

# Reacción álcali-sílice en áridos para pavimentos de hormigón en el Estado de Chihuahua, México

## *Alkali-silica reaction of aggregates for concrete pavements in Chihuahua's State, Mexico*

C. OLAGUE<sup>(\*)</sup>, P. CASTRO<sup>(\*\*)</sup>, W. LÓPEZ<sup>(\*\*\*)</sup>

<sup>(\*)</sup> Univ. Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ingeniería, <sup>(\*\*)</sup> Facultad de Ingeniería (Permanent affiliation: CINVESTAV-IPN. Unidad Mérida) <sup>(\*\*\*)</sup>CEMEX MEXICO

Fecha de recepción: 19-XII-01

Fecha de aceptación: 20-V-02

MÉXICO

### RESUMEN

*El hormigón de los pavimentos debe ser resistente a las condiciones climáticas, tránsito pesado, agentes químicos o cualquier otro tipo de agente agresivo. Se desarrolló una metodología para caracterización de materiales considerando factores físicos y químicos que influyen en la durabilidad del hormigón. Esta metodología se basa en la consideración de varios factores como: fisiografía, geología y clima, entre otros, que podrían ser de gran importancia para prevenir futuros problemas de durabilidad en pavimentos de hormigón. La metodología en cuestión considera varias pruebas, en este artículo se presentan los resultados de la reactividad potencial de los áridos del Estado de Chihuahua.*

*Las pruebas para evaluar la reactividad de áridos silíceos y la reactividad potencial álcali-sílice fueron ejecutadas de acuerdo a: examen petrográfico (ASTM C 295) y la prueba química rápida (ASTM C 289). El 38% de los sitios estudiados resultaron inocuos, 48% potencialmente reactivos y 13% reactivos. Se discuten los beneficios de aplicar una metodología profunda, en orden a obtener los mejores resultados con un número de muestras representativas.*

### SUMMARY

*The concrete of pavements must resist the climatic conditions, heavy traffic, chemical agents or any other type of aggressive agent. A methodology for characterizing materials that would influence concrete durability was developed considering chemical and physical factors. This methodology allows the consideration of several factors like physiography, geology, and climate, among others that would be of great importance to prevent future durability problems of pavements. This methodology takes into account several tests and this paper presents the results of potential reactivity aggregates of the State of Chihuahua.*

*The tests for evaluating the reactive siliceous aggregate and the potential alkali-silica reactivity were performed according to the: petrographic examination (ASTM C 295) and standard quick chemical test (ASTM C 289). 38% of the tested sites resulted innocuous, 48% potentially reactive and 13% reactive. It is discussed the benefit of applying a conscious methodology in order to obtain the best results with a representative quantity of tests.*

**PALABRAS CLAVE:** hormigón, deterioros en pavimentos, reactividad, áridos, álcali, sílice

**KEYWORDS:** concrete, pavement deterioration, reactivity, aggregates, alkali, silica.

### 1. INTRODUCCIÓN

La reacción álcali-sílice (ASR), (Stanton, 1940; Hadley, 1964) es producida en el hormigón entre el OH<sup>-</sup> ion, asociado con los álcalis (Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O) del cemento y de otras fuentes, con ciertos constituyentes silíceos que

### I. INTRODUCTION

*The alkali-silica reaction (ASR), (Stanton, 1940; Hadley, 1964) is produced in concrete between the OH<sup>-</sup> ion, associated with the alkalies (Na<sub>2</sub>O and K<sub>2</sub>O) from the cement and other sources, and certain siliceous*

pueden estar presentes en los áridos. Esta reacción provoca la formación de un gel de álcali-silicato que da lugar a fuerzas de expansión. (V. Deutscher Zementwerke, 1973; Lenzer, 1981) Dicha reacción tiene la capacidad de absorber humedad del hormigón produciendo una expansión del gel, la cual genera expansiones internas anormales en el hormigón endurecido. Como consecuencia se producen agrietamientos, desplazamiento de elementos a lo largo de la estructura y pérdida de resistencia (Woods, 1968).

La reacción álcali-sílice produce efectos bien conocidos en las estructuras de hormigón. Existen varios trabajos como el del Instituto Americano del Concreto (ACI, 1999), Oficina de Investigaciones del Transporte (Gibson, 1938, Hadley, D., 1968 y Chaiken, B. y Halstead, W. J., 1960) y el Cuerpo de Ingenieros (1985) los cuales han revisado los avances en este campo de 1938 a 1999. Un resumen de estas revisiones puede ser extractado como sigue: participan en la ASR áridos de uso común, los cuales proceden de rocas volcánicas y que tienen sílice amorfa o criptocristalina en su composición (Gibson, 1938; Lerch, 1959). Ópalo, calcedonia, tridimita, cristobalita, vidrio criptocristalino, rocas volcánicas (composición ácida) así como riolitas, andesitas, algunas zeolitas y ciertas filitas (composición intermedia), argilitas, cuarcitas, granito, gneiss, subgrauwacas metamórficas, son ejemplos de áridos reactivos con los álcalis.

La ASR ha sido detectada en estados de Nuevo México y Texas. Por otro lado, el análisis petrográfico (ASTM C 295) de arenas de Chihuahua mostró la presencia de calcedonia, cuarzo, andesitas líticos riolíticos y cuarzo cristalino, los cuales llegan a constituir una potencial ASR (Almaral, 1999) (Tabla 2). El examen de gravas mostró resultados similares, así como las características geológicas de Chihuahua evidenciaron la presencia de áridos potencialmente reactivos (Almaral, 1999). En la Universidad Autónoma de Chihuahua se ejecutaron varias pruebas que detectaron la presencia de compuestos potencialmente reactivos y que pueden provocar expansiones deletéreas en el concreto. El 100% de los bancos de áridos estudiados, indicó la presencia de compuestos potencialmente reactivos (Almaral, 1999, Caballero, 1999). Tomando en cuenta que Chihuahua tiene dos regiones fisiográficas una de origen volcánico y otra de origen sedimentario, se llevaron a cabo estudios de examen petrográfico (ASTM C 295) de áridos y difracción de rayos X para detectar la presencia de algunos de los minerales antes mencionados en gravas y arenas del Estado de Chihuahua.

