

ESTUDO DA INTRUSÃO MARINHA NOS AQUÍFEROS
COSTEIROS DA COSTA PACÍFICA DA NICARÁGUA

NORBERTO FENZL*

RESUMO--Os aquíferos da costa Pacífica da Nicarágua, entre Poneloya e Aposentillo (região León-Chinandega), em contram-se sujeitos a intrusão marinha em decorrência das características geológicas locais e a intensa exploração das águas subterrâneas, principalmente nos meses de verão. No presente trabalho foram aplicados métodos hidroquímicos comparativos para determinar o avanço das águas salinas e o perigo real de uma intrusão marinha naquela região. Foram coletadas amostras de águas subterrâneas e do mar em novembro de 1982 e maio de 1983, que correspondem, aproximadamente, ao início e fim do verão. Com os resultados das análises químicas foram realizadas comparações entre vários parâmetros, principalmente, condutividade pH, Eh e as relações Mg/Ca, SO₄/Cl, K/Na, Cl-(Na+K)/Cl. As representações gráficas destes resultados sugerem a existência de 3 zonas com diferentes graus de perigo de intrusão. Todos os dados indicam que efetivamente existe um perigo latente de intrusão na zona 1, qualificada como "zona de perigo maior". No entanto, os resultados das amostras de maio de 1983 mostram que o processo de intrusão encontra-se atualmente estabilizado. Sugere-se que a zona 1 seja considerada como área de proteção e controle, evitando, na medida do possível um aumento da exploração naquela região.

ABSTRACT--The present study in an attempt to use hydrochemical and geological indicators to find out the actual state of salt water intrusion in coastal aquifers of the León-Chinandega Area, Nicaragua. The consideration of all geological and physical-chemical indicators like conductivity, pH, Eh, Ca/Mg, SO₄/Cl, K/Na, Cl - (Na + K),

Cl
plotted on maps to establish possible relationships between ground-and seawater, leads us to the following conclusions: a) Existence of 3 different intrusion levels: Zone 1 to Zone 3, where Zone 1 has been identified as the Area With highest intrusion characteristics. b) The process of intrusion shows actually a state of Stagnation. c) No significative exploration increase should be carried out in the Zone 1, to maintain the actual state of equilibrium.

* Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA.
Caixa Postal 1611, CEP. 66.000 - Belém, PA.

INTRODUCCIÓN

Los acuíferos de la franja costera entre PoneLOY y Aposentillo, presentan 2 condiciones favorables para una eventual Intrusión Marina.

a) Condición geológica: La Formación Tamarindo (que en otras regiones costeras constituye una barrera natural entre el mar y los depósitos acuíferos cuaternarios) desaparece al NO de PoneLOY. La región mas propicia para una Intrusión Marina, desde el punto de vista geológico, se encuentra entre Corinto y Aposentillo (Fig. 1).

b) Condición hidrogeológica: Debido a la extracción intensa de las Aguas Subterráneas para riego, puede producirse una inversión del gradiente hidráulico en una determinada época del año y favorecer así la penetración del agua del mar en los acuíferos costeros.

Debido a las condiciones climáticas y de exploración, el presente trabajo fue desarrollado en dos partes, correspondiendo la primera de ellas al final de la época lluviosa, cuando el nivel freático de las Aguas Subterráneas es más elevado y cuando hay menor probabilidad de una inversión del gradiente hidráulico.

Las muestras de aguas correspondientes a la primera etapa del estudio fueron tomadas al inicio del mes de noviembre de 1982.

La etapa II del trabajo fue desarrollada a finales de la estación seca y el muestreo correspondiente fue efectuado en el mes de mayo de 1983, cuando los niveles freáticos de las Aguas subterráneas llegan a su mínimo.

La penetración de las aguas marinas es un fenómeno bastante peligroso, porque es en muchos casos irreversible. Solamente con enormes costos y con la aplicación de una tecnología avanzada, estos procesos pueden ser controlados. Considerando que la Región León-Chinandega es una de las áreas más productivas del país, se puede fácilmente imaginar las consecuencias desastrosas de una eventual contaminación de los acuíferos por las aguas marinas.

Sin embargo, el proceso siendo generalmente lento, puede ser descubierto a tiempo por estudios hidroquímicos antes de causar daños irreparables en la Región.

GEOLOGIA-HIDROGEOLOGIA

Geología

La Geología del área de estudio está caracterizada por dos formaciones que determinan su comportamiento hidrogeológico:

a) La Formación Tamarindo, que hidrogeológicamente se considera impermeable, constituye la base de una depresión tectónica cubierta por depósitos cuaternarios.

La Formación Tamarindo está compuesta por tres (3) subgrupos estratigráficos:

- Tamarindo Superior: Ignimbrita
- Tamarindo Medio: Ignimbrita y Toba
- Tamarindo Inferior: Andesita y Aglomerado

b) Los depósitos cuaternarios que constituyen el sistema acuífero de la Región están formados por:

- Aluviones

- Depósitos de lavas
- Piroclastos

En la Región de Corinto hacia el NO, estos cerros de la Formación Tamarindo desaparecen por completo, indicando que la barrera subterránea, que al sur impide la penetración de las aguas marinas en los acuíferos costeros, desaparece en la Planicie Chichigalpa-Corinto.

Así, las condiciones geológicas favorables a una penetración de las aguas marinas solamente están dadas en los acuíferos costeros situados al NO de Poneloya (Fig. 1).

Las Aguas Subterráneas

Los acuíferos, en su mayoría libres o semiconfinados, están constituidos principalmente por las partes piroclásticas y aluvionales de los depósitos cuaternarios. El flujo subterráneo se dirige básicamente hacia el mar. Debido a la fuerte extracción y su afluencia hacia arroyos superficiales, la velocidad del flujo se encuentra bastante reducida en las regiones costeras donde el nivel freático se encuentra de 0 a 5 m debajo de la superficie del terreno.

El valor promedio de la transmisibilidad en la región de estudio es de $1.370\text{m}^2/\text{día}$. El coeficiente de almacenamiento medio es de 0.06 y el coeficiente de permeabilidad promedio es de $30\text{m}^2/\text{h/m}$ (Naciones Unidas, 1975).

La recarga de los acuíferos de la planicie costera proviene en su mayor parte, de la infiltración directa de las precipitaciones.

Sin embargo, en la región situada entre la faja costera y el conorno de 35m sobre el nivel del mar (que corresponde en parte a la área del presente estudio), la recarga proviene de las partes más elevadas de los depósitos cuaternarios.

El estudio de las Naciones Unidas (1975) menciona que las Aguas Subterráneas del área tienen bajas concentraciones de sodio y una salinidad media. Las aguas son captadas para el uso en la agricultura en cualquier tipo de suelo. En la mayoría de los casos tampoco hay restricciones para el uso doméstico e industrial.

