

---

## Procesos diagenéticos y calidad de reservorio en la Formación Aguardiente: Un ejemplo de la aplicación de la metodología de Houseknecht (1987)

---

Carolina Olivares<sup>1</sup> y Simón Padrón<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Maraven, S.A., Apartado 829, Caracas 1010-A, Venezuela.

<sup>2</sup> Consorcio Tecpetrol, Wascana, N. C., Apartado 653, Maracaibo 4001, Venezuela.

### Resumen

El trabajo presenta la aplicación de una metodología que permite evaluar la intensidad de los procesos de compactación y cementación en la reducción de la calidad de reservorios en la Formación Aguardiente del Cretácico Inferior, en el área suroccidental del estado Zulia, Venezuela.

La metodología de Houseknecht (1987), consiste en cuantificar los parámetros de volumen intergranular, cemento y porosidad a través del análisis petrográfico, y fue aplicada a 40 secciones finas, que fueron seleccionadas de un núcleo a nivel de la Formación Aguardiente. Estos parámetros son representados en diagramas donde se puede evaluar el porcentaje de porosidad original que fue destruido por compactación mecánica, presión-solución intergranular y cementación.

La Formación Aguardiente ha sido subdividida en tres megasecuencias sedimentarias (areniscas glauconíticas, cuarzosas y calcáreas). Mediante la aplicación de los diagramas de Houseknecht se logró evaluar el alto grado de compactación en la secuencia superior correspondiente a las areniscas glauconíticas, responsable de las bajas porosidades asociadas a esta secuencia. Las otras dos secuencias (areniscas cuarzosas y areniscas calcáreas) contienen intervalos completamente cementados (sin porosidad) con sílice y calcita, e intervalos con mejor calidad de reservorio asociadas a una compactación fuerte y una cementación parcial.

*Palabras Claves:* Areniscas, Rocas Cretácicas, Formación Aguardiente, Diagénesis, Reservorio, Venezuela.

### Abstract

This publication deals with the application of a methodology that allows an objective comparison between the intensity of the compaction and cementation processes, both of them responsible for the reduction of the reservoir quality in the Aguardiente Formation (Lower Cretaceous) in southwest Zulia State, Venezuela.

The Houseknecht's methodology (1987) consists in quantifying the following parameters: intergranular volume, cement and porosity, using traditional petrographic analyses. It has been applied to 40 sandstone samples taken from a cored interval within the above-mentioned formation, and the representative parameters are represented in diagrams in order to directly quantify the percentage of original porosity loss, by way of mechanical compaction, pressure-solution and/or cementation.

The Aguardiente Formation has been subdivided into three sedimentary megasequences (glauconitic, quartzose and calcareous sandstones). The application of Houseknecht's diagram made it possible to evaluate the high level of compaction within the upper glauconitic sequence, which is associated to low porosity. The other two sequences (quartzose and calcareous sandstones) have been locally completely cemented with silica and calcite. However, a few intervals display better reservoir quality, related to a high degree of compaction and partial cementation.

*Key words:* Aguardiente Formation, Diagenesis, Compaction, Cementation, Reservoir, Cretaceous, Venezuela.

---

## Introducción

---

El presente trabajo muestra la aplicación de la técnica de Houseknecht (1987) para cuantificar los procesos de compactación y los efectos de la cementación en la reducción de la porosidad en reservorios clásticos de la Formación Aguardiente (Cretácico Inferior) en el área suroccidental del estado Zulia, Venezuela.

La calidad de un reservorio está determinada mayoritariamente por parámetros depositacionales (naturaleza, escogimiento y tamaño de los granos) y parámetros diagenéticos que pueden reducir o aumentar la porosidad y/o la permeabilidad.

Dentro de los parámetros diagenéticos, la compactación mecánica, la presión-solución intergranular, la cementación, la disolución de los granos y disolución de cementos juegan un papel importante en la modificación de la porosidad en algunas rocas clásticas.

Generalmente se incluye la cementación como proceso reductor de porosidad. En el proceso de disolución de granos y cementos como proceso que aumenta la porosidad, a veces se ha ignorado la importancia de la compactación mecánica y la presión-solución de granos y cementos como procesos reductores del volumen intergranular de las areniscas. Todos estos parámetros diagenéticos son tomados en cuenta para la aplicación de la metodología de Houseknecht.

En la evaluación de la calidad de reservorio de la Formación Aguardiente se utilizó un conjunto de tres microfacies principales que fueron identificadas por análisis petrográficos convencionales.

Este trabajo se concentra estrictamente en la aplicación a reservorios en Venezuela de una metodología hasta ahora poco conocida. Es por esto que se hacen pocas referencias a la parte paleoambiental y a la parte de evaluación petrofísica; aunque el estudio de los registros corrobora los análisis de litofacies y de porosidad.

---

### Procesos reductores de porosidad.

---

Tres procesos diagenéticos son importantes en la modificación de la porosidad intergranular en las areniscas:

**Compactación mecánica**, reduce el volumen de la roca y generalmente es consecuencia de la presión ejercida por la columna litostática. Puede generar reorientación y rearrreglo de los granos, fracturas locales y deformaciones plásticas de algunos granos inestables. **Compactación química**, también reduce el volumen de la roca y es causado por efectos químicos como

disolución de algún componente granular. Es consecuencia de la presión-solución intergranular, y puede generar estilolitización, reducir el volumen de los granos y entonces, reducir el volumen intergranular y en consecuencia la porosidad.

