.115	7.975	(1.505)
17	Maestro	3.27	2.73	2.055	8.055	(1.595)
18	Colon	2.98	2.74	2.135	7.855	(1.255)
19	Santo Domingo	2.84	2.74	2.145	7.725	(1.425)
20	Juana de Arco	3.07	3.06	2.085	8.215	(1.515)
21	Preventiva	2.80	2.44	2.126	7.366	(0.086)
22	Centro America	3.10	2.70	2.082	7.882	(1.482)
23	Brigada IV	3.13	2.73	2.135	7.995	(1.425)
24	Filtros Brigada I	3.16	2.75	2.088	7.998	(1.318)
25	Filtros Brigada II	3.14	2.74	2.112	7.992	(1.442)
	Promedio	2.99	2.71	2.114	7.821	(1.057)

Valores obtenidos a partir de la Tabla No. 1 utilizando la Carta del Indice de Langelier (Anexo No. 3), con los cuales se obtuvo el potencial de hidrogeno de saturacion (pHs) necesario para obtener el Indice de Saturacion de Langelier (Is).

11.2 ANEXO No. 2

DIRECCION DE POZOS DE EMPAGUA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA

En esta sección, se presenta la dirección de cada uno de los pozos que se visitaron para recolectar las muestras de agua.

No.	NOMBRE DE POZOS	DIRECCION
1	Proyecto 4-3 I	Proyecto 4-3 zona 6.
2	Proyecto 4-3 II	Proyecto 4-3 zona 6.
3	Proyecto 4-10	23 calle y 19 ave. final proyecto 4-10 zona 6.
4	Jocotales II	21 calle "C" 23 ave. zona 6.
5	San Antonio	24 ave. y 17 calle zona 6 Barrio San Antonio.
6	José Milla	Calzada José Milla y 23 ave. zona 6.
7	Neuro I	Hospital Neuropsiquiátrico zona 18.
8	Neuro II	Hospital Neuropsiquiátrico zona 18.
9	Maya I	Mz. 7 lote 9-65 Colonia Maya zona 18.
10	Maya II	8 ave. final Col. Maya zona 18.
11	Barrio Colombia	17 ave. y 15 calle zona 18.
12	Canalitos	Aldea Canalitos zona 17.
13	Belén	5 calle zona 19 Col. La Brigada
14	Arcos II	Bldv. Liberación y 7 avenida zona 9.

15	Américas	Avenida Las Americas y 2 calle zona 13.
16	Diagonal VI	Diagonal VI y 10 ave. zona 10.
17	Maestro	18 ave. y 2 calle zona 15.
18	Colón	12 ave. y 9 calle zona 1.
19	Santo Domingo	12 ave. y 11 calle zona 1.
20	Juana de Arco	Colonia Juana de Arco zona 18.
21	Preventiva	Finca Preventiva de Mujeres zona 18.
22	Centro América	Avenida Centro América y
23	Brigada VI	Calz. San Juan y 47 ave. zona 7.
24	Filtros Brigada I	Calz. San Juan y 47 ave. zona 7.
25	Filtros Brigada II	Calz. San Juan y 47 ave. zona 7.

11.3 ANEXO No. 3

UBICACION DE LOS POZOS DE EMPAGUA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA

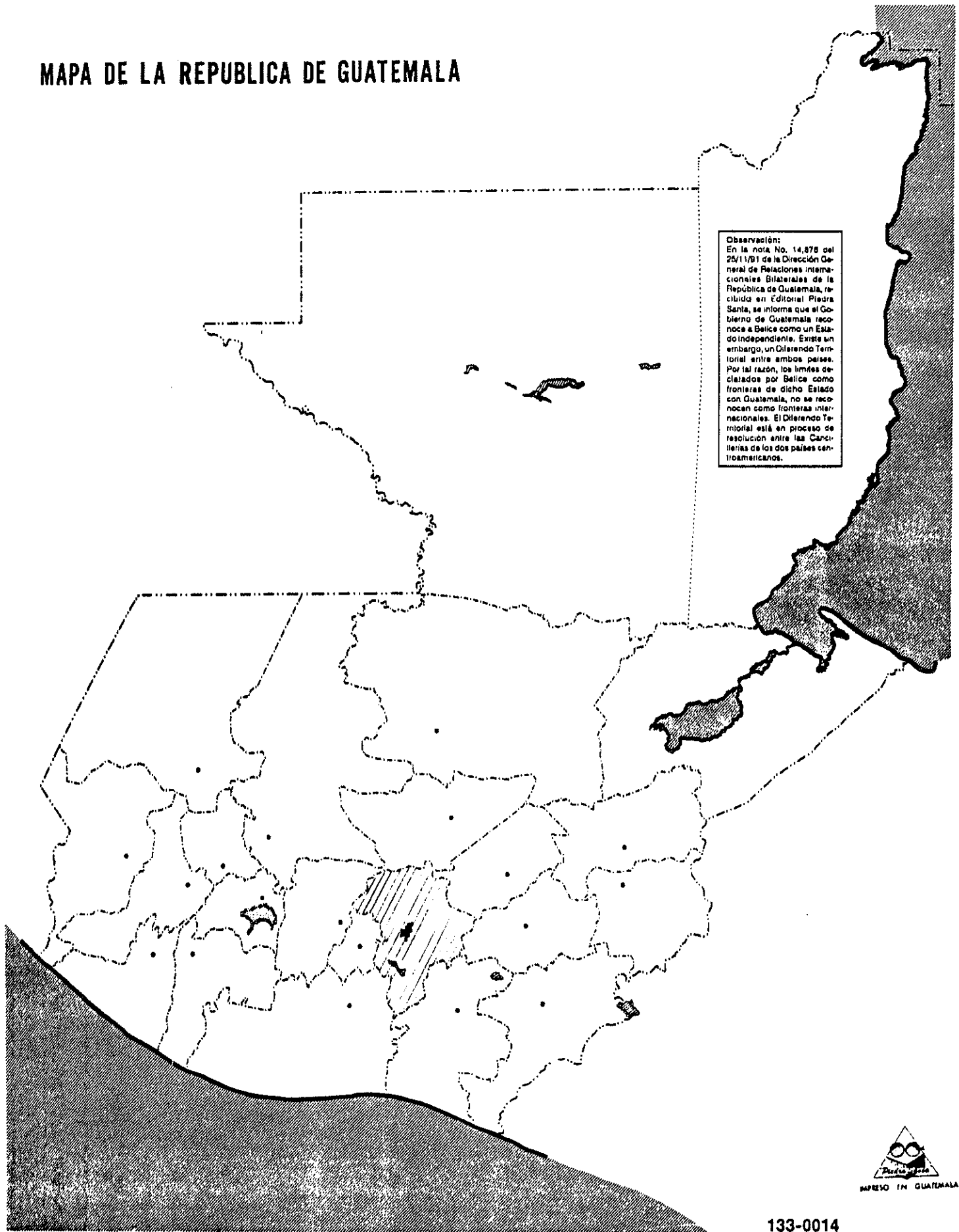
Mapa No. 1	República de Guatemala
Mapa No. 2	Departamento de Guatemala
Mapa No. 3	Noroeste de la Ciudad de Guatemala
13	Belén
23	Brigada VI
24	Filtros Brigada I
25	Filtros Brigada II
Mapa No. 4	Noreste de la Ciudad de Guatemala
1	Proyecto 4-3 I
2	Proyecto 4-3 II
3	Proyecto 4-10
4	Jocotales II
5	San Antonio
6	José Milla
7	Neuro I
8	Neuro II
9	Maya I
10	Maya II
11	Barrio Colombia
12	Canalitos

- 18 Colón
- 19 Santo Domingo
- 20 Juana de Arco
- 21 Preventiva
- 22 Centro América