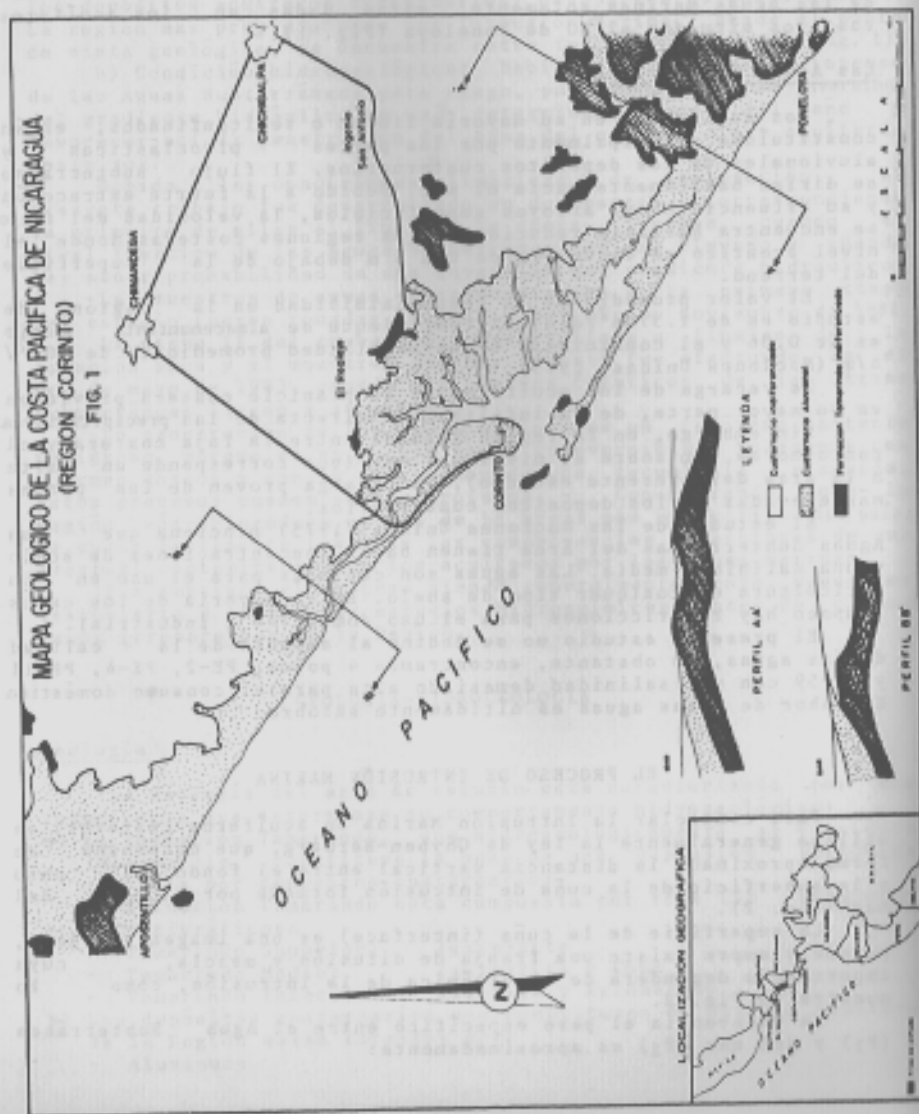
El presente estudio no se dedicó al aspecto de la calidad de las aguas, no obstante, encontramos 4 pozos, PE-2, PE-4, PP-11 y PP-59 con una salinidad demasiado alta para el consumo doméstico. El sabor de estas aguas es nítidamente salobre.

EL PROCESO DE INTRUSIÓN MARINA

Para controlar la Intrusión Marina en acuíferos costeros, se utiliza generalmente la ley de Ghyben-Herberg, que determina de forma aproximada la distancia vertical entre el fondo del pozo y la superficie de la cuña de intrusión formada por el agua del mar (Fig. 2).

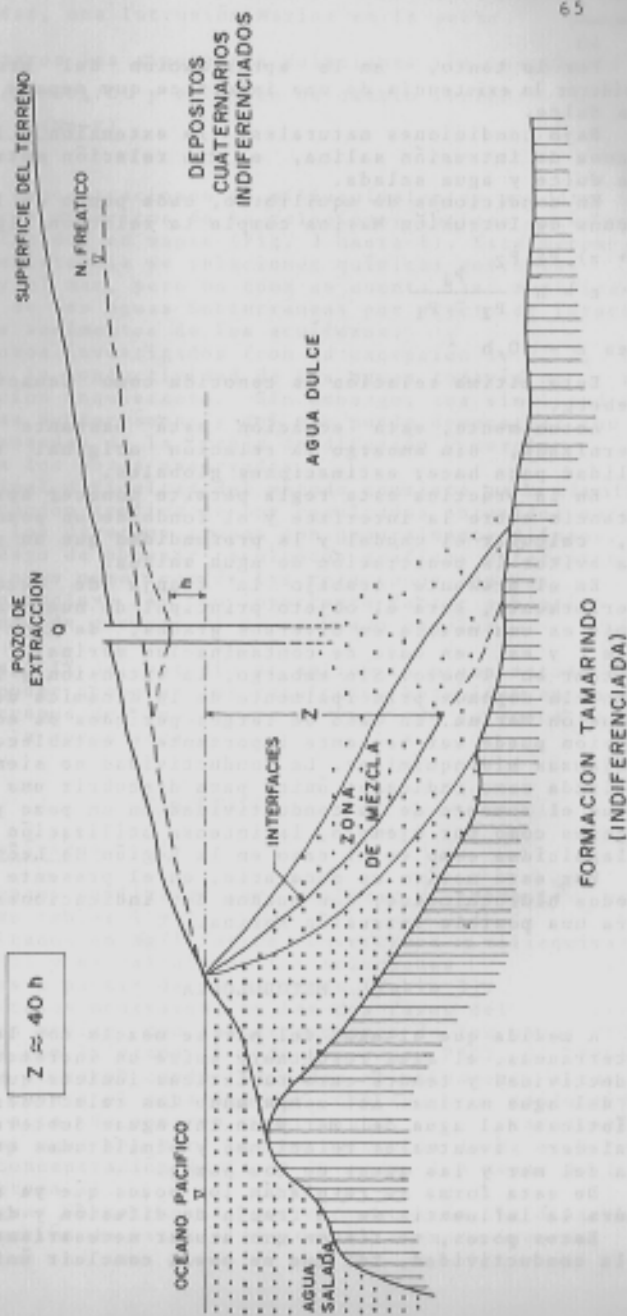
La superficie de la cuña (interface) es una imagen teórica, porque siempre existe una franja de difusión y mezcla, cuya importancia dependerá de la dinámica de la intrusión, como lo muestra la Fig. 2.

La diferencia el peso específico entre el Agua Subterránea (P_1) y del mar (P_2) es aproximadamente:



INTRUSION MARINA EN ACUIFEROS COSTEROS

FIG. 2



$$p_a = \frac{1}{40}$$

Por lo tanto, en la aproximación del problema se puede considerar la existencia de una interfase que separa agua salada y agua dulce.

Bajo condiciones naturales, la extensión y la superficie de la cuña de intrusión salina, es una relación entre la carga de agua dulce y agua salada.

En condiciones de equilibrio, cada punto de la superficie de la cuña de Intrusión Marina cumple la relación siguiente: (FIG.2).

$$(h + z) \cdot P_1 = P_2$$

$$z = h \cdot \frac{P_1}{P_2 - P_1}$$

$$p \text{ sea } z = 40 \cdot h$$

Esta última relación es conocida como Ecuación de Ghyben-Herzberg.

Actualmente, esta ecuación está bastante modificada y modernizada, sin embargo la relación original todavía tiene utilidad para hacer estimaciones globales.

En la práctica esta regla permite conocer aproximadamente la distancia entre la interfase y el fondo de un pozo, y posibilita así, calcular el caudal y la profundidad que un pozo debe tener para evitar la penetración de agua salada.

En el presente trabajo la franja de mezcla mencionada anteriormente, será el objeto principal de nuestra atención. Esta franja es una mezcla en diversos grados, de agua salada y agua dulce, y es, en caso de contaminación marina, la primera a penetrar en el pozo. Sin embargo, la extensión y la intensidad de la mezcla depende principalmente de la dinámica de la propia Intrusión Marina. En caso de largos períodos de equilibrio, la difusión puede ser bastante importante y establecer así, ciertas semejanzas hidroquímicas. La conductividad no siempre puede ser utilizada como indicador único para descubrir una Intrusión Marina, porque el aumento de la conductividad en un pozo puede tener varios orígenes como por ejemplo, la intensa utilización de fertilizantes y plaguicidas como es el caso en la Región de León-Chinandega.

Por este motivo es necesario, en el presente trabajo, utilizar métodos hidroquímicos, que pueden dar indicaciones más precisas sobre una posible Intrusión Marina.

METODOLOGIA

A medida que el agua del mar se mezcla con las Aguas Subterráneas, el agua resultante sufre un incremento de la conductividad y tendrá características iónicas que se aproximan a las del agua marina. Así comparando las relaciones iónicas características del agua del mar y de las Aguas Subterráneas se pueden establecer eventuales relaciones y similitudes químicas entre el agua del mar y las aguas de los pozos.

De esta forma se revelarán los pozos que ya sufren de cierta manera la influencia de la franja de difusión y de mezcla.