**Cementación**, obstruye el volumen intergranular como consecuencia de la precipitación de minerales autigénicos. No está directamente relacionado con la reducción del volumen de roca, pero sí con la reducción de la porosidad intergranular.

---

## Metodología

---

La metodología aplicada es la de Houseknecht (1987), la cual consiste en la elaboración de diagramas de volumen intergranular vs. cementación. Estos se han aplicado al estudio de varios yacimientos del mundo. Los diagramas Houseknecht se construyen con la finalidad de separar los efectos producidos por los procesos de compactación, de los efectos producto de la cementación. Para esto se representa en un diagrama ilustrado en la figura 1:

-En el eje vertical izquierdo, el volumen intergranular expresado en porcentaje, que es la suma de la porosidad intergranular más todo el cemento que se encuentra rellenando el espacio intergranular.

-En el eje horizontal superior, la cementación que corresponde a la proporción de volumen intergranular obstruido por la precipitación de minerales autigénicos. Las líneas diagonales representan líneas de isoporosidad intergranular, que se calcula mediante el análisis petrográfico.

También se pueden leer el eje derecho y el inferior.

El eje vertical derecho representa el porcentaje de porosidad original destruida por compactación mecánica o presión-solución intergranular y equivale a:

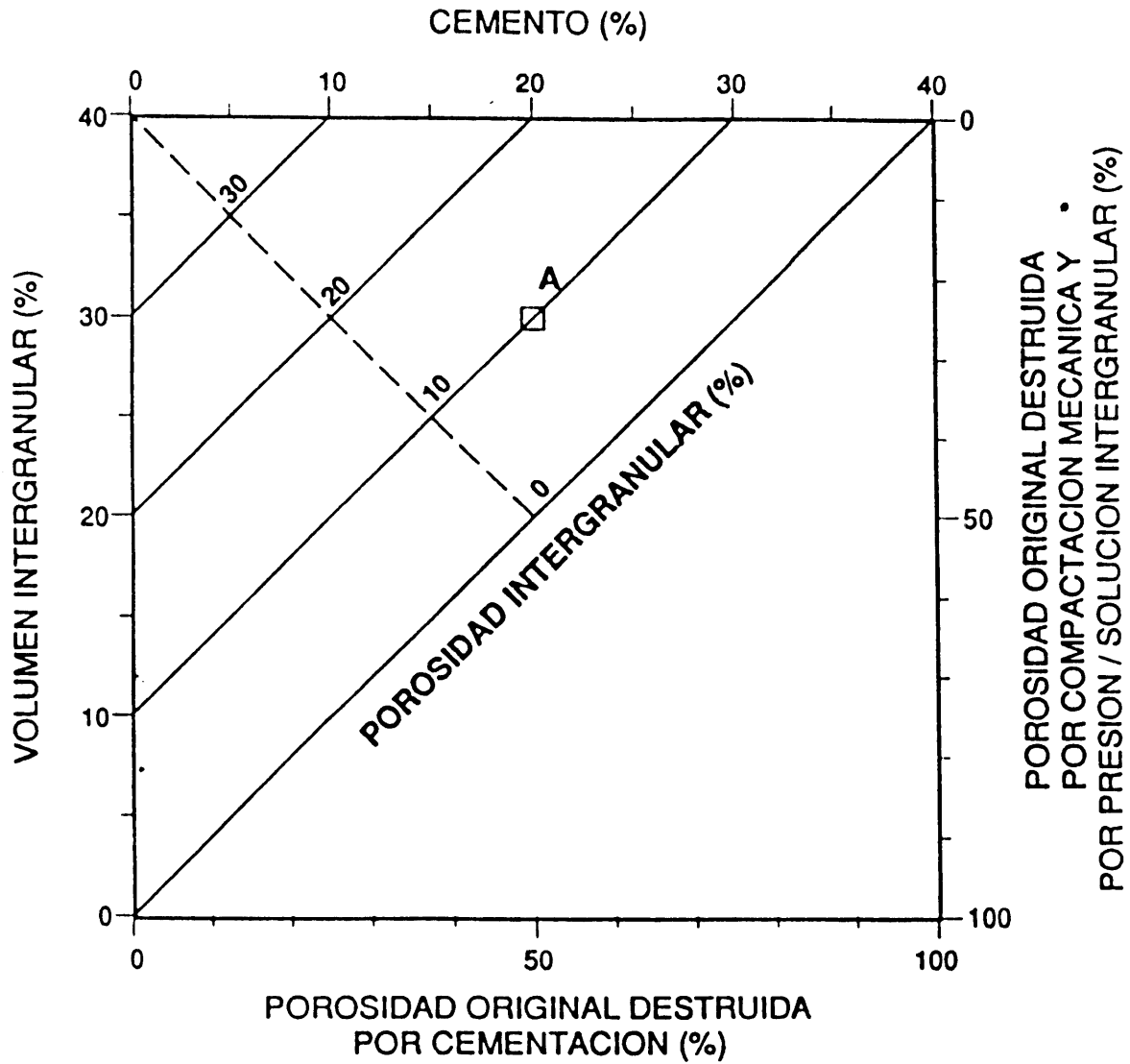
$$\frac{40\%(\text{Porosidad original}) - \% \text{ Volumen intergranular}}{40} \times 100$$

El eje horizontal inferior representa el porcentaje de porosidad original destruida por cementación y equivale a:

$$\frac{\text{Cemento} \times 100}{40}$$

En ambas ecuaciones y para la aplicación de ésta en su mayoría, de las cuales una minoría son areniscas calcáreas.