Mapa No. 5 Sureste de la Ciudad de Guatemala

- 14 Arcos II
- 15 Americas
- 16 Diagonal VI
- 17 Maestro

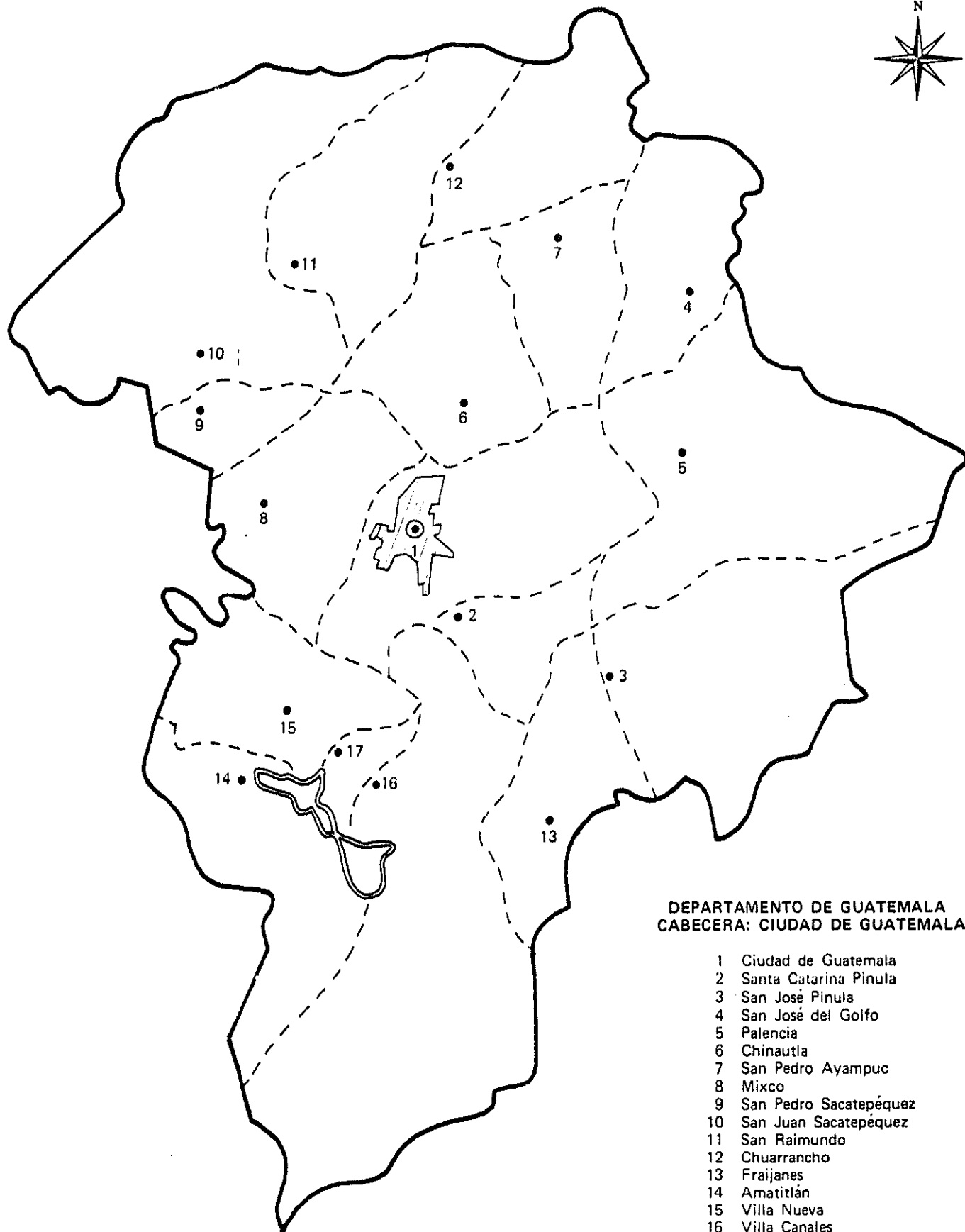
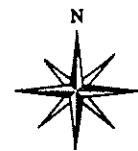
MAPA DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA



Observación:
En la nota No. 14,878 del 26/1/91 de la Dirección General de Relaciones Internacionales Bilaterales de la República de Guatemala, recibida en Editorial Piedra Santa, se informa que el Gobierno de Guatemala reconoce a Belice como un Estado independiente. Existe un embargo, un Diferendo Territorial entre ambos países. Por tal razón, los límites declarados por Belice como fronteras de dicho Estado con Guatemala, no se reconocen como fronteras internacionales. El Diferendo Territorial está en proceso de resolución ante las Cámaras de los dos países centroamericanos.



