

ESTUDIO DE LAS PATOLOGÍAS DEL CONCRETO RÍGIDO EN PROYECTOS DE  
INFRAESTRUCTURA VIAL SOMETIDO A ATAQUES QUÍMICOS POR LIXIVIADOS

GUSTAVO DIAZ PINZÓN  
STEVEN FORERO MURCIA

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA  
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y EMPRESARIALES  
MAESTRÍA EN GERENCIA DE PROYECTOS  
BOGOTÁ D.C. – 2023

ESTUDIO DE LAS PATOLOGÍAS DEL CONCRETO RÍGIDO EN PROYECTOS DE  
INFRAESTRUCTURA VIAL SOMETIDO A ATAQUES QUÍMICOS POR LIXIVIADOS

GUSTAVO DIAZ PINZÓN

STEVEN FORERO MURCIA

Proyecto de grado para obtener el título de magister en gerencia de proyectos

Asesor: HECTOR VILLAMIL BOLIVAR

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y EMPRESARIALES

MAESTRÍA EN GERENCIA DE PROYECTOS

BOGOTÁ D.C. – 2023

**Nota de Aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma presidente del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

## **Agradecimientos**

Mi agradecimiento a Dios por permitirme culminar una meta que era parte de un propósito en mi vida profesional, a mis padres por su guía, educación y valores que hoy me permiten forjarme como una persona que contribuye a esta sociedad, a mi esposa por su paciencia y apoyo, a mis profesores por irrigar su conocimiento como una herramienta invaluable que asegura la competencia en un mundo cambiante, a mi compañero de trabajo de grado por su amistad, empatía y trabajo en equipo y por ultimo a mí, por esa constante dedicación, persistencia, disciplina y grandes sacrificios para obtener este logro el cual no fuese una realidad sin mi ser.

Le agradezco a Dios por una vez más hacer posible uno de mis sueños, a Ana Deicy Forero Nuñez que fue como mi mamá, que me brindó el amor, la educación, su compañía y la de una hermana más, la amistad y todo lo que pudo para mi bienestar sin condición alguna y que hizo de mí una gran persona ahora está en el cielo con mi papá, pero estoy seguro de que desde allá me acompañaron, me orientaron e intercedieron para que yo logro seguir cumpliendo mis propósitos. Por otra parte, el apoyo de mis hermanas y mi mamá, por su hospitalidad, su cariño, su generosidad y por ser parte de mi vida, a mi compañero del proyecto de grado por acogerme y permitirme generar conocimiento a partir de su gran trayectoria y experiencia, a la concesionaria Covial S.A por permitirnos desarrollar este proyecto, al PhD Rafael Fonseca por acompañarnos y orientarnos en la parte experimental, a los profesores y compañeros de la maestría por compartir y generar conocimiento, de todos quedan mil cosas buenas. Finalmente, a la vida y al universo que junto con Dios se confabularon para que simultáneamente durante este proceso formara mi hogar junto a mi esposa y llegara a mi vida ese ser que llena mi corazón de amor y ganas de seguir creciendo como persona, como profesional y ahora con el nuevo título que me otorgó “papá”, mi hijo Martín.

## Resumen

La exposición del concreto a ataques químicos producto de la descomposición de residuos orgánicos (lixiviados) genera una degradación del concreto que se caracteriza por la corrosión de la matriz cementante, aspectos que son tratados en este estudio por medio de la experimentación en el proyecto de la malla vial interna de la Central de Abastos de Bogotá. Para ello, se consideró el análisis de las normas que establecen la durabilidad del concreto, ensayos especializados con el fin de identificar la causa de las patologías, el análisis del agente agresor y la evaluación del daño del concreto. Así mismo, esta investigación plantea algunas recomendaciones que permitan mitigar la afectación del concreto bajo las dimensiones social, ambiental y económica.

Palabras claves: *corrosión, lixiviado, ataque químico, patología, degradación del concreto.*

## Abstract

The exposure of concrete to chemical attacks resulting from the decomposition of organic waste (leachates) generates a degradation of the concrete that is characterized by the corrosion of the cementitious matrix, aspects that are treated in this study through experimentation in the project of the internal road mesh of the Bogotá Supply Central. For this, the analysis of the standards that establish the durability of concrete, specialized tests in order to identify the cause of the pathologies, the analysis of the offending agent and the evaluation of the damage to the concrete were considered. Likewise, this research proposes some recommendations that allow mitigating the impact of concrete under the social, environmental and economic dimensions.

Keywords: Corrosion, leachate, chemical attack, pathology, concrete degradation.