Las areniscas cuarzosas tienen porosidades algo mayores, alcanzando un valor máximo de 15%. De manera general, se observa un mayor promedio de



**Ejemplo:** La muestra A tiene una porosidad de 10%, cemento de 20%, y volumen intergranular de 30%. Lo que significa que 50% de su porosidad original ha sido destruida por efectos de cementación, y 25% de su porosidad original ha sido destruida por efectos de compactación.

Figura 1.  
Diagrama de Base utilizado por Houseknecht (1987).

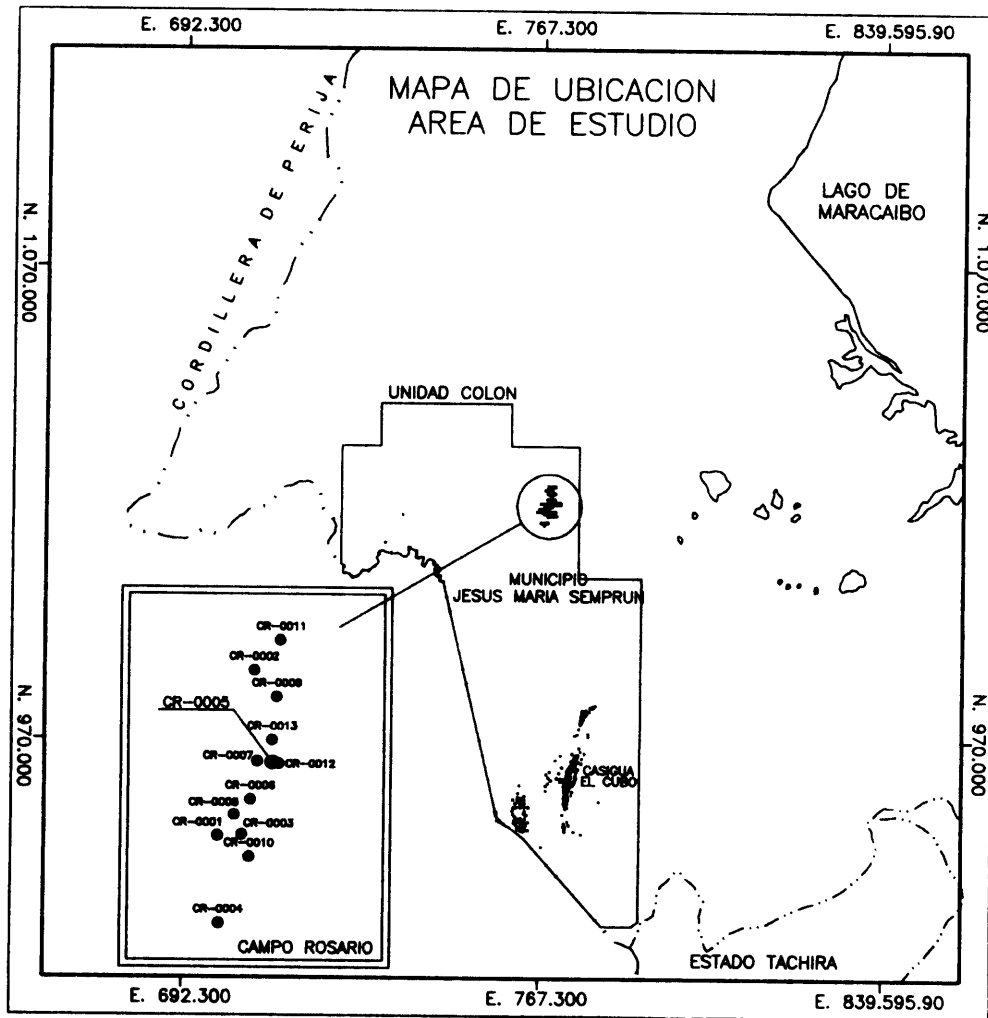


Figura 2.  
Mapa de ubicación del área del estudio.

metodología, se asume la porosidad original de una arenisca con buen escogimiento, sin compactación, la cual ha sido calculada en 40% (Beard y Weyl 1973).

En la región de estudio así como en otras regiones cercanas (Gosh y Garcia Jarpa 1980), se observa que las areniscas son en general moderadamente bien escogidas, con buena madurez mineralógica y textural, lo que permite asumir el 40% de porosidad original, y subsecuentemente aplicar esta metodología.

---

### **Aplicación a las areniscas de la Formación Aguardiente.**

---

El material analizado proviene de 40 secciones finas pertenecientes a un núcleo cortado en un pozo ubicado en el área de Casigua-Catatumbo a nivel del Cretácico Inferior (Fig. 2).

El análisis petrográfico realizado fue convencional (microscopía petrográfica convencional con contador de puntos), tomando en cuenta parámetros como tamaño, escogimiento, madurez textural y mineralógica, contactos entre granos, matriz, cemento y porosidad (Tabla 1). Los cementos de sílica se pudieron diferenciar fácilmente de los granos detríticos, por la presencia de una película de arcilla detrítica dentro de ellas.