Estos pozos, no tienen que acusar necesariamente un incremento de la conductividad, tal que se pueda concluir únicamente en base

a este indicador, una Intrusión Marina en la parte productiva del acuífero.

Se utilizaron las siguientes relaciones iónicas (Tabla 2):

Mg/Ca; K/NaMSO₄/Cl y e índice de cambio iónica:

$$I_1 = \frac{Ca - (Na-K)}{Cl}$$

Todas la concentraciones en miliequivalentes por litro (mv/l). Los valores numéricos de la relaciones iónicas están separados en grupos graficados en mapas (Fig. 3 hasta 8). Este método permite descubrir la existencia de relaciones químicas entre las Aguas Subterráneas y el mar, pero no toma en cuenta las modificaciones hidroquímicas de las Aguas Subterráneas por efecto de intercambio iónico con los sedimentos de los acuíferos.

En los pozos investigados (con la excepción de PE-2, PE-4, PP-5 y PP-11), la conductividad de las aguas todavía no indica ninguna situación inquietante. Sin embargo, una similitud iónica entre las Aguas Subterráneas y del mar puede demostrar que las partes más avanzadas de la franja de difusión y mezcla están llegando hasta los pozos observados.

La principal dificultad del método consiste en la clasificación y la representación gráfica de los resultados obtenidos porque los límites entre los diversos grupos son generalmente difusos. Así resulta el riesgo de obtener resultados gráficos diferentes con los mismos valores numéricos de las relaciones iónicas.

El método incluye así, un importante factor subjetivo que puede ser fuente de errores si no es usado con los cuidados necesarios.

En la etapa II del estudio se aplicó la misma metodología de trabajo para poder comparar los resultados obtenidos en las dos estaciones extremas del año, o sea el final de la época de lluvia y el final de la época seca.

RESULTADOS

Resultados analíticos

Los elementos analizados para realizar el presente estudio aparecen en las tablas 1 y 2.

Los resultados en Mg/l fueron convertidos en miliequivalentes por litro (mv/l) y se calcularon las relaciones iónicas características a partir de estos datos (Tabla 3).

Los resultados mostraron, en las dos fases del estudio, conductividades medias, con las excepciones de los pozos PEO2, 04 y PPO5, 11, 59 (en la etapa I) y de los pozos PEO2, 04, PPO5 (en etapa II), que acusaron conductividades relativamente altas. Aquí no se toma en cuenta el agua del mar, con su conductividad evidentemente alta. Se observa también una característica interesante del agua del mar: la concentración de Mg es 6 veces mayor que la concentración de Ca en la etapa I y menos de 2 veces mayor, en la etapa II.

En las Aguas Subterráneas, por el contrario, la distribución de la concentración de estos elementos es siempre inversa, en

TABLA 1. RESULTADOS ANALITICOS

(Fase I)

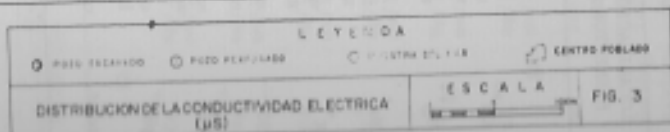
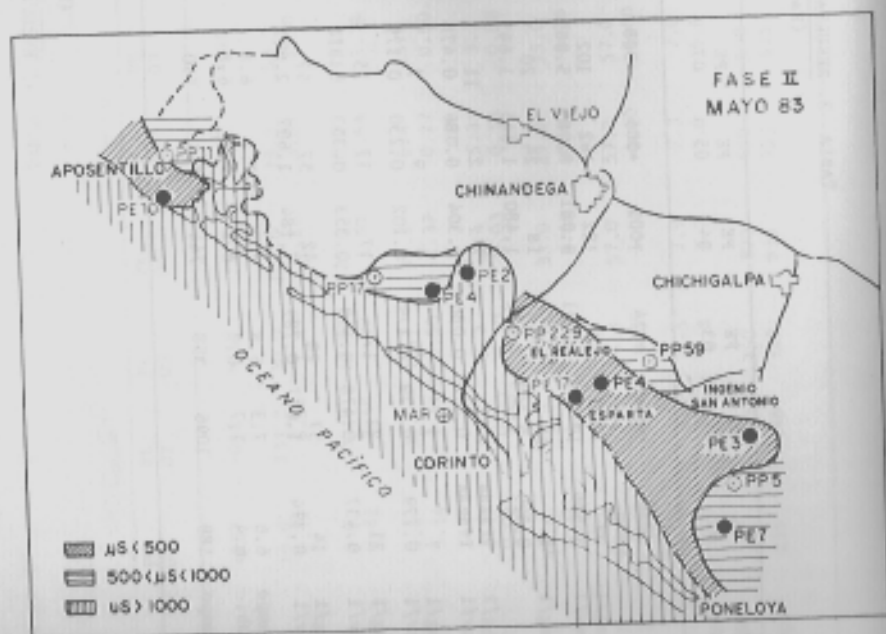
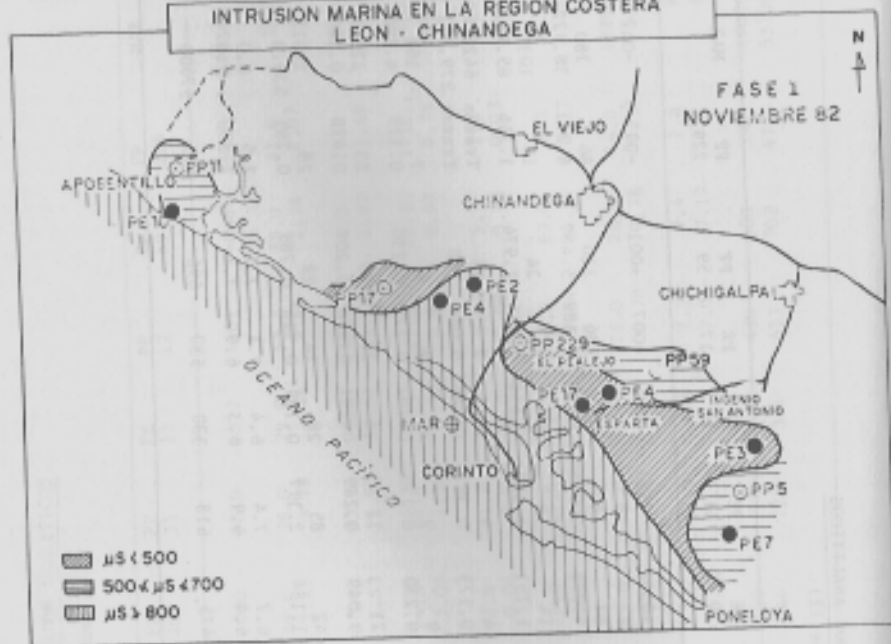
LOCALIZACIÓN ELEMENTOS	PE 01	PE 02	PE 03	PE 04	PP 05	PE 07	PE 10	PE 11	PE 17	PP 17	PP 59	PP 229	MAX
Et	+037	-012	+017	-007	+002	+029	+030	+010	+027	+001	-006	-020	-058
Ca ⁺⁺	16.0 0.79	131.2 6.54	30.0 1.49	106.0 5.28	78.2 3.89	50.3 2.50	49.6 2.47	76.0 3.79	29.0 1.44	53.4 2.66	55.0 2.74	41.6 2.07	250.0 12.47
Mg ⁺⁺	5.0 0.41	30.0 2.66	12.4 1.02	23.0 1.89	20.0 1.64	14.0 1.15	18.0 1.53	23.2 1.90	6.4 0.52	14.2 1.17	24.0 1.97	18.2 1.49	1030.0 84.73
Na ⁺	3.3 0.14	34.9 1.51	11.7 0.50	31.7 1.37	6.4 0.27	13.8 0.60	24.3 1.05	25.4 1.10	7.5 0.32	22.2 0.96	20.1 0.87	17.0 0.74	4320 187.9
K ⁺	3.7 0.09	1.2 0.03	4.3 0.10	1.4 0.03	5.3 0.13	3.3 0.08	2.6 0.06	1.8 0.04	3.7 0.09	3.7 0.09	5.3 0.13	1.2 0.03	364.5 9.32
SO ₄	16.6 0.34	75.0 1.56	16.6 0.34	33.0 0.68	29.0 0.60	75.0 1.56	29.0 0.60	16.6 0.34	12.4 0.25	16.6 0.34	83.0 1.72	8.3 0.17	1654.50 344.5
Cl ⁻	28.0 0.59	71.0 2.00	14.0 0.39	57.0 1.60	57.0 1.60	57.0 1.60	42.0 1.18	99.0 2.79	14.0 0.39	28.0 0.78	28.0 0.78	14.0 0.39	17892.0 504.6
pH	6.7 6.5	8.1 7.3	7.5 6.8	7.9 7.2	7.3 7.0	7.0 6.6	7.2 6.56	7.5 6.9	6.8 6.2	7.5 7.0	7.4 7.17	7.8 7.4	8.3 8.0
Conduc- tividad campo mS	195 215	950 1246	350 353	800 936	650 757	600 575	500 549	700 772	270 311	430 553	600 708	350 474	49000 53100