133-0014

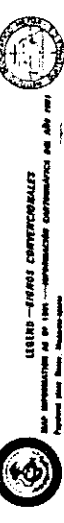


**DEPARTAMENTO DE GUATEMALA
CABECERA: CIUDAD DE GUATEMALA**

- 1 Ciudad de Guatemala
- 2 Santa Catarina Pinula
- 3 San José Pinula
- 4 San José del Golfo
- 5 Palencia
- 6 Chinautla
- 7 San Pedro Ayampuc
- 8 Mixco
- 9 San Pedro Sacatepéquez
- 10 San Juan Sacatepéquez
- 11 San Raimundo
- 12 Chuarrancho
- 13 Frajiles
- 14 Amatitlán
- 15 Villa Nueva
- 16 Villa Canales
- 17 Petapa



133-0024



LEGEND - SYMBOLS CONVENTIONALES
 Map Symbols as of 1964 - Convenciones Simbolicas de 1964

CONTOUR INTERVAL 10 METERS
CONTORNOS DE NIVELES A INTERVALOS DE 10 METROS

ALJIBEROS SIEMPRE
AGUAS ADYACENTES

NOTES
 A line is shown in black if elevation is 2.11 to 2.77 meters.

1:15,000	1:25,000	1:50,000	1:100,000
1:15,000	1:25,000	1:50,000	1:100,000

GUIDE TO NUMBERED FEATURES
GUIA DE LOS SIGNOS NUMERADOS

COMMERCIAL AND INDUSTRIAL
 COMERCIALES E INDUSTRIALES

MILITARY INSTALLATIONS
 INSTALACIONES MILITARES

RECREATION - RESORTS
 RECREACION - RESORTS

UNIVERSITY AND COLLEGE
 UNIVERSIDAD Y COLEGIO

GOVERNMENT BUILDINGS - FINANCIAL INSTITUTIONS
 EDIFICIOS GOBIERNAL - INSTITUCIONES FINANCIERAS

Produced and published by the Defense Mapping Agency Photographic/Topographic Center, Washington, DC

LIBROS - SERIES CONSECUTIVAS
 SERIE DE LIBROS DE 1968 - INFORMACION CANTONADA DE JUNIO 1968

1. Mapa de la zona de estudio.
 2. Mapa de la zona de estudio.
 3. Mapa de la zona de estudio.
 4. Mapa de la zona de estudio.
 5. Mapa de la zona de estudio.
 6. Mapa de la zona de estudio.
 7. Mapa de la zona de estudio.
 8. Mapa de la zona de estudio.
 9. Mapa de la zona de estudio.
 10. Mapa de la zona de estudio.
 11. Mapa de la zona de estudio.
 12. Mapa de la zona de estudio.
 13. Mapa de la zona de estudio.
 14. Mapa de la zona de estudio.
 15. Mapa de la zona de estudio.
 16. Mapa de la zona de estudio.
 17. Mapa de la zona de estudio.
 18. Mapa de la zona de estudio.
 19. Mapa de la zona de estudio.
 20. Mapa de la zona de estudio.
 21. Mapa de la zona de estudio.
 22. Mapa de la zona de estudio.
 23. Mapa de la zona de estudio.
 24. Mapa de la zona de estudio.
 25. Mapa de la zona de estudio.
 26. Mapa de la zona de estudio.
 27. Mapa de la zona de estudio.
 28. Mapa de la zona de estudio.
 29. Mapa de la zona de estudio.
 30. Mapa de la zona de estudio.
 31. Mapa de la zona de estudio.
 32. Mapa de la zona de estudio.
 33. Mapa de la zona de estudio.
 34. Mapa de la zona de estudio.
 35. Mapa de la zona de estudio.
 36. Mapa de la zona de estudio.
 37. Mapa de la zona de estudio.
 38. Mapa de la zona de estudio.
 39. Mapa de la zona de estudio.
 40. Mapa de la zona de estudio.
 41. Mapa de la zona de estudio.
 42. Mapa de la zona de estudio.
 43. Mapa de la zona de estudio.
 44. Mapa de la zona de estudio.
 45. Mapa de la zona de estudio.
 46. Mapa de la zona de estudio.
 47. Mapa de la zona de estudio.
 48. Mapa de la zona de estudio.
 49. Mapa de la zona de estudio.
 50. Mapa de la zona de estudio.
 51. Mapa de la zona de estudio.
 52. Mapa de la zona de estudio.
 53. Mapa de la zona de estudio.
 54. Mapa de la zona de estudio.
 55. Mapa de la zona de estudio.
 56. Mapa de la zona de estudio.
 57. Mapa de la zona de estudio.
 58. Mapa de la zona de estudio.
 59. Mapa de la zona de estudio.
 60. Mapa de la zona de estudio.
 61. Mapa de la zona de estudio.
 62. Mapa de la zona de estudio.
 63. Mapa de la zona de estudio.
 64. Mapa de la zona de estudio.
 65. Mapa de la zona de estudio.
 66. Mapa de la zona de estudio.
 67. Mapa de la zona de estudio.
 68. Mapa de la zona de estudio.
 69. Mapa de la zona de estudio.
 70. Mapa de la zona de estudio.
 71. Mapa de la zona de estudio.
 72. Mapa de la zona de estudio.
 73. Mapa de la zona de estudio.
 74. Mapa de la zona de estudio.
 75. Mapa de la zona de estudio.
 76. Mapa de la zona de estudio.
 77. Mapa de la zona de estudio.
 78. Mapa de la zona de estudio.
 79. Mapa de la zona de estudio.
 80. Mapa de la zona de estudio.
 81. Mapa de la zona de estudio.
 82. Mapa de la zona de estudio.
 83. Mapa de la zona de estudio.
 84. Mapa de la zona de estudio.
 85. Mapa de la zona de estudio.
 86. Mapa de la zona de estudio.
 87. Mapa de la zona de estudio.
 88. Mapa de la zona de estudio.
 89. Mapa de la zona de estudio.
 90. Mapa de la zona de estudio.
 91. Mapa de la zona de estudio.
 92. Mapa de la zona de estudio.
 93. Mapa de la zona de estudio.
 94. Mapa de la zona de estudio.
 95. Mapa de la zona de estudio.
 96. Mapa de la zona de estudio.
 97. Mapa de la zona de estudio.
 98. Mapa de la zona de estudio.
 99. Mapa de la zona de estudio.
 100. Mapa de la zona de estudio.