Las muestras seleccionadas para este análisis dentro de la sección estudiada fueron clasificadas según las microfacies definidas por Piccoli (1992). Tres intervalos estratigráficos principales con sus microfacies asociadas fueron distinguidas; de tope a base: arenisca glauconítica, arenisca cuarzosa y arenisca calcárea. Las diferentes características mineralógicas y texturales de estas areniscas permitieron representarlas en cuatro diagramas, uno mostrando la tendencia general de las microfacies analizadas, y los otros tres representando cada una de las microfacies.

No fueron representadas la microfacies de menor importancia en términos de porcentaje, como lo es las areniscas muscovíticas.

---

### **Resultados**

---

Con base a los resultados obtenidos y a la representación en los diagramas de Houseknecht se tiene:

#### **Diagrama 1: Diagrama base**

Representa los resultados de 40 secciones; las porosidades intergranulares están entre 0 y 8% en su mayoría, de las cuales una minoría son areniscas calcáreas.

litofacies que se ubican en la parte inferior izquierda del diagrama, lo cual indica que los efectos de compactación han sido más importantes que los efectos de cementación para la reducción de la porosidad original (Fig. 3)

#### **Diagrama 2: Areniscas glauconíticas.**

El diagrama corresponde a la representación de las muestras clasificadas como areniscas glauconíticas (microfacies N° 43), que se ubican principalmente en la parte superior de la sección estratigráfica estudiada. Principalmente dos grupos de muestras son reconocidos, uno en el que la compactación ha destruido en un 60 - 70% la porosidad original y otro donde la cementación destruyó completamente la porosidad original.

En el primer grupo, existe una concordancia entre el análisis petrográfico y los resultados, ya que es evidente la presencia de superficies estilolíticas, contactos suturados entre granos, que confirman los efectos de compactación y presión-solución intergranular. Dentro del segundo grupo, existen diversos tipos de cementos, calcita, dolomita y, en menor proporción, sílice y arcilla autigénicas que obstruyeron completamente la porosidad de esta areniscas (Fig. 4).

#### **Diagrama 3: Areniscas cuarzosas.**

Los resultados de la representación de los datos de las areniscas cuarzosas (microfacies Q) ubicada principalmente en la parte media del intervalo estudiado, se muestran en este diagrama. Estas microfacies presentan valores de porosidad entre 0 y 15%. En estos casos, la cementación es responsable de la reducción total de la porosidad en algunas muestras que, por tener rasgos texturales algo diferentes a las demás (mejor escogimiento y angularidad más pronunciada, generando un volumen intergranular más alto), fueron más sensibles a los procesos de precipitación de minerales autigénicos.

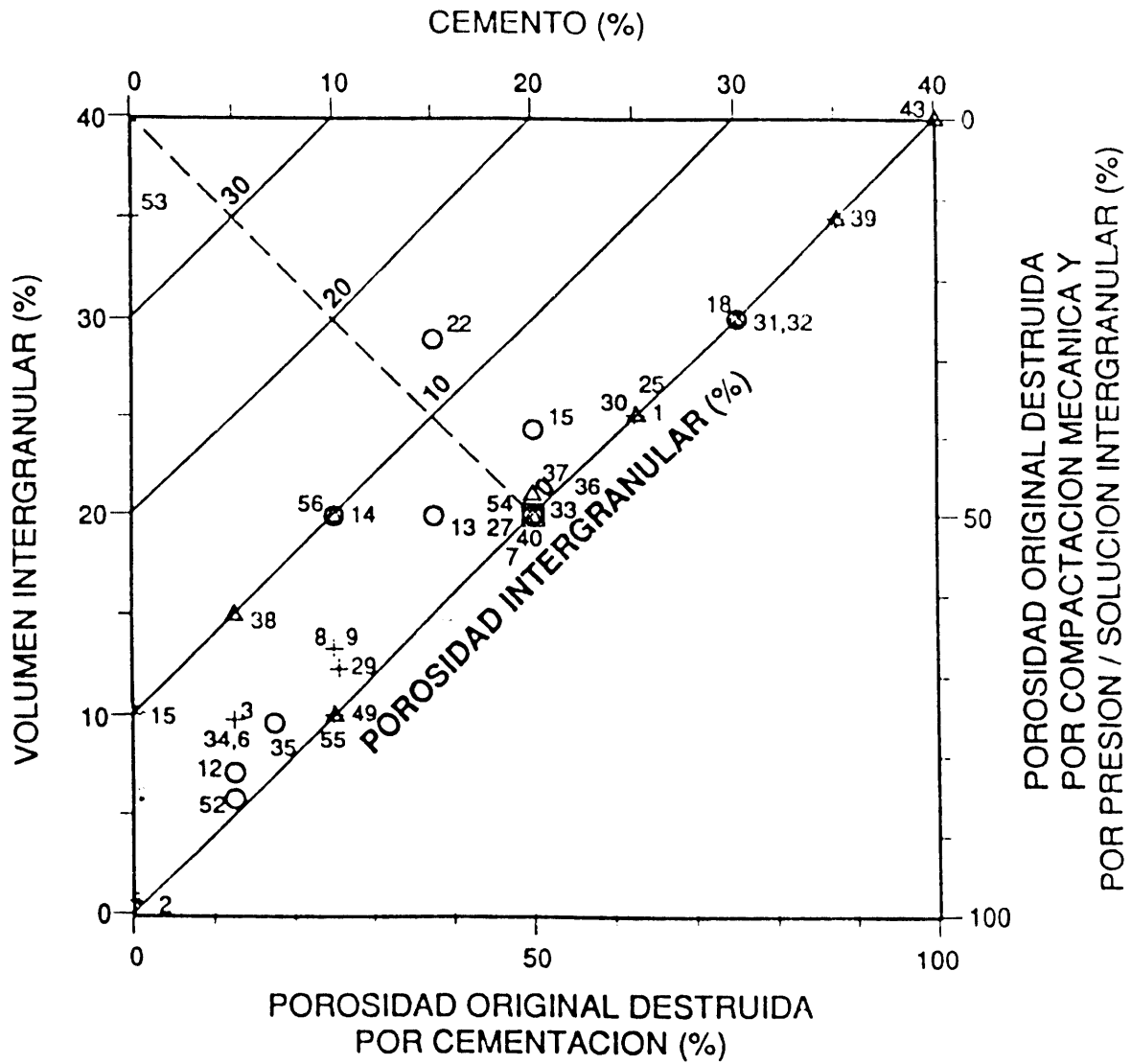
En el resto de las muestras, la compactación, más que la cementación, redujo las porosidades pero no las eliminó completamente, en estas se logran observar porosidades hasta del 15% (Fig. 5).