Los resultados anteriores sugieren la necesidad de evaluar 44 sitios con el objetivo de saber más acerca de su reactividad. El objetivo de este artículo es mostrar los resultados de la evaluación de ASR de acuerdo a la

*constituents that may be present in the aggregate. The reaction leads to the formation of an alkali silicate gel and sets up expansive forces (Verein Deutscher Zementwerke, 1973; Lenzer, 1981). Such reaction has the ability to absorb humidity from concrete and to produce gel expansion, which generates abnormal internal expansion in the hardened concrete. As a consequence cracking, displacement of element within larger structural entities, and loss of strength are induced (Woods, 1968).*

*The alkali-silica reaction produces well known effects on the concrete structures. There are several works like those of American Concrete Institute (ACI, 1999), Transportation Research Board (Dolar-Mantuani, 1969, Gibson, 1938, Hadley D., 1964, 1968, TRB 1958, Chaiken B, and Halstead W. J., 1960 ), and Corps of Engineers (1985), which have reviewed the advances on this field from 1938 to 1999. A summary of these reviews can be extracted as follows: aggregates of common use, as those that proceed from volcanic rock or have amorphous and cryptocrystalline silica in their composition, participate in the ASR (Gibson, 1938; Lerch, 1959). Opal, chalcedony, tridymite, cristobalite, glassy cryptocrystalline volcanic rocks (acid composition) as well as rhyolites, andesites, some zeolites and certain phyllites (intermediate composition) (TRB 1958), argillites, quarzites, granite, gneiss, metamorphosed subgraywackes, have all provided examples of alkali reactive aggregates.*

*The ASR has been reported in the states of New Mexico and Texas. On the other hand, petrography examination (ASTM C 295) from the sands of Chihuahua showed the presence of chalcedony, quartz, andesites, lithic rhyolites and crystalline quartz, which contribute to the potential ASR (Almaral, 1999) (Table 2). The gravel examination showed similar results and the geological characteristics of Chihuahua showed also evidence of potentially reactive aggregates (Almaral 1999). The University of Chihuahua (UACH) performed several tests where the presence of potentially reactive compounds that could produce deleterious reactions in concrete was detected. 100% of the tested aggregates sources showed the presence of potentially reactive compounds (Almaral, 1999, Caballero, 1999). Taking into account that Chihuahua has two physiographic regions: one of volcanic origin and other of sedimentary origin, studies of petrographic examination of aggregates and X-ray diffraction were used to detect the presence of some of the above mentioned minerals in gravels and sands of the State of Chihuahua.*

*The above results suggested the need of evaluating 44 sites in order to know more about their reactivity. The objective of this paper is to show the results of the evaluation of ASR according to the ASTM C 289*

norma estándar ASTM C 289 y generar recomendaciones de uso de áridos en pavimentos o en otras construcciones de manera que se eviten o se minimicen las reacciones deletéreas álcali-sílice.

## 2. EXPERIMENTAL

### 2.1. Criterio para elección de lugares de muestreo

Los lugares fueron seleccionados considerando los siguientes factores:

- Población. Éste es un factor que regula el desarrollo y necesidades de servicios públicos y, por lo tanto, de pavimentos. Se seleccionaron sitios con más de 30.000 habitantes.
- Fisiografía. El Estado está dividido en 2 regiones y 9 provincias. Todas fueron consideradas en el estudio. El requisito que se consideró más significativo fue el de disponer del sitio exacto de extracción de los áridos.
- Geología. De acuerdo a la geología del estado, se consideraron en este estudio lugares donde las rocas explotadas fueran de origen ígneo y calizo.
- Recursos hidráulicos. Los ríos son a menudo un medio para obtención de áridos, los que están siendo explotados se consideraron en este estudio.
- Clima. Chihuahua tiene 12 climas diferentes. 7 de ellos fueron considerados como los más representativos porque cada uno cubre, al menos, un 3% de la superficie estatal. La tabla 1 muestra, con negrita, los tipos de clima seleccionados y el porcentaje total cubierto, que es de 94,97%.

Una vez analizados los factores arriba mencionados, se escogieron los sitios para muestreo de acuerdo con los siguientes criterios:

Municipios, incluyendo: 2 provincias fisiográficas y 9 subprovincias, rocas calizas de varios sitios, rocas de origen ígneo de río y bancos de arena natural. Fueron seleccionados áridos de origen ígneo en municipios con más de 30.000 habitantes. Tomando en cuenta la humedad y la temperatura como dos agentes que influyen en la ASR, los climas predominantes fueron considerados de forma tal que al menos cubrieran un 35 de la superficie del Estado y que corresponden a 7 de los 12 existentes en esta región, tal como se indica en la Tabla 1.

De acuerdo con estos criterios, 18 de 67 municipios fueron escogidos para este estudio. Sin embargo, esos 18 municipios surten de materiales a otros 21. Por lo tanto, el material de 39 municipios fue analizado realmente. 22 bancos de gravas y 22 arenas fueron muestreados (44 sitios). Los 18 municipios probados representan un 81% de la población total del Estado de Chihuahua. Los 39 municipios que cubre este estudio representan el 92% de la población total.

*standard and generate recommendations for the use of aggregates in pavements or other constructions, that avoid or minimize deleterious alkali-silica reaction.*

## 2. EXPERIMENTAL

### 2.1. Criteria for selection of sampling sites

*The sites were chosen taking into account the following factors:*

- *Population. This is a factor that regulates the development and needs of public services and, therefore, of pavements. There were chosen cities with more than 30.000 inhabitants.*
- *Physiography. The State is divided in 2 regions and 9 provinces. They were taken into account for the study. The requisite to be considered as significant was to have a site of aggregate extraction.*
- *Geology. According to the state geology, places where limestone and igneous stone are exploited were considered in this study.*
- *Water supplies. Rivers are a mean to obtain aggregates and those, which are being exploited, were taken into account for the study.*
- *Climate. Chihuahua has 12 different climates. 7 of them were considered as the most representative because each one covers 3% of the state area at least. The table 1 shows, with black letters, climates types chosen and the total percent covered which is 94.97%.*

*Once analyzed the above factors, sites for testing were chosen according to the following criteria:*

*Municipalities: two physiographic provinces and nine sub provinces, limestone rocks from several sites and igneous rocks from rivers as aggregates and natural sand banks. Taking into account humidity and temperature as two agents with influence on the ASR, predominant climates were taken into account that cover more than 3% of the surface State and that represent 7 of the existing 12 in this region, Table 1.*

*According to these criteria, 18 of 67 municipalities were chosen for the study. However, these 18 municipalities supply materials to other 21. Therefore, the material of 39 municipalities was really analyzed. 22 gravel and 22 sand banks were tested (44 sites). The 18 municipalities tested represents 81% of the total population of the state of Chihuahua. The 39 municipalities that it covers the study represent the 92% of the total population.*

TABLA 1/TABLE 1  
Tipos o subtipos de climas en el Estado de Chihuahua, México  
(*Types or subtypes of climates in Chihuahua's State, México*)