## Tabla de contenido

### Introducción

|       |                                                                                                                                                                                     |                               |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1.    | Definición del problema .....                                                                                                                                                       | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.1   | Antecedentes .....                                                                                                                                                                  | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.2   | Justificación.....                                                                                                                                                                  | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.3   | Planteamiento .....                                                                                                                                                                 | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.    | Objetivos .....                                                                                                                                                                     | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.1   | Objetivo General .....                                                                                                                                                              | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.2   | Objetivos Específicos.....                                                                                                                                                          | ¡Error! Marcador no definido. |
| 3.    | Marco Teórico.....                                                                                                                                                                  | ¡Error! Marcador no definido. |
| 4.    | Marco Metodológico.....                                                                                                                                                             | ¡Error! Marcador no definido. |
| 4.1   | Enfoque de Investigación .....                                                                                                                                                      | ¡Error! Marcador no definido. |
| 4.2   | Tipo de Investigación .....                                                                                                                                                         | ¡Error! Marcador no definido. |
| 4.3   | Población y Muestra.....                                                                                                                                                            | ¡Error! Marcador no definido. |
| 4.4   | Herramientas Para la Recolección de Información.....                                                                                                                                | ¡Error! Marcador no definido. |
| 4.5   | Fuentes de Información (Primarias y Secundarias).....                                                                                                                               | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5.    | Análisis de Resultados .....                                                                                                                                                        | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5.1   | Nivel de Daño del Concreto Tipo MR-45 a Causa del Ataque Químico....                                                                                                                | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5.1.1 | Ensayo de Laboratorio Para el Análisis Petrográfico de Núcleos de Concreto en Bloque Semipulido y Sección Delgada Norma ASTM C856-20 Para los Años 2017, 2021 y 2023 .....          | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5.1.2 | Ensayo de Laboratorio Para el Análisis de Microscopía Electrónica de barrido SEM y Espectroscopía por Dispersión de Energía de Rayos x (EDX) Norma ASTM C1723-16. ....              | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5.1.3 | Ensayo De Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto NTC 673.....                                                                                           | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5.1.4 | Caracterización del Lixiviado. ....                                                                                                                                                 | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5.2   | Requerimientos Normativos del Diseño de Mezcla con Respecto al Implementado en la Central de Abastos de Bogotá – Corabastos S.A. ....                                               | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5.3   | Políticas y Reglamentación Para la Prevención y/o Mitigación en el Manejo de Residuos Orgánicos en la Central de Abastos de Bogotá D.C Promoviendo Cultura Ambiental y Social. .... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5.4   | Estimación de Costos Para da Reparación de la Malla Vial Afectada Por el Ataque Químico del Concreto. ....                                                                          | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.    | Conclusiones y Recomendaciones.....                                                                                                                                                 | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7.    | Lista de Referencias.....                                                                                                                                                           | ¡Error! Marcador no definido. |

## Lista de Figuras

|                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Losas afectadas en la central de Corabastos.....                                                                                                                                                     | 26 |
| <b>Figura 2.</b> Losas de concreto en buen estado de la central de Corabastos. ....                                                                                                                                   | 28 |
| <b>Figura 3.</b> Losas de concreto afectadas por el ataque químico de la central de Corabastos. ....                                                                                                                  | 28 |
| <b>Figura 4.</b> Extracción núcleo de concreto en losas afectadas de la central de Corabastos.....                                                                                                                    | 29 |
| <b>Figura 5.</b> Dimensionamiento de núcleo de concreto en losas afectadas .....                                                                                                                                      | 29 |
| <b>Figura 6.</b> Toma de lixiviado en zonas afectadas por ataque químico .....                                                                                                                                        | 30 |
| <b>Figura 7.</b> Muestra de núcleo de concreto 12, vistas laterales, superior e inferior. Los puntos amarillo y rosado muestran la orientación de los cortes, (2017). ....                                            | 33 |
| <b>Figura 8.</b> Muestra de núcleo de concreto 13, vistas laterales, superior e inferior. Los puntos amarillo y rosado muestran la orientación de los cortes, (2021). ....                                            | 34 |
| <b>Figura 9.</b> Muestra de núcleo de concreto 14, vistas laterales, superior e inferior. Los puntos amarillo y rosado muestran la orientación de los cortes, (2023). ....                                            | 35 |
| <b>Figura 10.</b> Bloque pulido y sección delgada del núcleo de concreto, muestra 12 (2017). ....                                                                                                                     | 36 |
| <b>Figura 11.</b> Bloque pulido y sección delgada del núcleo de concreto, muestra 13 (2021). ....                                                                                                                     | 37 |
| <b>Figura 12.</b> Bloque pulido y sección delgada del núcleo de concreto, muestra 14 (2023). ....                                                                                                                     | 37 |
| <b>Figura 13.</b> Parte superior del bloque semipulido de la muestra 12, (2017). Textura y distribución de los diferentes componentes de la muestra y localización de la sección delgada. ....                        | 38 |
| <b>Figura 14.</b> Parte superior del bloque semipulido de la muestra 13, (2021). Textura y distribución de los diferentes componentes de la muestra y localización de la sección delgada. ....                        | 39 |
| <b>Figura 15.</b> Parte superior del bloque semipulido de la muestra 14, (2023). Textura y distribución de los diferentes componentes de la muestra y localización de la sección delgada. ....                        | 39 |
| <b>Figura 16.</b> Microfotografías bajo el estéreo microscopio de la muestra 12 (2017) en corte desde la cara superior expuesta al ambiente. ....                                                                     | 46 |
| <b>Figura 17.</b> Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente de la muestra 12 (2017).....                                                               | 47 |
| <b>Figura 18.</b> Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente de la muestra de concreto 12 (2017) .....                                                  | 48 |
| <b>Figura 19.</b> Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente de la muestra de concreto 12 (2017). ....                                                  | 49 |
| <b>Figura 20.</b> Microfotografías bajo el estéreo microscopio de la muestra 13 (2021) en corte desde la cara superior expuesta al ambiente Fuente: construcción propia.....                                          | 50 |
| <b>Figura 21.</b> Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente en la parte superior de la muestra de concreto 13 (2021) Fuente: construcción propia. .... | 51 |