REVISTA AGUAS SUBTERRANEAS

TABLA 2. RESULTADOS ANALITICOS
 (Fase II)

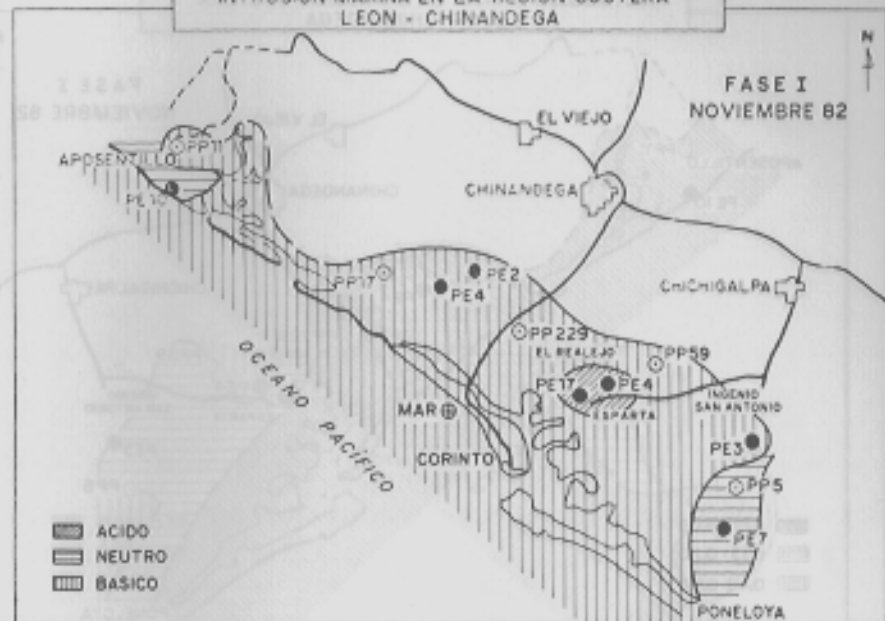
LOCALIZACIÓN ELEMENTOS	PE 01	PE 02	PE 03	PE 04	PE 05	PE 07	PE 10	PE 11	PP 17	PE 17	PP 17	PP 59	PP 59	PP 229	MAR
Eh	+0.30	-0.04	+0.24	+0.01	+0.05	+0.08	+0.30	-0.15	+0.50	+0.07	+0.01	-0.15	-0.15	-0.15	-0.42
Ca ⁺⁺	32 mg/l	216	82	182	162	102	82	142	60	106	110	86	86	86	780
	1.596 mv/l	10.778	4.091	9.081	8.083	5.089	4.091	7.085	2.994	5.189	5.489	4.291	4.291	4.291	38.922
Mg ⁺⁺	4 mg/l	28	14	18	24	20	14	18	8	14	24	16	16	16	1030
	0.329 Trazas	2.303	1.151	1.480	1.645	1.645	1.751	1.480	0.658	1.154	1.974	1.316	1.316	1.316	85.731
Na ⁺	Trazas	11	2	7	2	11	4	9	2	2	23	Trazas	Trazas	Trazas	6428
	Trazas	0.478	0.086	0.304	0.086	0.478	0.173	0.391	0.086	0.086	1.0	Trazas	Trazas	Trazas	279.611
K ⁺	7 mg/l	7	7	4	9	7	9	9	4	7	9	7	7	7	168
	0.179 mv/l	0.179	0.179	0.102	0.230	0.179	0.230	0.230	0.102	0.179	0.230	0.179	0.179	0.179	4.296
SO ₄ ⁻⁻⁻	21 mg/l	23	17	17	17	15	21	12	14	23	30	23	23	23	22500
	0.437 mv/l	0.478	0.353	0.353	0.353	0.312	0.409	0.249	0.291	0.978	0.208	0.478	0.478	0.478	0.520
Cl ⁻	14 mg/l	57	28	42	57	57	42	85	28	14	28	28	28	28	19015
	0.394 mv/l	1.607	0.789	1.184	1.607	2.607	1.184	2.397	0.789	0.394	0.789	0.789	0.789	0.789	536.3
pH	6.6 campo	7.3	6.8	7.2	7.1	6.8	6.7	7.4	6.4	7.1	7.2	7.5	7.5	7.5	8.0
	6.4 lab.	7.7	6.9	7.2	7.2	6.8	6.4	6.9	6.3	6.9	7.1	7.3	7.3	7.3	7.6
cond.	188	1096	358	744	755	570	475	618	330	530	696	485	485	485	57000