Tipos o subtipos/ <i>Type or subtype</i>	Símbolo/ <i>Symbol</i>	% Sup. del estudio % State surface
Caluroso o semihúmedo con lluvias en verano <i>Warm or sub humid with rains in summer</i>	A(w)	0.32
Semicaluroso o semihúmedo con lluvias en verano <i>Semi warm sub humid with rains in summer</i>	Acw	2.64
Semihúmedo con lluvias en verano <i>Temperate sub humid with rains in summer</i>	C(w)	13.36
Semifrío, semihúmedo con lluvias en verano <i>Semi cold, sub humid with rains in summer</i>	C(E)(w)	10.25
Semiseco, muy caluroso o caluroso <i>Semi dry, very warm or warm</i>	BS1(h')	0.45
Semiseco, semicaluroso/ <i>Semi dry, semi warm</i>	BS1h	1.02
Semiseco, temperatula/ <i>Semi dry, temperate</i>	BS1k	15.70
Semiseco, semifrío/ <i>Semi dry, semi cold</i>	BS1K''	0.6
Seco, semicaluroso/ <i>Dry, semi warm</i>	BSh	6.15
Temperatura seca/ <i>Dry temperate</i>	BSk	9.03
Muy seco, semicaluroso/ <i>Very dry, semi warm</i>	BWh	14.6
Temperatura muy seca/ <i>Very dry temperate</i>	BWk	25.88
% Total cubierto en esta investigación % Total covered in this research		94.97

TABLA 2/TABLE 2  
Resultados del análisis petrográfico(*Results of petrographic examination*)

Arido/Aggregate	Resultados del análisis petrográfico <i>Results of petrographic examination</i>
Inerte/Innocuous	Riolitas/ <i>Lithic rhyolites</i> Calcedonitas/ <i>Chalcedony</i> Cuarzo cristalino/ <i>Crystalline quartz</i> Andesitas/ <i>Andesites</i>
Potencialmente reactivo <i>Potentially reactive</i>	Riolitas/ <i>Lithic rhyolites</i> Cuarzo cristalino/ <i>Crystalline quartz</i> Calcedonitas/ <i>Chalcedony</i> Andesitas/ <i>Andesites</i>
Reactivo/Reactive	Riolitas/ <i>Lithic rhyolites</i> Cuarzo cristalino/ <i>Crystalline quartz</i> Calcedonitas/ <i>Chalcedony</i> Andesitas/ <i>Andesites</i>

La Figura 1 muestra los lugares analizados, indicando la zona de influencia de cada uno, así como los que fueron probados.

## 2.2. Análisis químicos de cementos y áridos potencialmente reactivos

Se estudiaron los cementos disponibles y los bancos de materiales del Estado de Chihuahua. El contenido total de álcalis de los cementos fue obtenido a partir de fluorescencia de rayos X. Es usual calcular el contenido total de álcalis en unidades de  $\text{Na}_2\text{O}$  equivalente, como el porcentaje de  $\text{Na}_2\text{O}$  más 0,658 veces el porcentaje de  $\text{K}_2\text{O}$ , asumiendo que la concentración equivalente de KOH y NaOH son iguales en sus efectos. Se realizó una segunda prueba consistente en la elaboración de barras de mortero con vidrio pyrex de cuarzo. Esta prueba es similar a la expansión de barras de mortero, con la única diferencia de que se introducen en una autoclave durante 5 horas a 125 °C, posteriormente se dejan en

Figure 1 shows the analyzed sites, indicating the zone of influence of each one as well as those, which weren't tested.

### 2.2. Chemical analysis of cements and potentially reactive aggregates

Available cements and materials banks in the State of Chihuahua were studied. The total alkali content of the cement was obtained through X-ray fluorescence. It is usual to calculate the total alkali as equivalent  $\text{Na}_2\text{O}$ , as the percentage content of  $\text{Na}_2\text{O}$  plus 0.658 times the percentage content of  $\text{K}_2\text{O}$ , assuming that at equivalent concentrations KOH and NaOH are equal in their effect. A second test consisting on testing mortar bars with quartz glass pyrex was done. This test is similar to that of mortar bars expansion (ASTM C 1260) with the only difference of that the specimens were placed in an autoclave at 125 °C for 5 hours and then, were allowed to reach the environment temperature (~20 °C). This

reposo hasta alcanzar la temperatura ambiente. Esta prueba permite determinar el porcentaje de expansión producido por el contenido de álcalis. De acuerdo con ASTM C 1260, la ASR es no deletérea si la expansión es menor de 0,1%.

*test allows determine the expansion percent produced by the alkali content. According to ASTM C 1260, the ASR is not detrimental if the expansion is less than 0.1%.*