|                                                                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 22.</b> Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente en la parte superior de la muestra de concreto 13 (2021). Fuente: construcción propia. .... | 52 |
| <b>Figura 23.</b> Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente en la parte superior de la muestra de concreto 13 (2021). Fuente: construcción propia. .... | 53 |
| <b>Figura 24.</b> Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente en la parte superior de la muestra de concreto 13 (2021). Fuente: construcción propia. .... | 54 |
| <b>Figura 25.</b> Microfotografías bajo el estéreo microscopio de la muestra 14 (2023) en corte desde la cara superior expuesta al ambiente. Fuente: construcción propia. ....                                         | 54 |
| <b>Figura 26.</b> Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente en la parte superior de la muestra de concreto 14 (2023). Fuente: construcción propia. .... | 55 |
| <b>Figura 27.</b> Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente en la parte superior de la muestra de concreto 14 (2023). Fuente: construcción propia. .... | 56 |
| <b>Figura 28.</b> Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente en la parte superior de la muestra de concreto 14 (2023). Fuente: construcción propia. .... | 57 |
| <b>Figura 29.</b> Microfotografías bajo el microscopio petrográfico de la parte interna de la muestra de concreto 14 (2023). Fuente: construcción propia. ....                                                         | 58 |
| <b>Figura 30.</b> Sección delgada de la muestra 12 (2017). ....                                                                                                                                                        | 61 |
| <b>Figura 31.</b> Sección delgada de la muestra 13 (2021). ....                                                                                                                                                        | 61 |
| <b>Figura 32.</b> Sección delgada de la muestra 14 (2023). Fuente: construcción propia. ....                                                                                                                           | 62 |
| <b>Figura 33.</b> Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente de la muestra de concreto 12 (2017). Fuente: construcción propia. ....                      | 63 |
| <b>Figura 34.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 12 (2017), sector 1. ....                                                                                                                                 | 64 |
| <b>Figura 35.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del primer sector de la muestra de concreto 12 (2017). Fuente: construcción propia. ....                                                                 | 65 |
| <b>Figura 36.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 12 (2017) sector 2. Fuente: construcción propia. ....                                                                                                     | 66 |
| <b>Figura 37.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del segundo sector de la muestra de concreto 12 (2017). Fuente: construcción propia. ....                                                                | 67 |
| <b>Figura 38.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 12 (2017) sector 3. Fuente: construcción propia. ....                                                                                                     | 68 |
| <b>Figura 39.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del tercer sector de la muestra de concreto 12 (2017). Fuente: construcción propia. ....                                                                 | 69 |
| <b>Figura 40.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 12 (2017) sector 4. Fuente: construcción propia. ....                                                                                                     | 70 |

|                                                                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 41.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del cuarto sector de la muestra de concreto 12 (2017). Fuente: construcción propia. ....                                            | 71 |
| <b>Figura 42.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 12 (2017) sector 5. Fuente: construcción propia. ....                                                                                | 72 |
| <b>Figura 43.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del quinto sector de la muestra de concreto 12 (2017). Fuente: construcción propia. ....                                            | 73 |
| <b>Figura 44.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 12 (2017) sector 6. Fuente: construcción propia. ....                                                                                | 74 |
| <b>Figura 45.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del sexto sector de la muestra de concreto 12 (2017). Fuente: construcción propia. ....                                             | 75 |
| <b>Figura 46.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 12 (2017) sector 7. Fuente: construcción propia. ....                                                                                | 76 |
| <b>Figura 47.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del séptimo sector de la muestra de concreto 12 (2017). Fuente: construcción propia. ....                                           | 77 |
| <b>Figura 48.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 12 (2017) sector 8. Fuente: construcción propia. ....                                                                                | 78 |
| <b>Figura 49.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del octavo sector de la muestra de concreto 12 (2017). Fuente: construcción propia. ....                                            | 79 |
| <b>Figura 50.</b> Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente de la muestra de concreto 13 (2021). Fuente: construcción propia. .... | 81 |
| <b>Figura 51.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 13 (2021) sector 1. Fuente: construcción propia. ....                                                                                | 82 |
| <b>Figura 52.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del primer sector de la muestra de concreto 13 (2021). Fuente: construcción propia. ....                                            | 83 |
| <b>Figura 53.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 13 (2021) sector 2. Fuente: construcción propia. ....                                                                                | 84 |
| <b>Figura 54.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del segundo sector de la muestra de concreto 13 (2021). Fuente: construcción propia. ....                                           | 85 |
| <b>Figura 55.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 13 (2021) sector 3. Fuente: construcción propia. ....                                                                                | 86 |
| <b>Figura 56.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del tercer sector de la muestra de concreto 13 (2021). Fuente: construcción propia. ....                                            | 87 |
| <b>Figura 57.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 13 (2021) sector 4. Fuente: construcción propia. ....                                                                                | 88 |
| <b>Figura 58.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del cuarto sector de la muestra de concreto 13 (2021). Fuente: construcción propia. ....                                            | 89 |
| <b>Figura 59.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 13 (2021) sector 5. Fuente: construcción propia. ....                                                                                | 90 |
| <b>Figura 60.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del quinto sector de la muestra de concreto 13 (2021). Fuente: construcción propia. ....                                            | 91 |

|                                                                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 61.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 13 (2021) sector 6. Fuente: construcción propia. ....                                                                                | 92  |
| <b>Figura 62.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del sexto sector de la muestra de concreto 13 (2021). Fuente: construcción propia. ....                                             | 93  |
| <b>Figura 63.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 13 (2021) sector 7. Fuente: construcción propia. ....                                                                                | 94  |
| <b>Figura 64.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del séptimo sector de la muestra de concreto 13 (2021). Fuente: construcción propia. ....                                           | 95  |
| <b>Figura 65.</b> Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente de la muestra de concreto 14 (2023). Fuente: construcción propia. .... | 97  |
| <b>Figura 66.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 1. Fuente: construcción propia. ....                                                                                | 98  |
| <b>Figura 67.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del primer sector de la muestra de concreto 14 (2023). Fuente: construcción propia. ....                                            | 99  |
| <b>Figura 68.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 1 con tres microanálisis. Fuente: construcción propia. ....                                                         | 100 |
| <b>Figura 69.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 2. Fuente: construcción propia. ....                                                                                | 101 |
| <b>Figura 70.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del segundo sector de la muestra de concreto 14 (2023). Fuente: construcción propia. ....                                           | 102 |
| <b>Figura 71.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 3. Fuente: construcción propia. ....                                                                                | 103 |
| <b>Figura 72.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 3'. Fuente: construcción propia. ....                                                                               | 104 |
| <b>Figura 73.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 4. Fuente: construcción propia. ....                                                                                | 105 |
| <b>Figura 74.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del cuarto sector de la muestra de concreto 14 (2023). Fuente: construcción propia. ....                                            | 106 |
| <b>Figura 75.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 5. Fuente: construcción propia. ....                                                                                | 107 |
| <b>Figura 76.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del quinto sector de la muestra de concreto 14 (2023). Fuente: construcción propia. ....                                            | 108 |
| <b>Figura 77.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 6. Fuente: construcción propia. ....                                                                                | 109 |
| <b>Figura 78.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del sexto sector de la muestra de concreto 14 (2023). Fuente: construcción propia. ....                                             | 110 |
| <b>Figura 79.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 7. Fuente: construcción propia. ....                                                                                | 111 |
| <b>Figura 80.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del séptimo sector de la muestra de concreto 14 (2023). Fuente: construcción propia. ....                                           | 112 |