#### **Diagram 4: Areniscas calcáreas.**

Las areniscas calcáreas están definidas dentro de la microfacies 41 según Piccoli (1992), ubicadas en su mayoría en la parte inferior del intervalo de estudio. En estas muestras los procesos de cementación (especialmente los cementos calcíticos) han destruido completamente la porosidad primaria. Por otro lado, existen muestras cuya porosidad original destruida por cementación es relativamente baja, mientras que la

Microf.	Prof.	Clasif. Textural	Cemento	Porosidad	Vol Intergranular
43	14022'	a glauconítica	5%	0%	5%
43	14031'9"	a glauconítica	1%	3%	4%
43	14041'	a. glauconítica	5%	5%	10%
43	14051'6"	a glauconítica	10%	0%	10%
43	14057'3"	a glauconítica	0%	10%	10%
43	14072'9"	a. glauconítica	5%	5%	10%
43	14156'	a glauconítica	20%	0%	20%
43	14160'3"	a. glauconítica	10%	3%	13%
43	14165'3"	a. glauconítica	10%	3%	13%
Q	14287'	a cuarzosa	5%	2%	7%
Q	14313'	a cuarzosa	15%	5%	20%
Q	14315'	a. cuarzosa	10%	10%	20%
Q	14347'2"	a. cuarzosa	20%	5%	25%
Q	14368'2"	a cuarzosa	30%	0%	30%
41	14390'	a calcárea	50%	0%	50%
41	14391'3'	a calcárea	30%	0%	30%
Q	14391'6"	a cuarzosa	15%	15%	30%
Q	14409'	a cuarzosa	20%	0%	20%
43	14415'	a glauconítica	10%	10%	20%
41	14416'	a calcárea	25%	0%	25%
43	14417'	a glauconítica	30%	0%	30%
41	14421'	a calcárea	30%	0%	30%
41	14422'4"	a calcárea	20%	0%	20%
43	14426'	a glauconítica	5%	5%	10%
Q	14428'	a cuarzosa	7%	3%	10%
41	14430'	a calcárea	20%	2%	22%
41	14431'3"	a calcárea	5%	10%	15%
41	14433'	a calcárea	35%	0%	35%
41	14434'11"	a calcárea	20%	0%	20%
41	14437'	a calcárea	10%	2%	12%
24	14448'3"	cza arenosa	0%	3%	3%
24	14449'6"	cza arenosa	0%	3%	3%
Q	14457'	a cuarzosa	5%	1%	6%
43	14465'	a glauconítica	0%	35%	35%
M	14468'	a muscovítica	20%	0%	20%
41	14475'	a calcárea	10%	0%	10%
40	14476'6"	a calcárea	10%	10%	20%
H	14722'	a qz/cal	25%	5%	30%
41	14735'	a calcárea	15%	10%	25%
41	14758'	a calcárea	15%	10%	25%