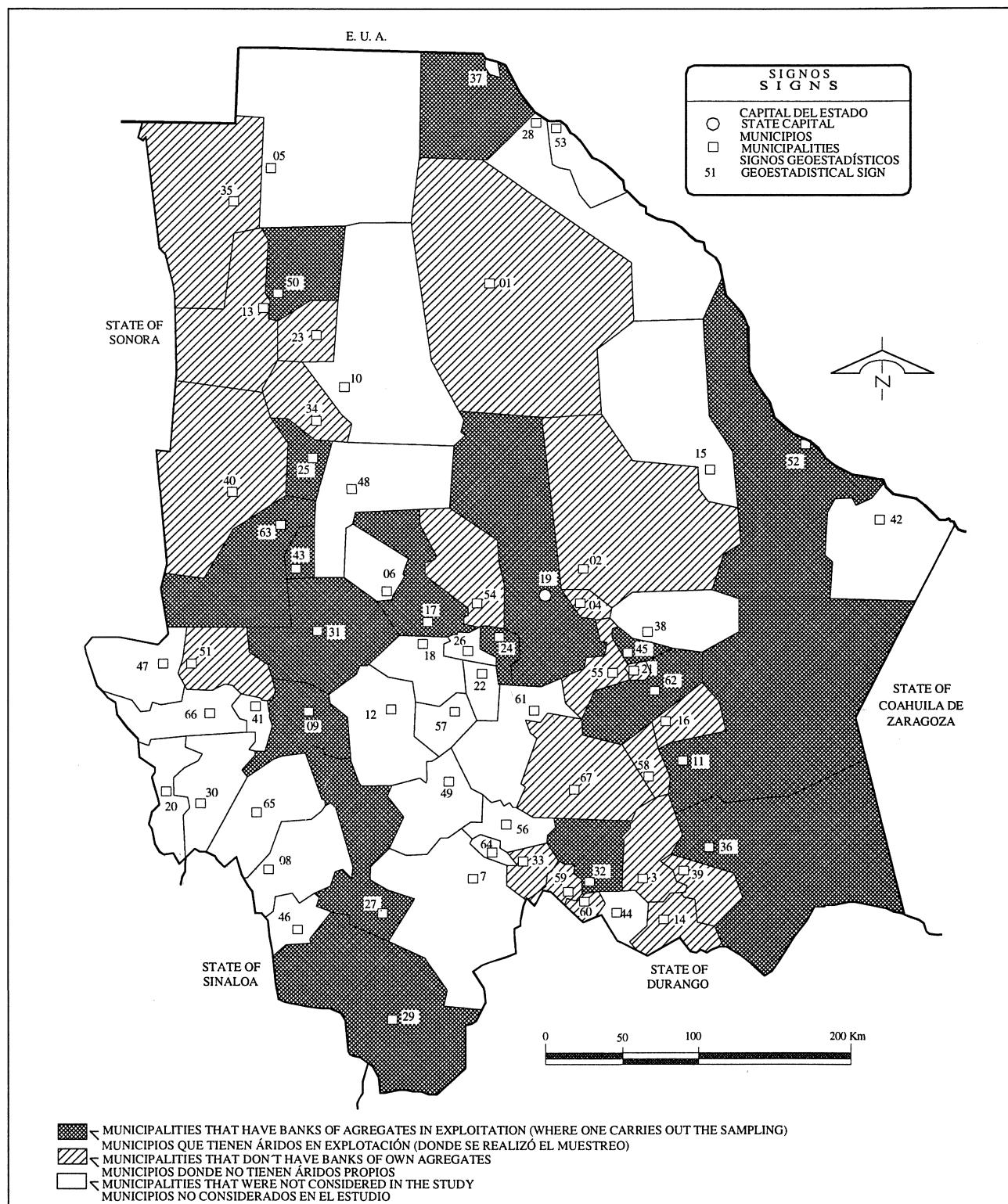


Figura 1.- Lugares ensayados, indicando la zona de influencia de cada uno.

Figure 1.- Tested sites, indicating the zone of influence of each one.

Cada uno de los áridos gruesos y finos, fueron analizados de acuerdo a la norma ASTM C 289 usando el cemento 3. La prueba química rápida fue realizada por triplicado y se calculó la reducción en la alcalinidad y la sílice disuelta. El resultado de esta prueba es que los materiales reactivos parecen liberar una equivalencia molar de sílice dentro de la solución para dar una reducción en la alcalinidad, la mayor proporción de sílice liberada se asocia con la formación y humedecimiento del gel producido por la reacción álcali-árido. La cantidad de sílice disuelta contra la reducción de alcalinidad, se expresan en mili moles por litro, y se ubican en regiones que previamente definen tres clases de posibles áridos: potencialmente peligrosos, áridos considerados deletéreos e inocuos (ASTM C 289).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 3 muestra los resultados de fluorescencia de rayos X para tres de los cements probados. Los valores obtenidos de  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$  fueron usados para calcular el contenido de álcalis en unidades de  $\text{Na}_2\text{O}$  equivalente (tabla 3). De acuerdo con la literatura (Stark, 1978), cements con contenido de álcalis debajo de 0,6% se ha encontrado que causan poca expansión en contacto con agregados reactivos con algunas excepciones. Sólo el cemento 2 está por debajo de 0,6%. En orden a verificar esos resultados se usaron barras de mortero de esos cements con vidrio pirex como árido para efectuar mediciones de expansión de acuerdo a la norma ASTM C 1260. Los resultados mostrados en la tabla 4 ayudan a verificar la tendencia observada. Es decir, el cemento 2 fue el único con menos de 0,1% de expansión después de 16 días. La tabla 5 resume los resultados de expansión de barras de mortero cemento y contenido de álcalis para los tres cements estudiados. Por lo tanto los otros dos cements constituyen un riesgo si son usados junto con áridos reactivos.

La Tabla 6 muestra los resultados de aplicar el método químico (ASTM C 289) a las muestras de arena. En general, el 10% de los bancos de arena fueron reactivos, 45% potencialmente reactivos y 45% inocuos. De los 22 bancos de arena estudiados 8 corresponden a arenas de río y 4 a materiales calizos. Es decir, 2 fueron reactivos 10 potencialmente reactivos y 10 inocuos. La tabla 7 muestra los resultados por banco, tanto del análisis petrográfico (ASTM C 295) como de la prueba química rápida (ASTM C 289).

La Tabla 6 muestra también los resultados de aplicar la prueba química rápida (ASTM C 289) a los áridos gruesos. Dos terceras partes de las muestras cayeron en la zona reactiva o potencialmente reactiva y una tercera

*Each aggregates, coarse and fine, was analyzed according to ASTM C 289, using the cement 3. The quick chemical test was performed by triplicate and it was used to calculate the reduction in alkalinity as well as the silica dissolved. The bases of this test is that reactive materials seem to release more than the molar equivalent of silica into solution for a given reduction in alkalinity and that this greater proportional release of silica is associated with the formation of a swelling gel in alkali-aggregate reaction. The quantity of dissolved silica, against the reduction of alkalinity; both expressed in millimols per litter, enables regions to be defined in which they fall in three classes of aggregates: potentially dangerous, aggregates considered deleterious, and innocuous (ASTM C 289).*

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

*Table 3 shows the results of X-ray fluorescence for the three tested cements. The obtained  $\text{Na}_2\text{O}$  and  $\text{K}_2\text{O}$  values were used to calculate the alkali content in  $\text{Na}_2\text{O}$  equivalent units (table 3). According to the literature (Stark 1978), cements with alkali content below 0.6% have been found to cause little expansion with reactive aggregates with some exceptions. Only the cement 2 is below 0.6% (see table 3). In order to verify these results, mortar bars using these cements and pyrex as aggregate were used to measure the expansion according to ASTM C 1260. The results showed in table 4 help to verify the observed tendency. The cement 2 was the only one with less than 0.1% of expansion after 16 days. Table 5 summarizes the results of expansion of cement mortar bars and alkali content for the three cements studied. Therefore cements 1 and 3 constitute a risk if they are used with reactive aggregates.*

*Table 6 shows the results of applying the chemical method (ASTM C 289) to the sand samples. In general 10% of the sandbanks were reactive, 45% potentially reactive and 45% innocuous. From the 22 tested sandbanks, 18 correspond to river sands and 4 to limestone. Therefore 2 sands were reactive, 10 potentially reactive and 10 innocuous. Table 7 shows the results by bank, both: petrographic examination (ASTM C 295) and quick chemical test (ASTM C 289)*

*Table 6 shows also the results of applying the chemical method to the coarse aggregates. Two thirds of the samples were in the reactive or potentially reactive*

TABLA 3/TABLE 3  
Análisis químico de los cementos estudiados por fluorescencia de rayos X  
(Chemical analysis of the studied cements by X-ray fluorescence)

Componentes/Compounds	C1 (Cemento)/C1 (Cement 1)	C2 (Cemento 2)/C2 (Cement 2)	C3 (Cemento 3)/C3 (Cement 3)
SiO <sub>2</sub>	19.56	20.14	19.94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.79	4.86	5.29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.93	3.24	3.04
CaO	61.37	63.41	63.24
MgO	2.5	2.52	1.27
SO <sub>3</sub>	3.69	2.88	3.62
Na <sub>2</sub> O	0.45	0.06	0.73
K <sub>2</sub> O	0.73	0.57	0.99
TiO <sub>2</sub>	0.20	0.23	0.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	0.11	0.08
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.19	0.06	0.04
Suma/Sum	96.52	98.08	98.41

TABLA 4/TABLE 4  
Contenido de álcalis en los cementos, Na<sub>2</sub>O equivalente/(Alkali content of the cement, Na<sub>2</sub>O equivalent)