|                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 81.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 8. Fuente: construcción propia. ....                                                                                                              | 113 |
| <b>Figura 82.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del octavo sector de la muestra de concreto 14 (2023). Fuente: construcción propia. ....                                                                          | 114 |
| <b>Figura 83.</b> Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 9. Fuente: construcción propia. ....                                                                                                              | 115 |
| <b>Figura 84.</b> Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del noveno sector de la muestra de concreto 14 (2023). Fuente: construcción propia. ....                                                                          | 116 |
| <b>Figura 85.</b> Núcleos en concreto tipo MR-45 sin afectación Fuente: construcción propia. ....                                                                                                                               | 119 |
| <b>Figura 86.</b> Ensayo de compresión núcleo en concreto tipo MR-45 Fuente: construcción propia. ....                                                                                                                          | 119 |
| <b>Figura 87..</b> Núcleos en concreto tipo MR-45 con afectación Fuente: construcción propia. ....                                                                                                                              | 120 |
| <b>Figura 88.</b> Ensayo de compresión núcleo en concreto tipo MR-45 Fuente: construcción propia. ....                                                                                                                          | 120 |
| <b>Figura 89.</b> Caracterización del lixiviado. ....                                                                                                                                                                           | 123 |
| <b>Figura 90.</b> Caracterización del lixiviado. Fuente: <a href="https://www.buddhagenetics.com/wp-content/uploads/2015/03/escaladelph.jpg">https://www.buddhagenetics.com/wp-content/uploads/2015/03/escaladelph.jpg</a> .... | 123 |
| <b>Figura 91.</b> Propuesta pedagógica .....                                                                                                                                                                                    | 138 |

## Lista de Tablas

|                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 1.</b> Clases generales de exposición.....                                                                                      | 18  |
| <b>Tabla 2.</b> Muestras de concreto .....                                                                                               | 32  |
| <b>Tabla 3.</b> Volumen de constituyentes principales resultado del conteo de bloque semipulido.....                                     | 40  |
| <b>Tabla 4.</b> Condiciones generales de las muestras .....                                                                              | 41  |
| <b>Tabla 5.</b> Vacíos y microporos .....                                                                                                | 43  |
| <b>Tabla 6.</b> Grietas y microgrietas .....                                                                                             | 44  |
| <b>Tabla 7.</b> Pasta cementante .....                                                                                                   | 44  |
| <b>Tabla 8.</b> Composición química sector 1 muestra 12 (2017) .....                                                                     | 65  |
| <b>Tabla 9.</b> Composición química sector 2 muestra 12 (2017) .....                                                                     | 67  |
| <b>Tabla 10.</b> Composición química sector 3 muestra 12 (2017) .....                                                                    | 69  |
| <b>Tabla 11.</b> Composición química sector 4 muestra 12 (2017) .....                                                                    | 71  |
| <b>Tabla 12.</b> Composición química sector 5 muestra 12 (2017) .....                                                                    | 73  |
| <b>Tabla 13.</b> Composición química sector 6 muestra 12 (2017) .....                                                                    | 75  |
| <b>Tabla 14.</b> Composición química sector 7 muestra 12 (2017) .....                                                                    | 77  |
| <b>Tabla 15.</b> Composición química sector 8 muestra 12 (2017) .....                                                                    | 79  |
| <b>Tabla 16.</b> Composición química de los sectores en la pasta cementante hacia la parte más superior en la muestra 12 (2017).....     | 80  |
| <b>Tabla 17.</b> Composición química sector 1 muestra 13 (2021) .....                                                                    | 83  |
| <b>Tabla 18.</b> Composición química sector 2 muestra 13 (2021) .....                                                                    | 85  |
| <b>Tabla 19.</b> Composición química sector 3 muestra 13 (2021) .....                                                                    | 87  |
| <b>Tabla 20.</b> Composición química sector 4 muestra 13 (2021) .....                                                                    | 89  |
| <b>Tabla 21.</b> Composición química sector 5 muestra 13 (2021) .....                                                                    | 91  |
| <b>Tabla 22.</b> Composición química sector 6 muestra 13 (2021) .....                                                                    | 93  |
| <b>Tabla 23.</b> Composición química sector 7 muestra 13 (2021) .....                                                                    | 95  |
| <b>Tabla 24.</b> Composición química de varios sectores en la pasta cementante hacia la parte más superior en la muestra 13 (2021) ..... | 96  |
| <b>Tabla 25.</b> Composición química sector 1 muestra 14 (2023) .....                                                                    | 99  |
| <b>Tabla 26.</b> Composición química sector 1' muestra 14 (2023) .....                                                                   | 101 |
| <b>Tabla 27.</b> Composición química sector 2 muestra 14 (2023) .....                                                                    | 102 |
| <b>Tabla 28.</b> Composición química sector 3 muestra 14 (2023) .....                                                                    | 104 |
| <b>Tabla 29.</b> Composición química sector 4 muestra 14 (2023) .....                                                                    | 106 |
| <b>Tabla 30.</b> Composición química sector 5 muestra 14 (2023) .....                                                                    | 108 |
| <b>Tabla 31.</b> Composición química sector 6 muestra 14 (2023) .....                                                                    | 110 |
| <b>Tabla 32.</b> Composición química sector 7 muestra 14 (2023) .....                                                                    | 112 |
| <b>Tabla 33.</b> Composición química sector 8 muestra 14 (2023) .....                                                                    | 114 |
| <b>Tabla 34.</b> Composición química sector 9 muestra 14 (2023) .....                                                                    | 116 |