AGUAS VIVAS
 POZAS AVANZADAS

POZA 1	POZA 2	POZA 3	POZA 4
POZA 5	POZA 6	POZA 7	POZA 8

CONTORNEO INTERIOR 10 METROS
 CURVAS DE NIVEL A INTERVALOS DE 10 METROS

1. Contorno interior de 10 metros.
 2. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 3. Contorno exterior de 10 metros.
 4. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 5. Contorno interior de 10 metros.
 6. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 7. Contorno exterior de 10 metros.
 8. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 9. Contorno interior de 10 metros.
 10. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 11. Contorno exterior de 10 metros.
 12. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 13. Contorno interior de 10 metros.
 14. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 15. Contorno exterior de 10 metros.
 16. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 17. Contorno interior de 10 metros.
 18. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 19. Contorno exterior de 10 metros.
 20. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 21. Contorno interior de 10 metros.
 22. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 23. Contorno exterior de 10 metros.
 24. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 25. Contorno interior de 10 metros.
 26. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 27. Contorno exterior de 10 metros.
 28. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 29. Contorno interior de 10 metros.
 30. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 31. Contorno exterior de 10 metros.
 32. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 33. Contorno interior de 10 metros.
 34. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 35. Contorno exterior de 10 metros.
 36. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 37. Contorno interior de 10 metros.
 38. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 39. Contorno exterior de 10 metros.
 40. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 41. Contorno interior de 10 metros.
 42. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 43. Contorno exterior de 10 metros.
 44. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 45. Contorno interior de 10 metros.
 46. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 47. Contorno exterior de 10 metros.
 48. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 49. Contorno interior de 10 metros.
 50. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 51. Contorno exterior de 10 metros.
 52. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 53. Contorno interior de 10 metros.
 54. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 55. Contorno exterior de 10 metros.
 56. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 57. Contorno interior de 10 metros.
 58. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 59. Contorno exterior de 10 metros.
 60. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 61. Contorno interior de 10 metros.
 62. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 63. Contorno exterior de 10 metros.
 64. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 65. Contorno interior de 10 metros.
 66. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 67. Contorno exterior de 10 metros.
 68. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 69. Contorno interior de 10 metros.
 70. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 71. Contorno exterior de 10 metros.
 72. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 73. Contorno interior de 10 metros.
 74. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 75. Contorno exterior de 10 metros.
 76. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 77. Contorno interior de 10 metros.
 78. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 79. Contorno exterior de 10 metros.
 80. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 81. Contorno interior de 10 metros.
 82. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 83. Contorno exterior de 10 metros.
 84. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 85. Contorno interior de 10 metros.
 86. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 87. Contorno exterior de 10 metros.
 88. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 89. Contorno interior de 10 metros.
 90. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 91. Contorno exterior de 10 metros.
 92. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 93. Contorno interior de 10 metros.
 94. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 95. Contorno exterior de 10 metros.
 96. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 97. Contorno interior de 10 metros.
 98. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.
 99. Contorno exterior de 10 metros.
 100. Curvas de nivel a intervalos de 10 metros.