Número de muestras Number of samples	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Contenido de álcalis (%) Alkali content (%) (Na <sub>2</sub> O + 0.658 K <sub>2</sub> O)
Cemento 1/Cement 1	3	0.45	0.73
Cemento 2/Cement 2	3	0.06	0.57
Cemento 3/Cement 3	3	0.73	0.99

TABLA 5/TABLE 5  
Resultados de la expansión de muestras de cemento con pirex/(Results of expansion on cement bars with pyrex)

Número de muestras Number of bars	Longitud inicial/Initial length			Longitud final/Final length			Cambio de longitud (%) Change of length (%)			
	Max	Min	Avg.	Max	Min	Avg.	Max	Min	Avg.	
Cemento 1 <i>Cement 1</i>	4	0.1903	0.1552	.1737	0.2021	0.1739	0.1888	.1870	0.1180	0.1515
Cemento 2 <i>Cement 2</i>	4	0.2044	0.1702	0.1821	0.2045	0.1708	0.1825	0.001	0.006	0.0042
Cemento 3 <i>Cement 3</i>	5	0.1594	0.1270	0.1424	0.1998	0.1629	0.1787	0.4040	0.3390	0.3626

TABLA 6/TABLE 6  
Expansión de muestras de mortero de cemento con pyrex y contenido de álcali  
(Expansion of cement mortars bars with pyrex and alkali content)

Cemento/Cement	Expansión de los morteros/Expansion of mortar bars			Contenido en álcalis, %/Alkali content, % Na <sub>2</sub> O equivalente/(Na <sub>2</sub> O equivalent)
	Expansion, %			
C1	0.004			0.428
C2	0.151			0.939
C3	0.362			1.369

TABLA 7/TABLE 7  
Resultados de la reactividad de los áridos en Chihuahua, México, a través del ensayo ASTM 289  
(Results of aggregate reactivity in Chihuahua, México, through the ASTM 289)

Clasificación de los áridos/Aggregate classification	Grava/Gravel	Arena/Sand	Total			
	Nº de serie Number of banks	%	Nº de serie Number of banks	%	Nº de serie Number of banks	%
Inerte/Innocuous	7	32	10	45	17	38
Potencialmente reactivo/Potentially reactive	11	50	10	45	21	48
Reactivo/Reactive	4	18	2	10	6	14

parte en la zona inocua. De los 22 bancos de grava probados 17 fueron agregados de río, 2 agregados de río parcialmente triturados y 3 calizos. Los resultados indican que 4 bancos de grava son reactivos 11 potencialmente reactivos y 7 inocuos. Estos resultados corroboran las pruebas petrográficas ejecutadas conforme a la norma ASTM C 295 para los mismos

*zone and one third in the innocuous zone. From the 22 tested gravel banks, 17 were river aggregates, 2 were partially crushed river aggregates and 3 were of limestone. The results indicated that 4 gravel banks are reactive, 11 potentially reactive and 7 innocuous. These results corroborated the petrographic tests performed with the ASTM C 295 on the same aggregate*

TABLA 8/TABLE 8

Resultados de la reactividad de las arenas en Chihuahua, México, a través de ASTM C 295 y 289  
(Results of sands reactivity in Chihuahua Mexico, trough, ASTM C 295 and 289)

Series Banks	Análisis petrográfico de los minerales reac. <i>Petrographic examination reactive minerals</i>	Difracción de rayos X <i>X-ray diffraction</i>	Ensayo químico rápido (ASTM C 289) <i>Quick chemical test (ASTM C 289)</i>	Clasificación de áridos <i>Aggregates classification</i>	Sc	Rc
2A	calcedonita/chalcedony cuarzo/quartz	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	potencialmente reactivo <i>potentially reactive</i>		248	142
3A	andesitas/andesites calcedonita/chalcedony cuarzo/quartz	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	potencialmente reactivo <i>potentially reactive</i>		413	172
4A	calcedonita/chalcedony cuarzo/quartz	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	potencialmente reactivo <i>potentially reactive</i>		403	213
5A	cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	inerte/innocuous		343	546
6A	andesitas/andesites cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	potencialmente reactivo <i>potentially reactive</i>		336	274
7A	cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	inerte/innocuous		57	180
8A	calcedonita/chalcedony cuarzo/quartz	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	potencialmente reactivo <i>potentially reactive</i>		275	169
9A	cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	potencialmente reactivo <i>potentially reactive</i>		292	206
11A	calcedonita/chalcedony cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	inerte/innocuous		50	1376
14A	cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	potencialmente reactivo <i>potentially reactive</i>		623	194
15A	cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites		inerte/innocuous		204	275
16A	andesitas/andesites cuarzo/quartz	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	potencialmente reactivo <i>potentially reactive</i>		456	292
17A	calcedonita/chalcedony cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	reactivo/reactive		444	113
18A	cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites andesitas/lithic andesites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	inerte/innocuous		42	211
19A	calcedonita/chalcedony cuarzo/quartz jaspe/jasperoide riolitas/lithic rhyolites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	inerte/innocuous		162	247
20A	andesitas/andesites cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	inerte/innocuous		403	1141
21A	cuarzo quartz riolitas/lithic rhyolites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	inerte/innocuous		13	160
23A	andesitas/andesites cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	potencialmente reactivo <i>potentially reactive</i>		511	199
24A	andesitas/andesites cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	potencialmente reactivo <i>potentially reactive</i>		448	143
25A	andesitas/andesites cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	inerte/innocuous		172	312
26A	andesitas/andesites cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	reactivo/reactive		255	91
27A	cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	inerte/innocuous		77	317

áridos (Almaral, 1999), las tablas 8 y 9 muestran con detalle los resultados por banco. El mapa de la figura 2 muestra la distribución de sitios de arenas junto con su susceptibilidad a la reactividad en el Estado de Chihuahua. El mapa de la figura 3 muestra la distribución de sitios de gravas junto con su susceptibilidad a la reactividad.