|                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 35.</b> Composición química de varios sectores en la pasta cementante hacia la parte más superior en la muestra 14 (2023) ..... | 117 |
| <b>Tabla 36.</b> Resistencia a la compresión de núcleos en concreto .....                                                                | 121 |
| <b>Tabla 37.</b> pH de muestras de lixiviado año 2021 .....                                                                              | 122 |
| <b>Tabla 38.</b> pH de muestras de lixiviado año 2023 .....                                                                              | 122 |
| <b>Tabla 39.</b> Clasificación de la agresividad química .....                                                                           | 125 |
| <b>Tabla 40.</b> Valores límite para composición y propiedades del concreto .....                                                        | 126 |
| <b>Tabla 41.</b> Diseño de mezcla para el concreto tipo MR-45 para la centra de abastos.....                                             | 127 |
| <b>Tabla 42.</b> Revisión marco legal colombiano para manejo de residuos orgánicos .....                                                 | 128 |

## **Introducción**

El deterioro del pavimento rígido tipo MR a causa del ataque químico por lixiviados, el cual se define como los líquidos formados por los residuos a través de la descomposición de desechos orgánicos, que se vierten de manera directa sobre una superficie o por la percolación de goteo de los contenedores de basura hacia el concreto tipo MR-45, ocasiona la pérdida de la pasta cementante superficial. Para abordar esta problemática, se realizará un análisis del comportamiento del concreto de la malla vial interna de la Corporación de Abastos de Bogotá durante un periodo de seis años de exposición continua a este tipo de ataque químico, mediante la extracción de núcleos de concreto que presenta daño para posteriormente realizar los ensayos de laboratorio de microscopia electrónica de barrido SEM, por espectroscopia por dispersión de rayos EDX, petrografía y determinación del valor del pH del agente agresor, tomados durante diferentes años de seguimiento dando como resultado la determinación del comportamiento fisicoquímico de los materiales, la pasta cementante, el grado de afectación, el impacto ambiental y las afectaciones sociales en el marco de la comercialización de productos agrícolas en la Central de Abastos de Bogotá D.C.

### **1. Definición del Problema**

#### **1.1 Antecedentes**

El concreto es una mezcla de agregados pétreos gruesos (grava) y finos (arena), agua y cemento bajo un diseño de mezcla con ciertos parámetros. Siendo este, uno de los materiales más empleados en la construcción por sus diferentes propiedades como cohesión, impermeabilidad, trabajabilidad, resistencia y durabilidad. (García, 2020).

La durabilidad del concreto ha tomado fuerza a través del tiempo por su incidencia en los aspectos ambientales, sociales, económicos entre otros. (Norma técnica colombiana 5551,

Durabilidad de estructuras de concreto, 2007). Por esto, se tomó una de las patologías en el concreto, como lo son los ataques químicos producidos por sustancias ácidas a nivel superficial las cuales percolan la estructura de este, generando una serie de procesos físicos y químicos a los que se ve expuesto en servicio. Un factor importante para la durabilidad que retarda la degradación química (incluso la física y/o mecánica) causada por los agentes agresivos, es la compacidad del concreto. La composición y las condiciones de puesta en obra determinan esta compacidad que está estrechamente ligada a la porosidad inicial del concreto. (Berissi, 1986).

Ouyang Cs. 1998, abordó el ataque químico para morteros de cemento Portland proveniente de fuentes internas y externas de sulfatos. Consideró factores como el tipo de cemento, el contenido de cemento, la relación agua cemento y la adición de cenizas volantes respecto a la expansión y el desarrollo de la resistencia y se encuentra que existen diferencias sustanciales entre los dos tipos de ataque con sulfato. Finalmente concluyó que la adición de cenizas volantes mejora la resistencia de los morteros al ataque por sulfatos para los factores internos y externos. Sin embargo, este efecto es más beneficioso para los ataques externos los cuales usualmente ocurren después de las reacciones puzolánicas (curado del concreto).

Estokova, A., 2019, abordó el tema de la durabilidad del concreto bajo varias acciones agresivas acopladas como alta temperatura, factores climáticos, carbonatación, compresión alcali-silice, penetración de cloruro, corrosión, entre otros. El análisis de correlación apunta a la gran diferencia en comportamiento de lixiviación de los principales componentes del hormigón debido a ataques químicos y biológicos de ácido sulfúrico.

## **1.2 Justificación**

Se consideró una vía en concreto de alta resistencia tipo MR-45, ubicada en Corabastos afectada por el ataque químico durante un periodo de servicio de seis años. Dicha investigación,

está enfocada al deterioro del concreto a causa de sustancias ácidas con valores de PH menores a seis, como marco normativo se realizó el análisis de la NTC551 durabilidad del concreto y se contrastó si dichas especificaciones son suficientes para mitigar los daños y/o patologías. Así mismo, este estudio identificó las causas de la degradación del concreto sometido al ataque químico por lixiviados y permitió generar buenas prácticas en las dimensiones social con capacitaciones en la correcta disposición de residuos, ambiental evitando la contaminación de los cuerpos de agua por vertimientos de sustancias ácidas y económica aumentando el periodo de vida útil del pavimento hecho que contribuye a la sostenibilidad.