GUIDE TO NUMBERED FEATURES
 GUIDE TO DETAILS NUMEROSAS

1. Guia de detalles numerados.
 2. Guia de detalles numerados.
 3. Guia de detalles numerados.
 4. Guia de detalles numerados.
 5. Guia de detalles numerados.
 6. Guia de detalles numerados.
 7. Guia de detalles numerados.
 8. Guia de detalles numerados.
 9. Guia de detalles numerados.
 10. Guia de detalles numerados.
 11. Guia de detalles numerados.
 12. Guia de detalles numerados.
 13. Guia de detalles numerados.
 14. Guia de detalles numerados.
 15. Guia de detalles numerados.
 16. Guia de detalles numerados.
 17. Guia de detalles numerados.
 18. Guia de detalles numerados.
 19. Guia de detalles numerados.
 20. Guia de detalles numerados.
 21. Guia de detalles numerados.
 22. Guia de detalles numerados.
 23. Guia de detalles numerados.
 24. Guia de detalles numerados.
 25. Guia de detalles numerados.
 26. Guia de detalles numerados.
 27. Guia de detalles numerados.
 28. Guia de detalles numerados.
 29. Guia de detalles numerados.
 30. Guia de detalles numerados.
 31. Guia de detalles numerados.
 32. Guia de detalles numerados.
 33. Guia de detalles numerados.
 34. Guia de detalles numerados.
 35. Guia de detalles numerados.
 36. Guia de detalles numerados.
 37. Guia de detalles numerados.
 38. Guia de detalles numerados.
 39. Guia de detalles numerados.
 40. Guia de detalles numerados.
 41. Guia de detalles numerados.
 42. Guia de detalles numerados.
 43. Guia de detalles numerados.
 44. Guia de detalles numerados.
 45. Guia de detalles numerados.
 46. Guia de detalles numerados.
 47. Guia de detalles numerados.
 48. Guia de detalles numerados.
 49. Guia de detalles numerados.
 50. Guia de detalles numerados.
 51. Guia de detalles numerados.
 52. Guia de detalles numerados.
 53. Guia de detalles numerados.
 54. Guia de detalles numerados.
 55. Guia de detalles numerados.
 56. Guia de detalles numerados.
 57. Guia de detalles numerados.
 58. Guia de detalles numerados.
 59. Guia de detalles numerados.
 60. Guia de detalles numerados.
 61. Guia de detalles numerados.
 62. Guia de detalles numerados.
 63. Guia de detalles numerados.
 64. Guia de detalles numerados.
 65. Guia de detalles numerados.
 66. Guia de detalles numerados.
 67. Guia de detalles numerados.
 68. Guia de detalles numerados.
 69. Guia de detalles numerados.
 70. Guia de detalles numerados.
 71. Guia de detalles numerados.
 72. Guia de detalles numerados.
 73. Guia de detalles numerados.
 74. Guia de detalles numerados.
 75. Guia de detalles numerados.
 76. Guia de detalles numerados.
 77. Guia de detalles numerados.
 78. Guia de detalles numerados.
 79. Guia de detalles numerados.
 80. Guia de detalles numerados.
 81. Guia de detalles numerados.
 82. Guia de detalles numerados.
 83. Guia de detalles numerados.
 84. Guia de detalles numerados.
 85. Guia de detalles numerados.
 86. Guia de detalles numerados.
 87. Guia de detalles numerados.
 88. Guia de detalles numerados.
 89. Guia de detalles numerados.
 90. Guia de detalles numerados.
 91. Guia de detalles numerados.
 92. Guia de detalles numerados.
 93. Guia de detalles numerados.
 94. Guia de detalles numerados.
 95. Guia de detalles numerados.
 96. Guia de detalles numerados.
 97. Guia de detalles numerados.
 98. Guia de detalles numerados.
 99. Guia de detalles numerados.
 100. Guia de detalles numerados.