**Tabla 1.**  
**Tabulación de parámetros para la aplicación de diagramas de Houseknecht (1987).**

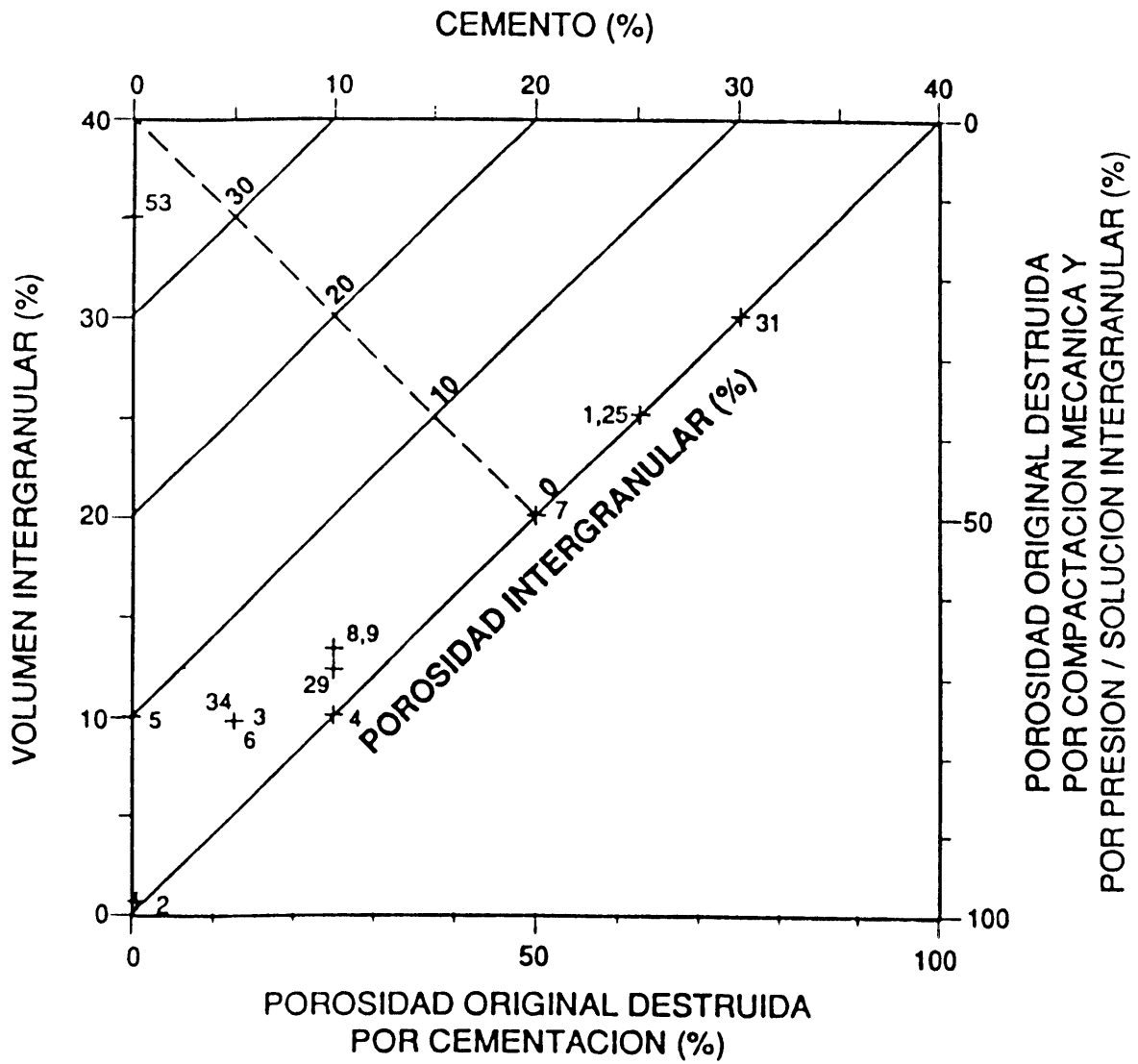


LEYENDA

- + ARENISCA GLAUCONITICA (43)
- O " CUARZOSA Q
- " MUSCOVITA M
- Δ " CALCAREA (41)

Figura 3.

Diagrama para la evaluación relativa de los procesos de compactación y cementación en el desarrollo de porosidad en las microfacies clásticas.



ARENISCA GLAUCONITICA (43)

Figura 4.  
 Diagrama para la evaluación relativa de los procesos de compactación y cementación en el desarrollo de porosidad en las areniscas glauconíticas (Microfacies 43).