INTRUSION MARINA EN LA REGION COSTERA
LEON - CHINANDEGA

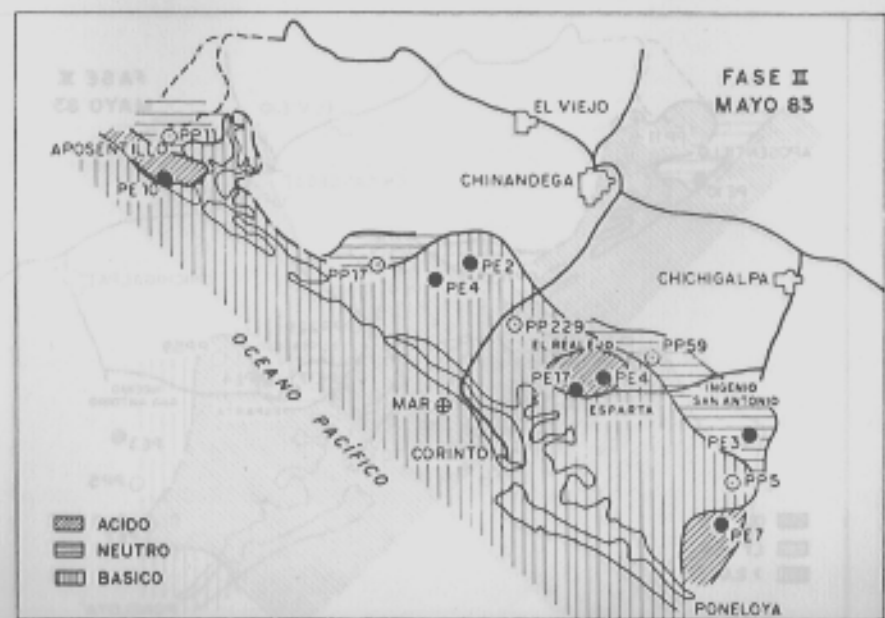


INTRUSION MARINA EN LA REGION COSTERA
LEON - CHINANDEGA

FASE I
NOVIEMBRE 82



FASE II
MAYO 83



LEYENDA

● POCO EXHAUSTO ○ POCO PERFORADO ⊕ MUESTRA DEL MAR ☉ CENTRO POR. ADO

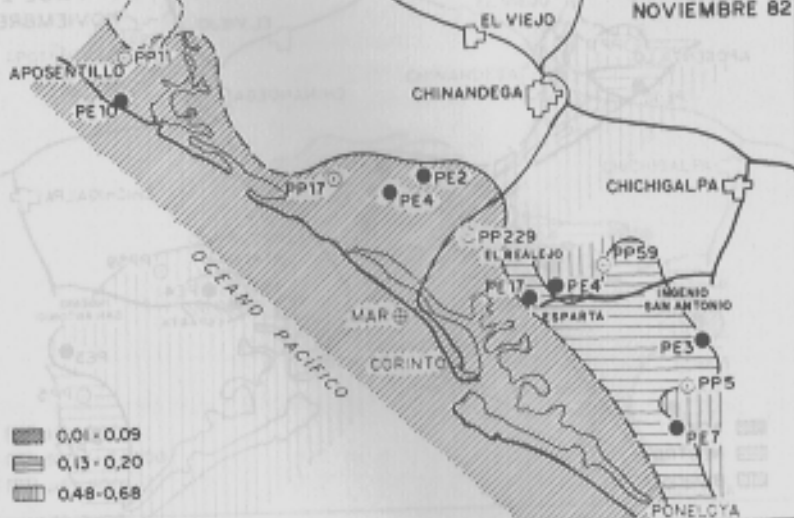
DISTRIBUCION DEL VALOR pH

ESCALA

FIG. 4

INTRUSION MARINA EN LA REGION COSTERA
LEON - CHINANDEGA

FASE I
NOVIEMBRE 82



FASE II
MAYO 83



LEYENDA

● PUNTO DE MUESTRA DE AGUA SUBTERRÁNEA ○ PUNTO DE MUESTRA DE AGUA SUPERFICIAL

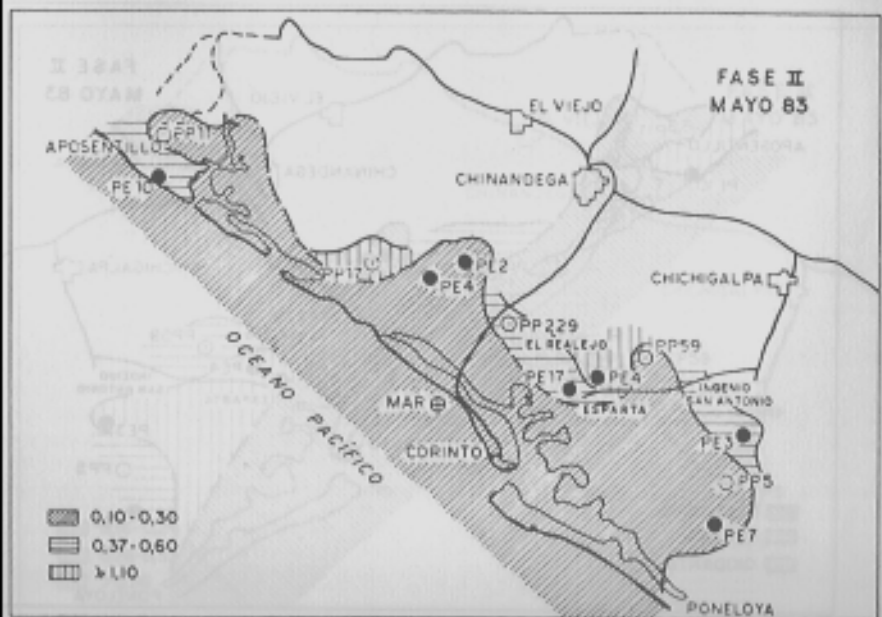
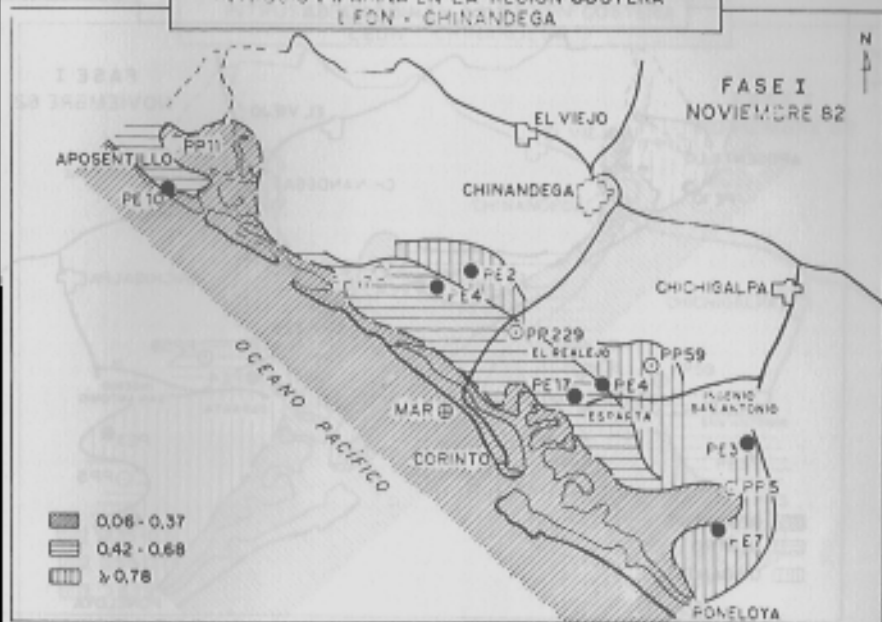
DISTRIBUCION DE LOS VALORES - K/Nº

ESCALA

1:50,000

FIG. 5

INFUSION MARINA EN LA REGION COSTERA
LEON - CHINANDEGA



LEYENDA

- POZO EXHAUSTO ○ POZO PERFORADO ⊕ MUESTRA DEL MAR ☉ CENTRO PUEBLO

DISTRIBUCION DE LOS VALORES - SO₄/Cl

ESCALA 1:50,000 FIG. 8

TABLA 3. LAS RELACIONES IONICAS
 CARACTERISTICAS
 (Fase I y II)

LOCALIZACIÓN	Mg/Ca		K/Na		SO ₄ /Cl		I ₁ = $\frac{Cl}{Cl - (Na + K)}$	
	F.I	F.II	F.I	F.II	F.I	F.II	F.I	F.II
PE-07	0.46	0.32	0.13	0.37	0.97	0.19	+0.57	+0.59
PE-17	0.36	0.22	0.28	1.18	0.64	0.37	-0.02	+0.87
PP-59	0.71	0.36	0.14	0.23	0.20	0.26	-0.02	-0.56
PP-05	0.42	0.24	0.48	2.6	0.37	0.22	-1.2	+0.80
PE-01	0.51	0.24	0.64	Muy Ele vado.	0.57	1.10	+0.36	+0.54
PP-229	0.71	0.30	0.04	Muy Ele vado.	0.43	0.60	-0.38	+0.77
PP-17	0.43	0.22	0.09	1.18	0.43	0.37	-0.27	+0.87
PE-02	0.37	0.21	0.01	0.48	0.78	0.29	+0.46	+0.60
NAR CO- KINTO.	6.79	2.17	0.04	0.01	0.06	0.1	+0.73	+0.47
PE-03	0.68	0.28	0.20	2.08	0.87	0.44	-0.21	+0.66
PE-10	0.61	0.28	0.05	1.33	0.50	0.37	+0.07	+0.66
PE-11	0.50	0.21	0.03	0.59	0.12	0.10	+1.65	+0.66
PE-04	0.35	0.16	0.02	0.33	0.42	0.20	+0.20	+0.65

condiciones naturales.

En el mar, especialmente en capas hasta aproximadamente 100m de profundidad, el Calcio es absorbido en gran parte por la fauna marina para la constitución de sus esqueletos internos y externos. Este hecho hace difícil de aplicar la relación Mg/Ca para una comparación directa entre el agua del mar y las Aguas Subterráneas.

El aumento de la concentración de Calcio en la etapa II está relacionado a un posible cambio del ritmo biológico de la fauna marina.

Sin embargo, los valores son útiles para establecer relaciones entre las zonas de los acuíferos literales.

En la etapa II los análisis mostraron, como era de esperar, un incremento general (con excepción del Potasio) de las concentraciones iónicas del mar.

Las Aguas Subterráneas, sin embargo no sufrieron un proceso de concentración uniformes durante la época seca. Las Figuras 9 hasta 11 muestran las tendencias de los diversos iones para concentrarse o diluirse entre el inicio y el final de la época seca.