### **1.3 Planteamiento**

El pavimento rígido con usos industriales y comerciales es sometido a ataques químicos por lixiviados, siendo estos generados por la descomposición durante procesos de fermentación y descomposición de residuos orgánicos, que se producen por la disolución de uno o más compuestos de residuos sólidos urbanos en contacto con el agua (Álvarez & Suarez, 2006). Para el caso bajo estudio, los residuos son vertidos sobre el corredor vial de Corabastos, mismos que producen contaminación, infiltración y ataque al concreto rígido tipo MR-45, esto genera degradación del concreto, la cual se evidenciará por medio de ensayos de laboratorio así:

- Microscopía electrónica barrido (SEM).
- Espectroscopia de dispersión de rayos (EDX)
- Petrografía
- Caracterización del lixiviado
- Revisión de normatividad existente

Lo anterior, con el fin de evaluar la afectación referente al espesor de la losa de concreto, la pérdida de adhesión entre el agregado y la pasta cementante, la variación de la concentración de

los elementos químicos del concreto tipo MR-45 afectado, la incidencia del valor de pH del lixiviado en la degradación del concreto.

Por otro lado, la incidencia del daño en aspectos sociales y ambientales que afectan el entorno y la población de la comunidad de Corabastos.

#### **1.4 Objetivo General**

Analizar las patologías del concreto tipo MR-45 para obras de infraestructura vial sometido a ataques químicos por lixiviados para la prevención y/o mitigación del daño.

#### **1.5 Objetivos Específicos**

- Determinar el nivel de daño del concreto tipo MR-45 frente a sus componentes.
- Contrastar los requerimientos de la normatividad vigente contra el diseño de mezcla implementado en la Central de Abastos de Bogotá – Corabastos S.A.
- Desarrollar un procedimiento que genere políticas y reglamentación para la prevención y/o mitigación en el manejo de residuos orgánicos en la Central de Abastos de Bogotá D.C promoviendo cultura ambiental y social.
- Estimar un presupuesto detallado para la reparación de la zona afectada a causa del ataque químico.

### **2. Marco Teórico**

El ataque químico de los concretos es una de las patologías que se presenta por “*una degradación de la microestructura del hormigón que limita seriamente la vida útil de los componentes de la construcción*” (Robin et al., 2005), esta acción se presenta cuando los ácidos atacan las bases y las sales básicas formadas por la hidratación del cemento deteriorándolo debido a la formación de sales solubles y acciones de disolución que eliminan el hidróxido de calcio. Los parámetros que gobiernan el ataque estrictamente ácido son la fuerza del álcali y su concentración,

es decir el valor de pH. En la práctica puede estimarse que ningún cemento portland resiste la acción de aguas con pH inferior a 4.5, por otro lado, los cementos portland resisten sin problema la acción de sustancias con un pH superior a 6.

Así mismo, la norma técnica Colombiana NTC 5551, establece los criterios para la durabilidad de estructuras de concreto, definiendo la gravedad del ataque ácido y se divide en tres clases de exposiciones según la Tabla 1.

**Tabla 1.**

*Clases generales de exposición*

| Clase | Subclase | Tipo de Proceso | Descripción del ambiente de exposición                                                                                                                                                                     | Ejemplos                                                                                                                                                                               |
|-------|----------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       |          | <b>6.0</b>      | <b>Ataque químico</b>                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                        |
|       | 6.1      | Débil           | Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del concreto con velocidad lenta. Véase la Tabla 2.                                                | Instalaciones industriales con sustancias débilmente agresivas de acuerdo con la Tabla 2, construcciones en proximidades de área industriales, con agresividad débil según la Tabla 2. |
|       | 6.2      | Medio           | Elementos en contacto con el agua de mar. Elementos situados en ambiente con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar alteración del concreto con velocidad media, de acuerdo con la Tabla 2. | Estructuras marinas en general.<br>Instalaciones industriales con sustancias de agresividad media.                                                                                     |
|       | 6.3      | Fuerte          | Elementos expuestos a fuertes alteraciones del concreto. Véase Tabla 2.                                                                                                                                    | Instalaciones industriales con sustancias de alta agresividad, de acuerdo con la Tabla 2.<br>Instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales.                            |

Fuente: NTC – 5551 Durabilidad de estructuras de concreto, 2007

Esto tiene coherencia con lo argumentado por (Robin et al., 2005) *“La capa corroída aumentará desde el valor del ácido atacante en la superficie del hormigón hasta el pH de la solución de los poros en el interior del hormigón intacto, el cual su valor será aproximadamente*

*de pH 13. La capa corroída comprende zonas de composición y estructura variables determinadas por diferentes variaciones del pH de los productos, deshidratación y la solubilidad de los iones disueltos con respecto al pH.”* indica la naturaleza del concreto y su alcalinidad, *“Cuanto menor sea el pH de una solución acida más rápida será la afectación en la corrosión del cemento”* (Caijun Shia & Ja Stegemannb, 2000).

Por otra parte, cabe definir la corrosión como, *“la destrucción o deterioro continuo a través del tiempo de un material debido a una reacción química con el medio ambiente, donde se encuentra trabajando u operando el material en cuestión. Siendo este proceso acelerado por el oxígeno, el agua, los productos químicos o biológicos, la temperatura y el cambio en la composición fisicoquímica del material”* (Casallas & Salinas, 2006).

A su vez, durante la corrosión se genera *“la disolución de las fases solidas provocando aumento de la porosidad”* (Robin et al., 2005), por tanto, permite el avance de daño hacia el interior del concreto, generando tal como lo señala el autor *“la porosidad aumenta a medida que se elimina el calcio de la matriz sólida, lo que potencia el transporte de iones en la capa corroída, desde el punto de vista químico es simplemente el volumen de poros creado por la disolución del hidróxido de calcio contenidos en los productos de hidratación”*. (Robin et al., 2005).