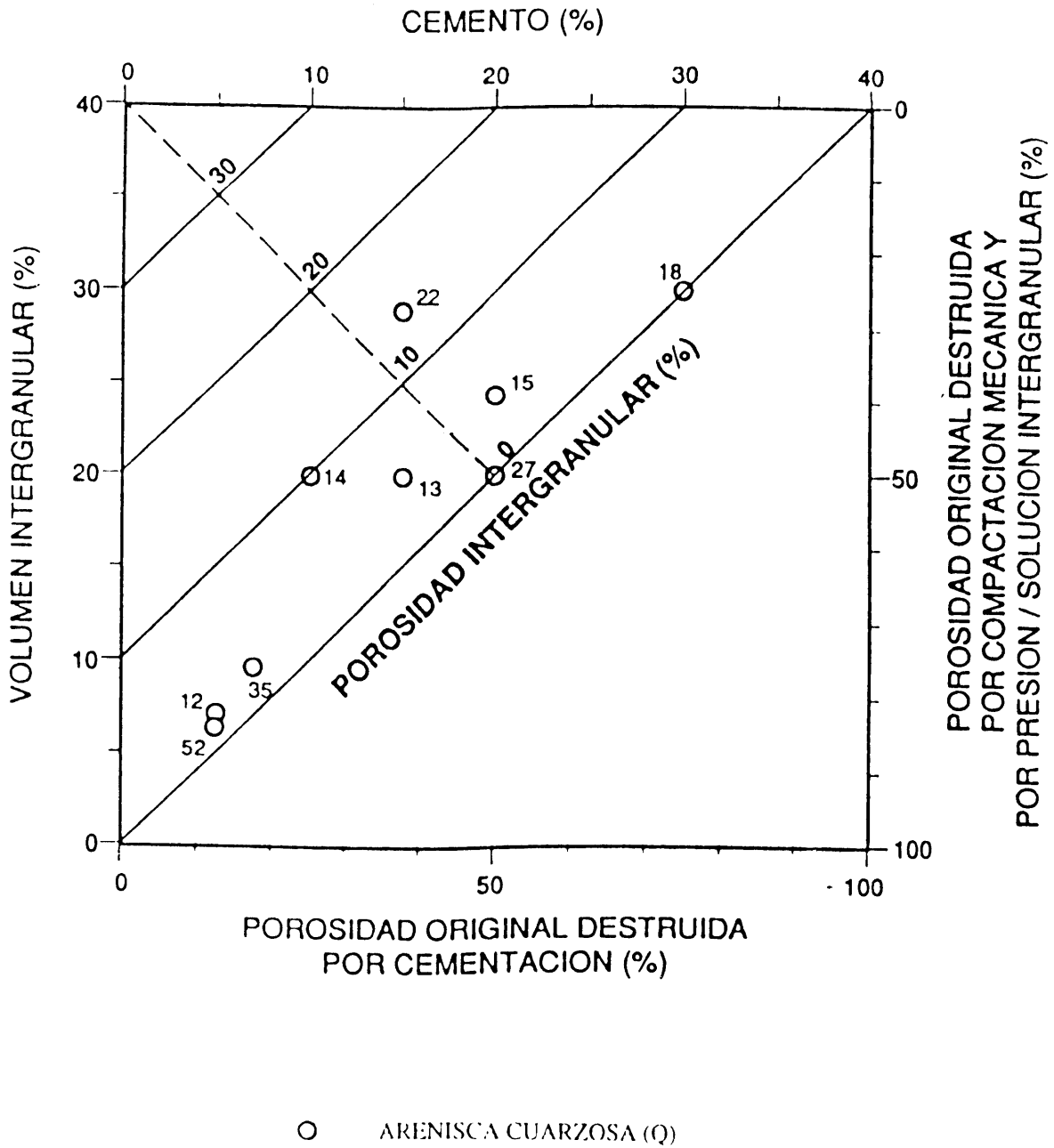
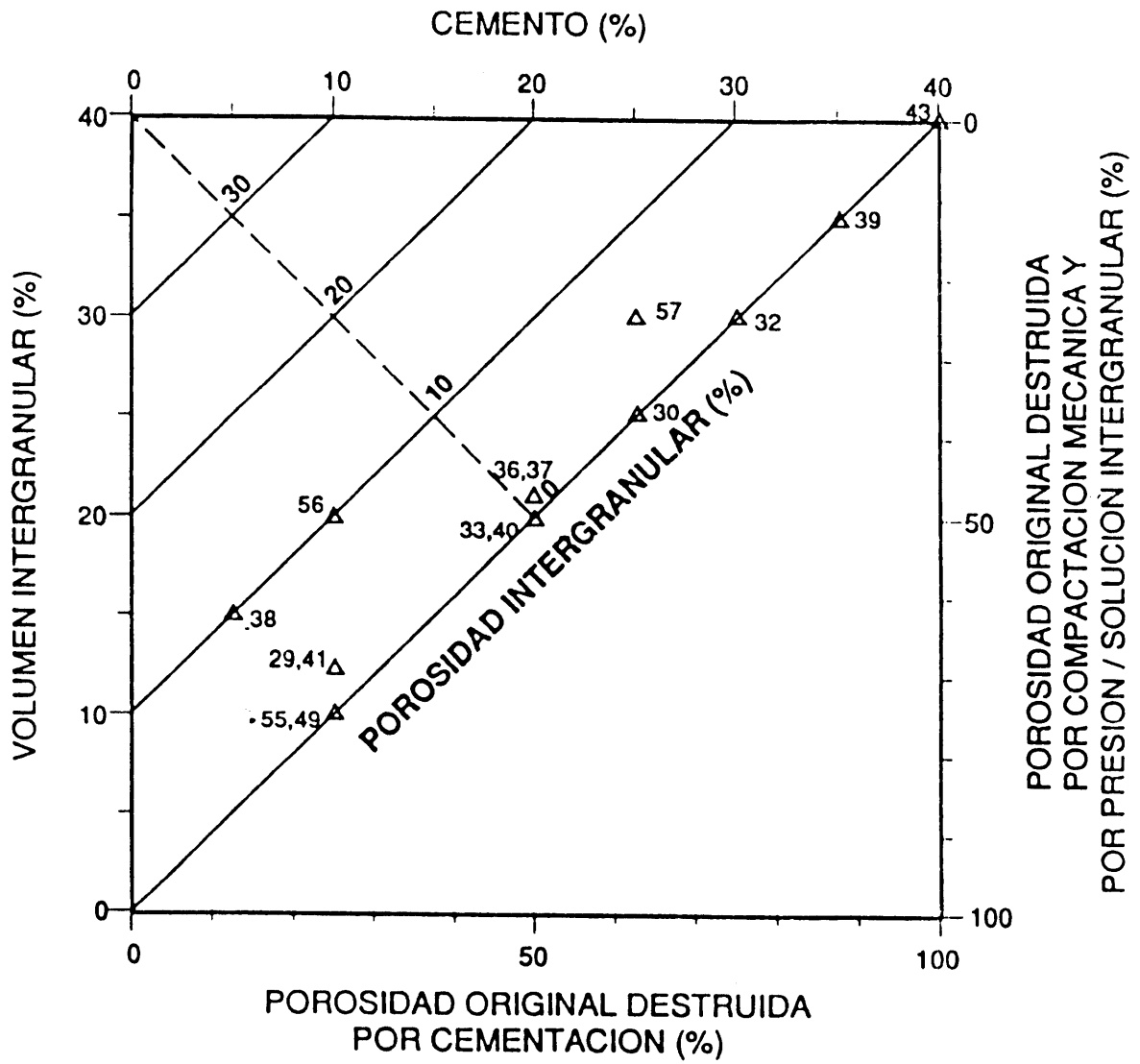