Se observa entonces que solamente en 2 pozos (PF-229 y PP17) la conductividad (que puede ser considerada como un indicador para la variación de la concentración iónica total), señala un incremento nítido de la concentración iónica de las aguas.

Procesos, aparentemente ilógicos, fueron observados sobre todo en el caso del Sodio y del Potasio, dos elementos que tienen un comportamiento inverso en las Aguas Subterráneas y en el mar (Fig. 9 y 10). No se tiene una explicación simple al respecto, pero probablemente este fenómeno esté relacionado con la intensa actividad agrícola en la región. El uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas (mencionado en varias intervenciones en el Taller Internacional de Salvamento y Aprovechamiento Integral del Lago de Managua - 29 Nov. 2 Dic. 1982), la agroquímica y el riego intenso en las épocas secas, ciertamente tienen una influencia importante en el comportamiento hidroquímico de las Aguas Subterráneas de la Región.

Esta es la razón por la que el estudio de la intrusión Marina en los acuíferos en esta parte de la Costa Pacífica resulta especialmente complejo.

Para la caracterización de las relaciones hidroquímicas, también fue usado el potencial Redox (Eh). Es un valor que refleja el grado de oxidación o de reducción de una muestra de agua. El potencial Redox, junto con el pH, indica en cierta forma el "Estado Químico" de las aguas y los compuestos que pueden formarse en tal ambiente.

Los valores de Eh muestran buena correspondencia entre las Fases I y II (Fig. 7) y nos llevan a la conclusión de que el potencial Redox, puede servir como indicador válido para este tipo de investigación. El potencial Redox es medido directamente en el campo, utilizando en pH-metro. Errores por contaminación de oxígeno del aire son posibles, a pesar de los cuidados tomados durante las medidas. Sin embargo, el potencial reductor ($Eh < 0$) coincide con la región donde hay evidencias iónicas de una cierta relación de agua del mar y las Aguas Subterráneas.

El índice de cambio iónico I_1 (Tabla 3), no resultó útil para relacionar las diversas muestras de agua, así que no fue representado

gráficamente.

Sin embargo, el hecho de que prácticamente todos los valores de I₁ resultaron positivos en la Fase II, con excepción del pozo PP-59, indica la posibilidad que un cambio de iones alcalinos de las Aguas Subterráneas por iones alcaliterrosos de los sedimentos, contribuyó a las transformaciones hidroquímicas de las Aguas Subterráneas entre la Fase I y la Fase II.

En el mar, I₁ siempre tiene valor positivo, hecho que en este caso, no está relacionado con procesos de intercambio iónico.

Interpretación de los análisis

El procedimiento de interpretación de los análisis consiste principalmente en la comparación visual de las representaciones gráficas para reunir todos los indicios que señalen posibles relaciones hidroquímicas entre el mar y las Aguas Subterráneas.

En segundo lugar hay que comparar la evolución química de las relaciones iónicas características del mar y de las Aguas Subterráneas entre la Fase I y Fase II para ver si hay un avance de la penetración marina durante el período seco.

Finalmente las Figuras 9, 10 y 11 muestran los procesos de concentración y dilución iónica que ocurren durante el período seco. Estas informaciones son importantes para un mayor entendimiento de las transformaciones hidroquímicas del mar y de las Aguas Subterráneas que ocurren durante el ciclo climatológico.

Considerando todos estos criterios, las Figuras 3 hasta 7 indican que tanto en noviembre como en mayo existe un comportamiento hidroquímico semejante en determinadas regiones del área.

Este fenómeno es especialmente visible en el caso del potencial Redox, Eh (Fig-7), de la conductividad (Fig.3), el pH (Fig.4) y en las relaciones iónicas K/Na (Fig.5) y SO₄/Cl (Fig.6).

En las restantes relaciones iónicas se observan algunas variaciones más acentuadas en el desarrollo hidroquímico entre las Fases I y II, sin embargo aquí también las semejanzas hidroquímicas indican las mismas regiones como áreas de una posible Intrusión Marina. Observando el conjunto de las Figuras 3 hasta la 11 se puede constatar que:

- No hay en general cambios hidroquímicos significativos entre las dos fases.
- Se percibe una amplia región situada a ambos lados de la carretera Chinandega-Corinto, donde las Aguas Subterráneas presentan características hidroquímicas semejantes al mar.

La Figura 12 representa el conjunto de todos los datos y indicadores hidroquímicos, así como los factores geológicos para delimitar las áreas de los acuíferos costeros que muestran algunas relaciones hidroquímicas con el mar.

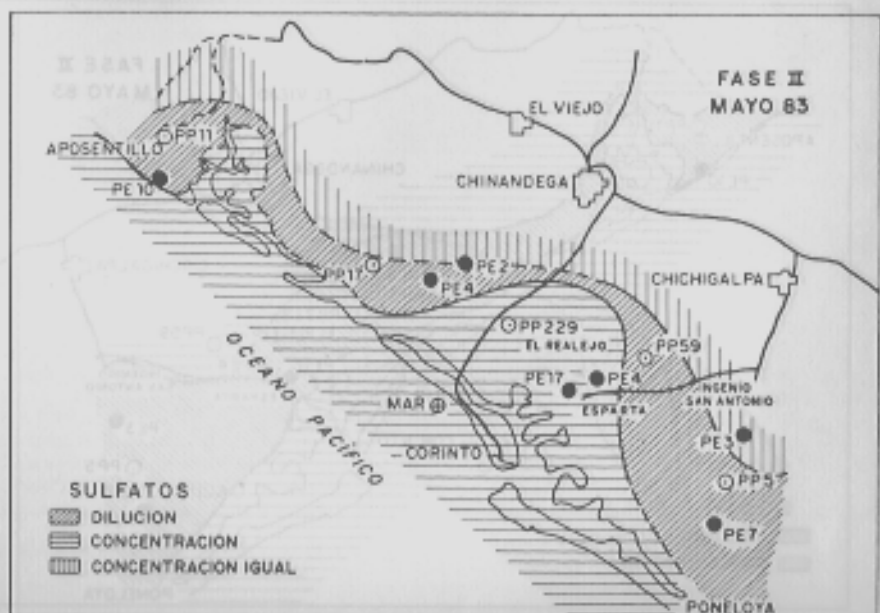
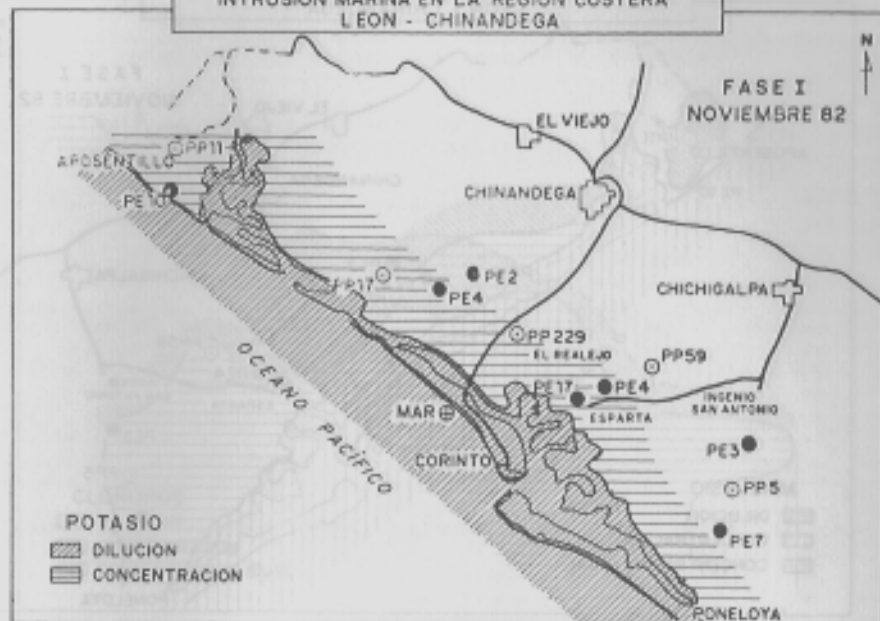
Se puede así separar 3 (tres) zonas con diferentes grados de peligro de Intrusión.