*banks (Almaral, 1999). Tables 8 and 9 shows results detailed by bank. The map of figure 2 shows the distribution of sand sites together with their susceptibility to reactivity in the Chihuahua State. The map of figure 3 shows the distribution of gravel sites together with their susceptibility to reactivity.*

TABLA 9/TABLE 9

Resultados de la reactividad de las gravas en Chihuahua, México, a través de ASTM C 295 y 289  
(Results of gravels reactivity in Chihuahua Mexico, trough, ASTM C 295 and 289)

Series Banks	Análisis petrográfico de los minerales reac. <i>Petrographic examination reactive minerals</i>	Difracción de rayos X <i>X-ray diffraction</i>	Ensayo químico rápido (ASTM C 289) Clasificación de áridos <i>Quick chemical test (ASTM C 289) Aggregates classification</i>	Sc	Re
1G			inerte/innocuous	50	105
3G	andesitas/andésites calcedonita/chalcedony cuarzo/quartz	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	potencialmente reactivo <i>potentially reactive</i>	719	226
4G	calcedonita/chalcedony cuarzo/quartz	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	potencialmente reactivo <i>potentially reactive</i>	448	278
5G	andesitas/andésites calcedonita/chalcedony cuarzo/quartz	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	potencialmente reactivo <i>potentially reactive</i>	374	179
6G	cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	potencialmente reactivo <i>potentially reactive</i>	332	241
7G	andesitas/andésites cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	inerte/innocuous	461	1182
8G	andesitas/andésites calcedonita/chalcedony cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites riolitas/lithic andesites ópalo/opal	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	potencialmente reactivo <i>potentially reactive</i>	478	228
9G	cuarzo/quartz	c. cript./crypt. quartz	p. reactivo/potentially reactive	495	121
10G	andesitas/andésites cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites	c. cript./crypt. quartz	p. reactivo/potentially reactive	368	182
12G	calcedonita/chalcedony cuarzo/quartz ópalo/opal	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	inerte/innocuous	4	198
13G	andesitas/andésites		inerte/innocuous	11	74
15G	calcedonita/chalcedony cristobalita/cristobalita cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	potencialmente reactivo <i>potentially reactive</i>	531	304
16G	cuarzo/quartz	c. cript./crypt. quartz	reactivo/reactive	509	110
17G	andesitas/andésites cuarzo/quartz andesitas/lv. andesites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	reactivo/reactive	685	110
19G	calcedonita/chalcedony cuarzo/quartz	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	inerte/innocuous	54	1043
20G	cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites		reactivo/reactive	444	107
21G	andesitas/andésites calcedonita/chalcedony cuarzo/quartz fragmentos lit./fragments lith. silifieds	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	potencialmente reactivo <i>potentially reactive</i>	529	270
22G	andesitas/andésites cuarzo/quartz	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	potencialmente reactivo <i>potentially reactive</i>	319	247
23G	andesitas/andésitas cuarzo/quartz riolitas/lithic rhyolites	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	reactivo/reactive	679	47
24G	andesitas/andésites cuarzo/quartz	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	potencialmente reactivo <i>potentially reactive</i>	452	232
26G	andesitas/andésites cuarzo/quartz	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	inerte/innocuous	20	1301
27G	andesitas/andésites cuarzo/quartz	cuarzo criptocristalino <i>cryptocrystalline quartz</i>	inerte/innocuous	459	1219

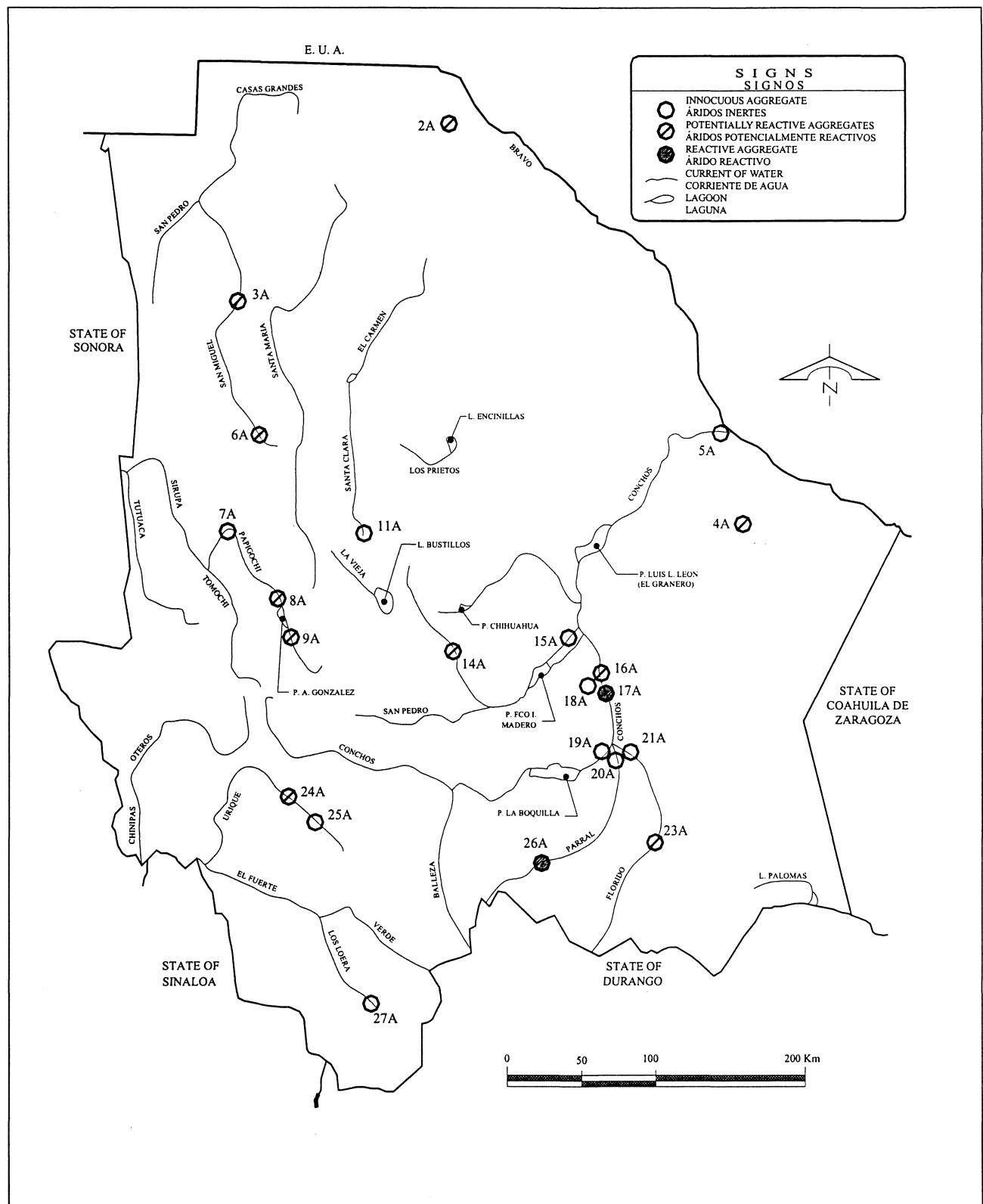


Figura 2.- Distribución de localización de arenas junto con su susceptibilidad a la reactividad por árido-álcali.

Figure 2.- Distribution of sands sites, together with their susceptibility to alkali silica reactivity.