Para abordar alteraciones en la pasta cementante se definió cemento portland como el producto que se obtiene para la pulverización del Clinker Pórtland con la adición de una o más formas de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionales deben ser pulverizados juntamente con el Clinker. (Norma Técnica Colombiana – 121, 1982).

Se abordó la durabilidad del concreto por alteraciones en la pasta cementante, por medio de un análisis en la descripción de los mecanismos de transporte de iones, humedad y gas, la degradación química, alteraciones microestructurales, ataques por sulfatos y mineralogía. El

concreto a pesar de ser un material altamente resistente a compresiones es susceptible a ataques químicos, fuego,  $\text{CO}_2$ , entre otros afectando su durabilidad entendiéndose como la capacidad que tienen las estructuras de concreto reforzado de conservar inalteradas sus condiciones físicas y químicas durante su vida útil cuando se ven sometidas a la degradación de su material por diferentes efectos de cargas y sollicitaciones, las cuales están previstas en su diseño estructural (Muñoz et al, 2012). Como resultado infieren que el costo real de la construcción con hormigón depende de la vida útil y las emisiones de  $\text{CO}_2$  asociados con la producción de cemento que deben reducirse, la vida útil es un factor importante para compensar emisiones asociadas con la producción, uso de cemento y mejorar la competitividad de la construcción. (Glasser, FP., 2008).

Se contempló la influencia del ataque químico combinado múltiple en el hormigón colado in-situ, siendo este el que se deposita y permite que endurezca en el sitio donde permanecerá en la estructura terminada. (Comité ACI 116R-0, 2000). Los parámetros que se evaluaron son los incrementos de masas, la resistencia a la compresión, concentración de sulfatos que permiten ver los cambios minerales y microestructurales en un periodo de tiempo determinado. Como resultado los cloruros internos retardan el proceso de desarrollo de la resistencia del concreto vaciado in situ e inducen más grietas y poros iniciales en el hormigón, facilitando la penetración de iones corrosivos externos en concreto interno. (Zhao GW, 2020). Los cloruros remezclados inducidos por el agua o las materias primas agravan el daño del hormigón colado in situ causado por múltiples ataques químicos combinados, mientras que los iones de magnesio coexistentes restringen la difusión de iones corrosivos externos y, por lo tanto, limitan la degradación inducida por ataques corrosivos. (Zhao GW, 2020). Sin embargo, este método de vaciado de concreto es el más común en la construcción.

Otro concepto por analizar y de gran relevancia para el proyecto de investigación es el de lixiviado, según (Raco et al. 2013), los lixiviados son fuente de sustancias químicas y biológicas altamente tóxicas, que pueden generar perjuicios en la salud humana y el ambiente, entre tanto (Pablos et al., 2011) establece que el mayor impacto ambiental de los lixiviados está asociado a la contaminación de fuentes de agua superficial y subterránea. Generalmente, los lixiviados se componen de una amplia gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos, que pueden ser clasificados en cuatro grupos (Kjeldsen et al. 2002; Wiszniowski et al. 2006; Aziz et al. 2010):

- materia orgánica disuelta (DQO, COT, AGV, ácidos húmicos y fúlvicos);
- macro componentes inorgánicos (Ca, Mg, Na, K,  $\text{NH}_4^+$ , Fe, Mn; Cl,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3^-$ );
- metales pesados (Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn)
- Compuestos xenobióticos (hidrocarburos aromáticos, fenoles, alifáticos clorados, pesticidas, plastificantes).

Otros compuestos pueden estar presentes en los lixiviados (boratos, sulfuros, arsenato, selenato, Ba, Li, Hg, Co), pero, normalmente, en concentraciones muy bajas (Ramírez - Sosa *et al.* 2013).

Es de gran importancia revisar la aplicación de la petrografía en estructuras de concreto de tal forma que ayude a identificar las características mineralógicas, químicas y microestructurales. También hacer la revisión de los métodos, técnicas y procedimientos para abordar el análisis de las muestras de concreto desde el muestreo hasta métodos de análisis estadísticos. (Poole A., & Sims I., 2015) Por medio de la aplicación de la norma ASTM C856-20 Análisis petrográfico de núcleos de concreto en bloque semipulido y sección delgada para hacer el contraste con normatividad vigente.

La cantidad de residuos generados por la sociedad está ligada estrechamente con su nivel económico; la mayoría de éstos son el resultado de los productos usados que, luego de cumplir la función para la que fueron adquiridos, se convierten en desechos denominados residuos sólidos urbanos- RSU (Shekdar, 2009), cuya eliminación adecuada es una necesidad y hace parte integral del entorno urbano y la planificación de la infraestructura, para garantizar un ambiente seguro y saludable, considerando la promoción del crecimiento económico sostenible (Karak et al. 2013).

El proyecto de investigación para el análisis del ataque químico se desarrollará en Corabastos, nodo logístico por excelencia en la seguridad alimentaria de Bogotá, esta Central abastece a gran parte de la ciudad de Bogotá con productos como frutas, verduras, lácteos, cárnicos, pescado, granos, abarrotos entre otros. Esta central presenta en la actualidad diversos tipos de problemas asociados con una gestión inadecuada de los residuos orgánicos a pesar de tener un contrato de manejo de residuos especializado donde se dispone más de 180 ton de residuos diarios.

Según Escalona (2014), describió que la repercusión de las causas de la mala disposición de los residuos en las capitales trae como consecuencia que las poblaciones eliminen incontroladamente los residuos en cualquier lugar, y su falta de conocimiento sobre los posibles daños que estos producen.