- Zona 1 de "Peligro Mayor"
- Zona 2 de "Peligro Mediano"
- Zona 3 de "Intrusión poco Probable".

CONCLUSIONES

El conjunto de los resultados obtenidos antes y después del

INTRUSION MARINA EN LA REGION COSTERA
LEON - CHINANDEGA



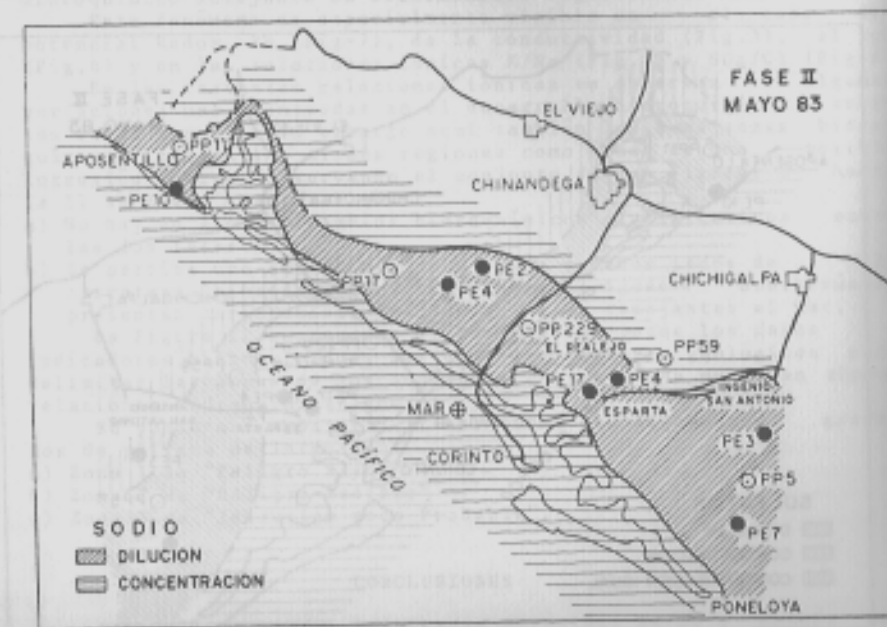
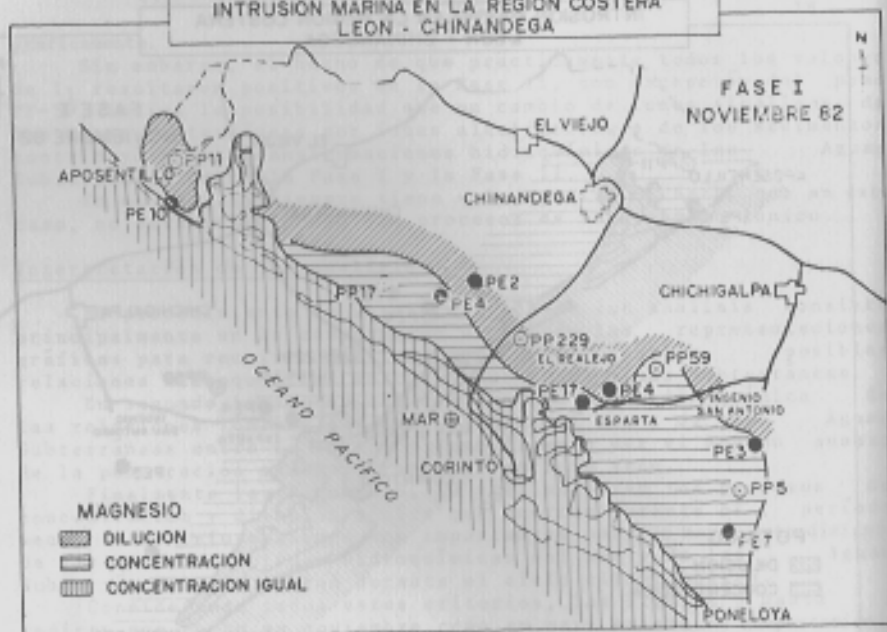
LEYENDA

- PUNTO ESCANEO
- PUNTO PERFORADO
- MUESTRA DEL MAR
- CENTRO PUEBLO

CONCENTRACION Y DILUCCION DE LAS AGUAS
ENTRE NOV/82 Y MAYO/83

ESCALA

FIG. 9

INTRUSION MARINA EN LA REGION COSTERA
LEON - CHINANDEGA

LEYENDA

● POCO EXHAUSTO ○ POCO RECHARGADO ⊕ VULCAN DEL MAR ☐ CENTRO PUEBLANO

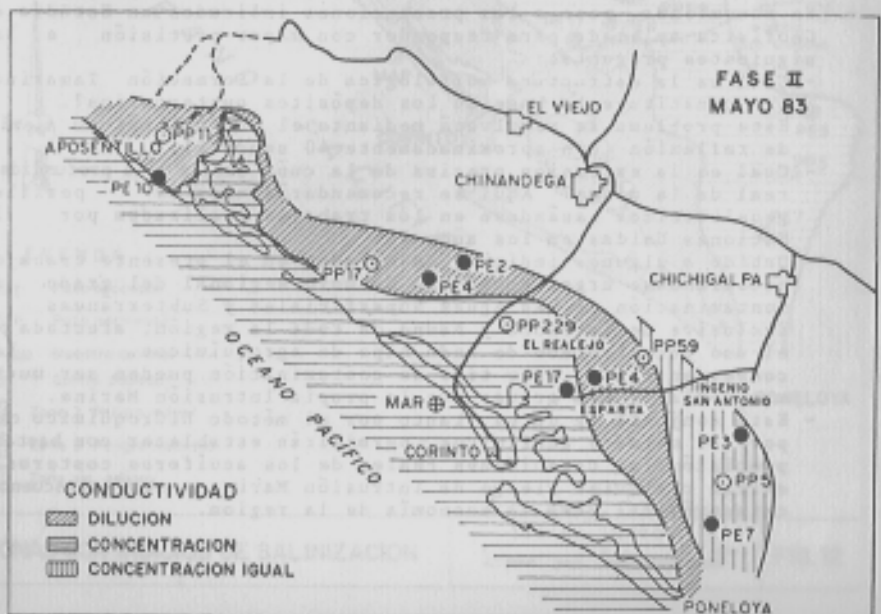
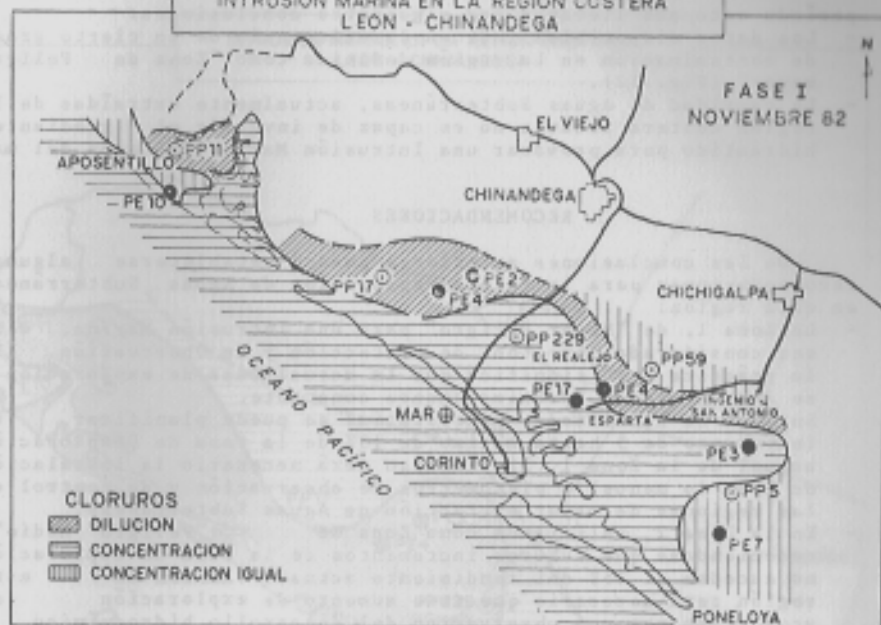
CONCENTRACION Y DILUCION DE LAS AGUAS
ENTRE NOV/82 Y MAYO/83