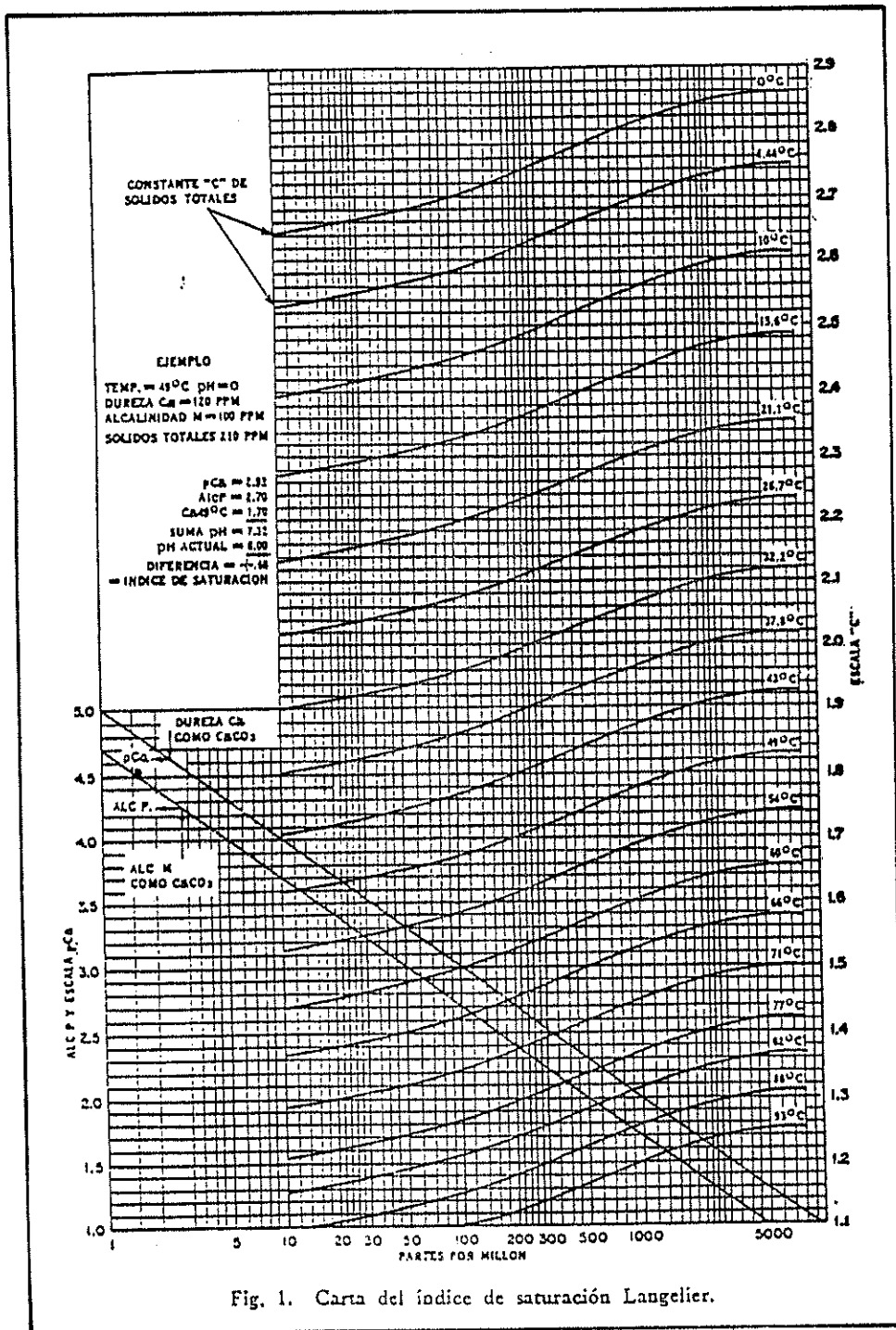


Fig. 1. Carta del índice de saturación Langelier.