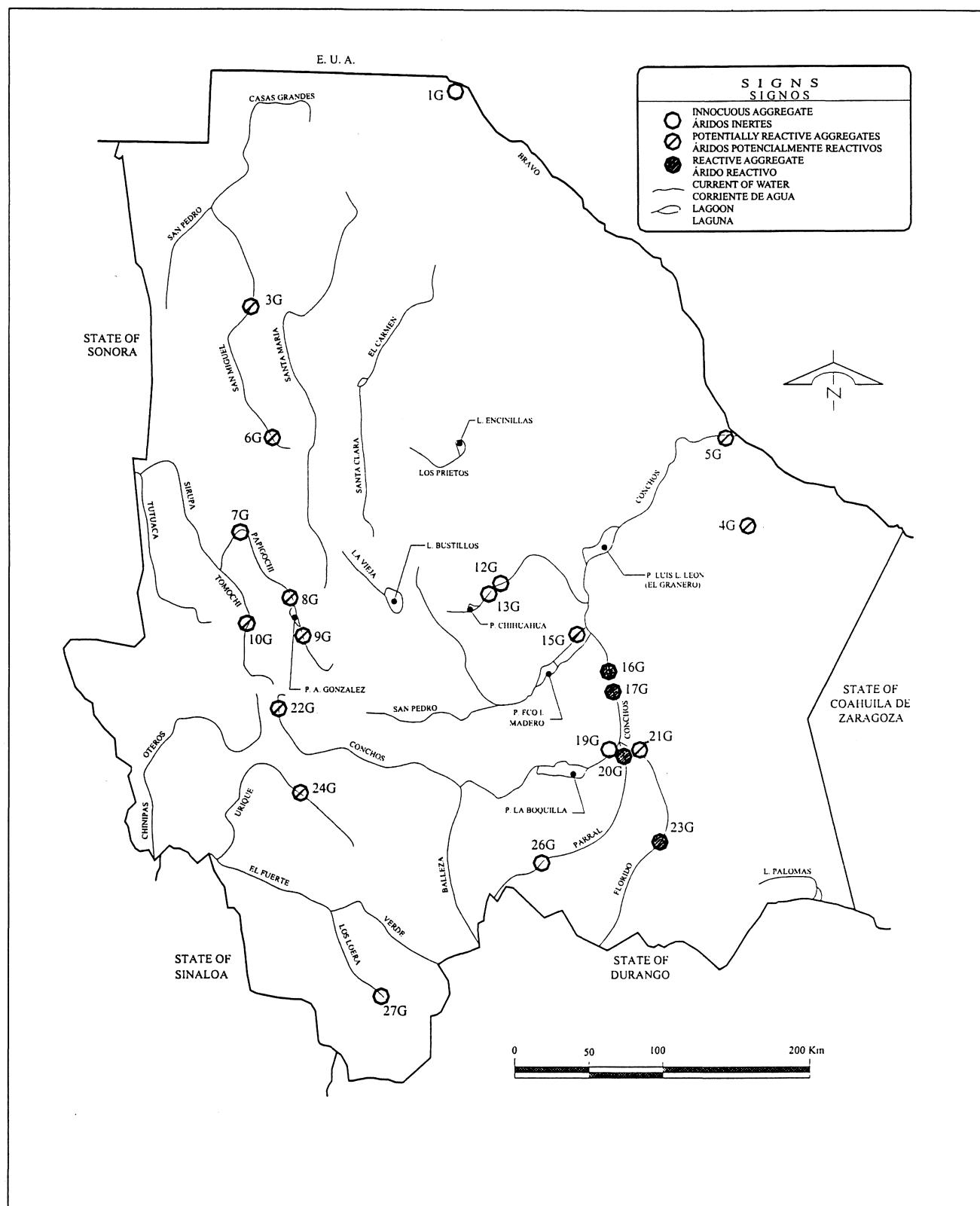


Figura 3.- Distribución de localizaciones de gravas junto con su susceptibilidad a la reactividad por árido-álcali.

Figure 3.- Distribution of gravels sites, together with their susceptibility to alkali silica reactivity.

El método ASTM C 289 junto con el análisis petrográfico, proporcionan información útil para regular el uso de áridos contaminados en esta región y evitar el costo de reparaciones debidas a ASR. Con el fin de obtener más información acerca de ASR, en el Estado de Chihuahua se continuarán realizando pruebas como ASTM C 1260. La publicación de los resultados está permitiendo una adecuada difusión de los lugares donde los áridos deberían ser considerados cuidadosamente, siendo esto una ventaja para inversionistas nacionales y extranjeros.

#### 4. CONCLUSIONES

Sólo uno de los tres cementos probados mostraron no ser susceptibles a la reacción debido a que el cemento presenta menos de 0,6% de álcalis totales.

Se detectó la presencia de algunos minerales reactivos, como calcedonia, cuarzo, andesitas, líticos riolíticos y cuarzo cristalino.

En los resultados preliminares de reactividad potencial de los agregados del estado de Chihuahua se encontró arena reactiva en 2 bancos, potencialmente reactiva en 10 bancos y 10 fueron inocuos (ver figura 2). Las gravas fueron reactivas en 4 bancos, potencialmente reactivas en 11 bancos y 7 fueron inocuas. Se proporciona un mapa con la distribución de esta información (ver figura 3).

No hay correlación entre los resultados del análisis petrográfico y los resultados de la prueba química rápida estándar (ASTM C 289), debido a que todos los agregados clasificados por la prueba química rápida como reactivos, inocuos o potencialmente reactivos, tienen elementos deletéreos de acuerdo a los resultados del análisis petrográfico (ASTM C 295). En general, se consideran más confiables los resultados del análisis petrográfico (ASTM C 295) por lo que se planea continuar la investigación con pruebas de expansión de barras de mortero como ASTM C 1260.

La prueba química rápida (ASTM C 289) permitió una clasificación preliminar de los áridos de la región indicando áridos inocuos en 38%, reactivos en 14% y potencialmente reactivos en 48% de los bancos probados. Esta reactividad potencial debe ser evaluada con la norma ASTM C 1260 en orden a tener una distribución más completa de la ASR.

#### AGRADECIMIENTOS

Uno de los autores, Olague, agradece el apoyo de la UACH (Universidad Autónoma de Chihuahua), al FOMES (Fondo de Modernización de la Educación

*The ASTM C 289 method together with a petrographic examination, provided useful information to regulate the use of contaminated aggregates in this region and they are avoiding the cost of many repairs due to the ASR. More tests following the ASTM C 1260 method in order to obtain most information about the ASR on the Chihuahua State aggregates are being performed. The publication of the results is allowing an adequate diffusion of the places where the aggregates should be taken carefully and this is an advantage mainly for the national and foreign investors.*

#### 4. CONCLUSIONS

*Only one of the three tested cements showed no susceptibility for reaction due to its less than 0.6 % of total alkalis content.*

*It was detected the presence of some reactive minerals, like chalcedony, quartz, andesites, lithic rhyolites and crystalline quartz.*

*The preliminary results of potential reactivity of the aggregates of the State of Chihuahua was found. Sand was reactive in 2 banks, potentially reactive in 10 banks and 10 were innocuous (figure 2). Gravel was reactive in 4 banks, potentially reactive in 11 banks and 7 were innocuous. A map with the distribution of this information was provided (figure 3).*