ESCALA

1:50,000

FIG. 10

INTRUSION MARINA EN LA REGION COSTERA
LEON - CHINANDEGA



LEYENDA

● PREGO EJECUTADO ○ PREGO PERFORMADO ⊕ MUESTRA DEL MAR ☉ CENTRO PUEBLADO

CONCENTRACION Y DILUCION DE LAS AGUAS
ENTRE NOV/82 Y MAYO/83

ESCALA

FIG. 21

período seco nos llevan a las siguientes conclusiones:

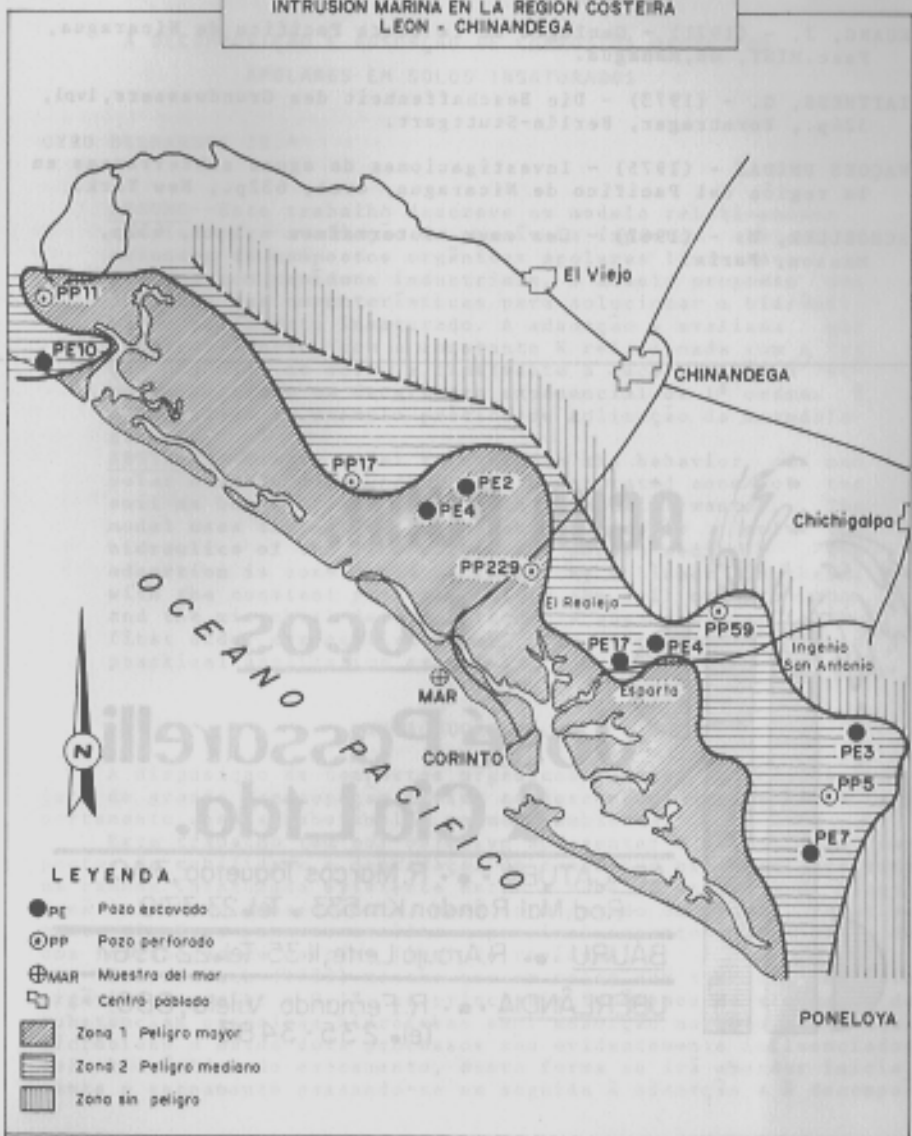
- Los datos disponibles indican la existencia de un cierto grado de contaminación en la región definida como "Zona de Peligro Mayor" (Fig. 12).
- La cantidad de Aguas Subterráneas, actualmente extraídas de la región costera todavía no es capaz de invertir el gradiente hidráulico para provocar una Intrusión Marina del agua del mar.

RECOMENDACIONES

De las conclusiones anteriores pueden establecerse algunas recomendaciones para la futura exploración de Aguas Subterráneas en esta región:

- La Zona 1, de "Mayor Peligro" para una Intrusión Marina, debe ser considerada como Zona de Protección y de Observación. En la práctica esto significa que la actual tasa de exploración se debe mantener aproximadamente constante. En caso de necesidades prioritarias se pueda planificar un incremento de 3 hasta máximo de 10% de la tasa de exploración actual de la Zona 1. Sin embargo será necesario la instalación de (por lo menos) 4 piezómetros de observación y de control en las regiones de mayor extracción de Aguas Subterráneas.
- En la Zona 2, calificada como Zona de "Peligro Medio", recomiendase que futuros incrementos de la tasa de exploración no excedan al 25% del rendimiento actual. También en esta región será necesario que todo aumento de exploración sea acompañado por una observación del desarrollo hidroquímico e hidrodinámico de la Zona de Protección (Zona 1).
- Se recomienda, pese a las precauciones indicadas un Estudio de Geofísica aplicada para responder con mayor precisión a las siguientes preguntas:
 - ¿Cuál es la estructura morfológica de la Formación Tamarindo que constituye la base de los depósitos cuaternarios? Este problema se resolverá mediante el uso del método sísmico de reflexión (con aproximadamente 40 sondeos).
 - ¿Cuál es la extensión precisa de la cuña salada y la profundidad real de la misma? Aquí se recomendarán unos 15 perfiles geoelectríficos basándose en los trabajos realizados por la Naciones Unidas en los años 70.
- Debido a algunos indicios detectados en el presente trabajo, recomiendase urgentemente un Estudio Regional del grado de Contaminación de Las Aguas Superficiales y Subterráneas e inclusive de la Flora y Fauna de toda la región, afectada por el uso incontrolado de todo tipo de agroquímicos. Las consecuencias de este tipo de contaminación pueden ser mucho más serias y más graves que la propia Intrusión Marina.
- Este conjunto de datos, tanto por el método hidroquímico como por los métodos geofísicos, permitirán establecer con bastante precisión las capacidades reales de los acuíferos costeros y evitar cualquier riesgo de Intrusión Marina y sus consecuencias catastróficas para la economía de la región.

**INTRUSION MARINA EN LA REGION COSTEIRA
LEON - CHINANDEGA**



LEYENDA

- PE Pozo escovado
- PP Pozo perforado
- ⊕ MAR Muestra del mar
- Centro pasado
- ▨ Zona 1 Peligro mayor
- ▧ Zona 2 Peligro mediano
- Zona sin peligro

ZONAS CON INDICIOS DE SALINIZACION

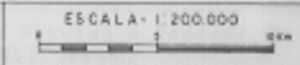


FIG. 12

BIBLIOGRAFIA

- KUANG, J. - (1971) - Geologia de la costa Pacifica de Nicaragua, Fasc.MINT, 08, Managua.
- IATTHES, G. - (1973) - Die Beschaffenheit des Grundwassers, 1vol, 324p., Borntrager, Berlin-Stuttgart.
- NAÇÕES UNIDAS - (1975) - Investigaciones de aguas subterraneas en la región del Pacifico de Nicaragua, 4vol, 632p., New York.
- SCHOELLER, H. - (1962) - Les eaux souterraines - 1 vol, 632p, Masson, Paris.



ÁGUA PURA.

Poços

José Passarelli & Cia Ltda.

ARAÇATUBA ••• R. Marcos Toquetão, 340.
Rod. Mal Rondon Km 533 • Tel. 23-7710

BAURU ••• R. Araujo Leite, 11-35 Tel. 22-5967

UBERLÂNDIA ••• R. Fernando Vilela, 880
Tel. 235-3483