Figura 5.  
Diagrama para la evaluación relativa de los procesos de compactación y cementación en el desarrollo de porosidad en las areniscas cuarzosas (Microfacies Q).



△ ARENISCA CALCAREA (41)

Figura 6.  
 Diagrama para la evaluación relativa de los procesos de compactación y cementación en el desarrollo de porosidad en las areniscas calcáreas (Microfacies 41).

compactación y la presión-solución intergranular permanecen remanentes como evidencias de la pérdida parcial de la porosidad (Fig. 6).

### Discusión

El intervalo superior, dominado por areniscas glauconíticas, ha sido afectado por fenómenos de compactación más importantes que los otros dos. Las porosidades son bajas a muy bajas.

En los intervalos medio e inferior, las areniscas cuarzosas y las areniscas calcáreas de la base están caracterizadas por la reducción de la porosidad por compactación y por cementación. En algunos casos, la cementación puede ser completa (porosidad nula) y temprana como lo indica la poca evidencia de los efectos de compactación.

Los mejores reservorios dentro del intervalo basal están presentes cuando la cementación es incompleta y predominan los efectos de compactación. En base a criterios netamente petrográficos, se pudo observar que la porosidad es secundaria, y que la cementación es parcial, producto de una disolución parcial de los cementos carbonáticos. Dichos cementos previamente habían impedido la destrucción total de los reservorios, consolidando la estructura interna de los sedimentos, antes de disolverse parcialmente por circulación de fluidos saturados o ácidos.

El material cementante de la sección media (areniscas cuarzosas), proviene en gran parte de la sílice disponible y originada de la disolución de los granos del intervalo superior, donde predominan los fenómenos de compactación química (estilolitización, sobrecrecimiento de cuarzo y otros). La rigidez de las areniscas cementadas por sílice es irreversible.

El proceso de cementación de la sección inferior proviene en gran parte del contenido carbonático disponibles en la Formación Apón suprayacente, y de las calizas intercaladas con las areniscas.

La disolución posterior de una parte de estos cementos, puede ser debida a etapas de soterramiento o fallamiento e influjos de aguas meteóricas a través de fracturas mayores.

---

### Conclusiones

---

Previamente a la aplicación de la metodología de Houseknecht, el intervalo arenoso del estudio (Formación Aguardiente, Cretáceo Inferior) había sido

subdivido en tres megasecuencias sedimentarias, en base a descripciones de núcleos y estudios petrográficos.

Mediante los diagramas de volumen intergranular vs. cemento, se pudo cuantificar el rol relativo de los procesos de compactación y cementación en la reducción de la calidad de éste intervalo arenoso.

La secuencia superior (areniscas glauconíticas) es la más compactada y con bajas porosidades. Las otras dos secuencias (areniscas cuarzosas y areniscas calcáreas) contienen intervalos completamente cementados (no porosidad) con sílice y calcita respectivamente, e intervalos con mejores propiedades de reservorio asociadas a una compactación fuerte y a una cementación parcial.

La metodología de Houseknecht puede ser utilizada para reconstruir la historia diagenética de los reservorios y, junto con los datos de tiempo y temperatura calculados y basados en la historia de soterramiento, ser utilizada para estimar la calidad del reservorio durante la generación de hidrocarburos.

La utilización de una manera sistemática cuando se dispone de una gran cantidad de material de núcleos, permite comparar de una manera objetiva los cambios de los eventos diagenéticos entre pozos y campos, así como también en la ayuda en la predicción del desarrollo de los intervalos porosos.

---

### Referencias

---

- Beard, D.C. and Weyl, P.K. 1973. Influence of texture on porosity and permeability of unconsolidated sands. Bulletin, American Association Petroleum Geologists, vol 57, p. 349-369.
- Gosh, S. y García Jarpa, R. 1980. Estudio de litofacies y paleoambientes de la Formación Aguardiente del Cretáceo en los Andes Venezolanos, cerca de Mérida. Boletín de Geología, vol. XIV, no. 26, p.107-126.
- Houseknecht, D.W. 1987. Assessing the relative importance of compaction processes and cementation to reduction of porosity in sandstones. Bulletin, American Association Petroleum Geologists, vol 71, p. 633-642.
- Piccoli, L. 1992. Microfacies y ambientes sedimentarios en el Cretáceo Inferior de la Costa Occidental del Lago de Maracaibo. Informe Maraven. Inédito.