*There is not correlation between the results of the petrographic examination and the results of the standard quick chemical test (ASTM C 289), because all the classified aggregates, by the quick chemical test, as reactive, innocuous or potentially reactive, have deleterious elements according to the results of the petrographic examination (ASTM C 295). In general, petrographic examination is considered a most reliable test and this is why research with expansion mortar bar tests (ASTM C 1260) is planned to continue.*

*The ASTM C 289 Standard quick chemical test allowed a preliminary classification of the region aggregates indicating innocuous aggregates in 38%, reactive aggregates in 14%, and potential reactivity in 48% of the tested banks. This potential reactivity must be evaluated with the ASTM C 1260 Standard in order to have a more complete distribution of the ASR.*

#### ACKNOWLEDGEMENTS

*One of the authors, Olague, thanks the support of UACH (Autonomous University of Chihuahua) and the partial support from FICA (Foundation of Civil*

Superior) de la SEP (Secretaría de Educación Pública) y el apoyo parcial a la FICA (Fundación de Ingenieros Civiles Asociados) para una beca doctoral y al proyecto CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México), contrato 9704012. Los autores están en deuda con Emilio Caballero Morales y Jorge Luis Almaral, por llevar a cabo las pruebas de este estudio y a la UACH, GCC, CEMEX y CINVESTAV-IPN Unidad Mérida por su apoyo parcial. Los puntos de vista expresados aquí son responsabilidad de los autores y no son necesariamente los de las organizaciones que les apoyaron.

*Engineer Associate) for a doctoral grant and a project CONACYT (National Council of Science and Technology of Mexico), contract 9704012. The authors are indebted with Emilio Caballero Morales and Jorge Luis Almaral for performing the tests of this study and to UACH, Grupo GCC, CEMEX and CINVESTAV-IPN Unidad Mérida for their partial support. The views expressed here are those of the authors are not necessarily those of the supporting organizations.*

## BIBLIOGRAFÍA

- Almaral, J. (1999). "Physical and Chemical Characterization of aggregates for Concrete Pavements ". M. Eng. Thesis. Maestría en Vías Terrestres, UACH, Chihuahua, México, pp. 138.
- American Society of Testing and Materials, 1994. "ASTM C 1260-94. Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)", Annual Book of Standards, Vol. 4.02 Construction, pp. 652-655.
- American Society of Testing and Materials, 1994. "ASTM C 289-94, Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method)", Annual Book of Standards, Vol. 4.02 Construction, pp. 159-165.
- American Society of Testing and Materials, 1994. "ASTM C 295-94, Standard Practice for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete", Annual Book of Standards, Vol. 4.02 Construction, pp. 176-183.
- Caballero, E. (1999). "Evaluations of materials for dictamine potentially Reactive Aggregate in Concrete Pavements". M. Eng. Tesis, Maestría en Vías Terrestres, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, México, 1999 pp. 90.
- Chaiken, B., and Halstead, W., (1960). "Correlation Between Chemical and Mortar Bar Test for Potential Alkali Reactivity of Concrete Aggregate" Bulletin No. 239 Highway (Transportation) Research Board, pp.24-40.
- Chatterji, S. (1978). "Accelerated Method for the Detection of Alkali-Aggregate Reactivities of Aggregates," Cement and Concrete Research, V. 8, No. 5, sept., pp. 647-650.
- Duncan, M., Swenson, E., Gillott, J., and Foran, M.R. (1973). «Alkali-Aggregate Reaction in Nova Scotia: 1. Summary of a Five Year Study," Cement and Concrete Research, V.3, No. 1, jan., pp. 55-69.
- Duncan, M. A. G.; Swenson, E.G.; Gillott, J.E.; and Foran, M.R., (1973). «Alkali-Aggregate Reaction in Nova Scotia: III Laboratory Studies of Volume Change." Cement and Concrete Research. V. 3, No. 3, may, pp. 233-245.
- Gibson, W. (1938) "Study of map Cracking in Sand-Gravel Concrete Pavement," Proceedings, Highways (Transportation) Research Board, V. 18, Part. 1, pp. 227-237.
- Hadley, D. (1968) "Fiel and Laboratory Studies on the Reactivity of Sand Gravel Aggregates", Journal, PCA Research and Development Laboratories, V. 10, No. 1 jan. , pp. 17-33.
- Idorn, G., and Roy, D. (1986). "Opportunities with Alkalies in Concrete Testing, Research, and Engineering Practice," Alkalies in Concrete Testing, Research, and Engineering Practice," Alkalies in Concrete, STP-930 ASTM, Philadelphia, pp. 5-15.
- INEGI State Goverment of Chihuahua. Statistical Annually of State of Chihuahua. Edition 1997.
- Mather, B. (1948). "Petrographic Identification of Reactive Constituents in Concrete Aggregates," Proceedings, ASTM, V. 48, pp.1120-1125.
- Mielenz, R. (1958), "Petrographic Examination of Concrete Aggregate to Determine Potential Alkali-Reactivity," Research Paper No.18-C, Highway (Transportation) Research Board, pp. 29-38.
- Mielenz, R. (1978). "Petrographic Examination (Concrete Aggregates), Significance of Tests and Properties of Concrete Making Materials, STP- 169B, ASTM, Philadelphia, Chapter 33, pp.536-572.
- Oberholster, R., and Davies, G (1986). "Accelerated Method for Testing the Potential Reactivity of Siliceous Aggregates," Cement and Concrete Research, V. 16, No. 2, mar., pp. 181-189.
- Powers T., and Steinour, H., (1955), "Interpretation of some published Research on the Alkali-Aggregate Reaction Part. 1, The Chemical Reactions and Mechanism of Expansion," ACI Journal, Proceedings V. 51, No. 6, feb., pp.497-516.
- Shayan, A. (1996). «Alkali-aggregate reaction in concrete, in Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Melbourne, Australia.
- Stanton, T. (1940) "Expansion of Concrete through Reaction Between Cement and Aggregate," proceedings, ASCE, V.66, dec., pp. 1781-1812.
- Stark, D. (1978). 'Alkali-Silica Reactivity in the Rocky Mountain Region," Proceedings, 4<sup>th</sup> International conference on effects of Alkalies in Cement and concrete; Purdue University, pp. 235-243.
- Stark, D. (1994). « Alkali Silica reactions in concrete, in: P.Kleiger, J.F. Lamond (Eds.), Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials, ASTM STP 169C, ASTM, Philadelphia, PA, pp. 365-371.
- Stark, D., and Bhatty, M. (1986). "Alkali-Silica Reactivity: Effect of Alkali in Aggregate on Expansion," Alkalies in concrete, STP-930, ASTM, Philadelphia, pp. 16-30.
- U.S. Army Corps of Engineers (1994), Standard Practice for Concrete for Civil Works Structures, Engineer Manual 1110-2-2000, including Change 1,31 july 94 Washington CD, 20314-1000.

\* \* \*