Entre tanto Acevedo (2007), planteó que, debido a la alteración del entorno por la incorporación de sustancias producidas por las actividades humanas de forma directa o indirecta, las cuales modifican el entorno natural, esto traerá consigo diferentes riesgos para la salud, por lo cual, es importante señalar que los problemas ambientales no son principalmente técnicos sino sociales.

Por otra parte, Mosquera (2009), señaló que los olores en el ambiente de los basureros causan molestias a los residentes y visitantes. Por lo tanto, Quintana (2013), prefirió realizar una propuesta de educación ambiental para la comunidad educativa en el manejo integrado de los residuos sólidos, con el fin de crear hábitos en la correcta separación en la fuente y que estos no generen daño en el ambiente.

La contaminación producida por residuos sólidos, vegetales, vertimientos y emisiones, tienen gran efecto negativo en la comunidad circundante. Generado la acumulación de residuos en las vías internas, así como la contaminación de las aguas lluvias, la obstrucción de redes y obras de captación, generación de malos olores, proliferación de plagas, contaminación de alimentos entre otros.

Este tipo de residuos biodegradable puede ser aprovechable a través del compostaje, pero está directamente relacionado con una cultura social que esté orientada a la correcta disposición de los residuos.

### **3. Marco Metodológico**

Este apartado define el método de investigación de conformidad con la naturaleza, el fin, el enfoque y el tipo de investigación. En primer lugar, el fin de la investigación toca los límites de las ciencias puras, en este caso la química, por tanto, se indagará sobre la composición fisicoquímica a través de experimentación para encontrar las reacciones que generan la degradación del concreto y comprender las causas raíz del daño, en tal sentido esta investigación entra al campo de la investigación aplicada.

#### **3.1 Enfoque de Investigación**

*“El enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar o verificar la teoría, con base en la medición numérica y el análisis estadístico. La ruta lógica del proceso es deductiva,*

*parte de la teoría de la cual se derivan las hipótesis”* (Creswell, J., 2013; Hernández, R. & Mendoza, C., 2018). Por tanto, el enfoque del trabajo es cuantitativo, puesto que se emplea un proceso a partir de una idea para posterior hacer la recolección de datos por medio de ensayos de laboratorio entre los que representan relevancia para el análisis así: petrografía para la descripción de los agregados pétreos del concreto, microscopia electrónica con la cual se determinará la profundidad del daño en la pasta cementante, espectroscopia electrónica para hallar la concentración de elementos químicos del concreto, análisis de pH con el fin de determinar el nivel de acidez del lixiviado y ensayos de compresión, muestra destructiva para determinar la posible variación de la resistencia entre una muestra sana y una afectada, con base en estos resultados realizar los respectivos análisis para la evaluación de la degradación del concreto tipo MR-45 en obras de infraestructura vial afectadas por ataques químicos ácidos (lixiviados), para lo cual se tomó la malla vial interna de Corabastos.

### **3.2 Tipo de Investigación**

En este proyecto de grado se empleará el tipo de investigación explicativa, los estudios explicativos van más allá de la descripción de fenómenos, conceptos o variables o del establecimiento de relaciones entre estas; están dirigidos a responder por las causas de los eventos fenómenos de cualquier índole (naturales, sociales, psicológicos, de salud, etc.). (Hernández, R., Mendoza, C., 2018). En este nivel de investigación la formulación de hipótesis es fundamental, la cual es la siguiente:

Los pavimentos rígidos sometidos a ataques químicos por lixiviados presentan degradación, corrosión y descalcificación.

### 3.3 Población y Muestra

La Corporación de Abastos de Bogotá (Corabastos) se convirtió en uno de los lugares más emblemáticos del país luego de ser el comercio que se encargó de distribuir la comida de una manera eficiente en los millones de habitantes en la capital a inicios de los años 70. Debido al éxito que se logró con este tipo de comercio en Bogotá, este modelo se replicó en las demás ciudades del país, asociando a ministerios, gobernaciones y empresas. Son una red logística de 14 centrales mayoristas, entre las que aparecen la Central Mayorista de Antioquia (CMA), la Central de Abastos del Caribe (Granabastos), la Central de Abastos del Valle del Cauca (Cavasa) y la Central Mayorista de Alimentos (Mercasa) de Pereira que comercializan al menos 29.830 toneladas de alimentos cada día, correspondientes a 52% de la producción nacional. (Rojas L, 2023).

Las centrales de abastecimiento de alimentos son entes que garantizan la seguridad alimentaria de un país (FAO, 2005), dicho esto la comercialización genera como resultado una serie de pérdidas habida cuenta de productos perecederos que no cuentan con el adecuado manejo de preservación ocasionando residuos orgánicos que de no ser manejados oportunamente deterioran la infraestructura vial donde son arrojados por los usuarios y/o comerciantes, siendo esta una característica propia en las centrales de abastecimiento en especial en las bodegas y áreas conexas donde se manejan frutas y verduras.

Para el caso de estudio se considera como población las principales centrales de abastecimiento quienes presentan situaciones similares con deterioros en el pavimento a causa de la manipulación inapropiada de los residuos, siendo científicamente explicadas por el daño que generan los lixiviados y son motivo de análisis en esta investigación.

La muestra objeto de estudio es de tipo discrecional seleccionando la Central de Corabastos basados en el conocimiento, experiencia y trazabilidad de la afectación objeto de este estudio. Adicionalmente, se cuenta con la facilidad en el acceso para las inspecciones, toma de muestras y seguimiento propios de la investigación.

La malla vial interna de Corabastos la cual tiene un área total de 206.272 m<sup>2</sup> de superficie, cuenta con 14318 unidades de losas en concreto tipo MR-45 en buen estado que representan el 77.54% de la malla vial y 4147 unidades de losas en concreto tipo MR-45 afectadas por el ataque químico (lixiviados) que representan el 22.46% de la malla vial, tal cual se evidencian en la Figura 1.



**Figura 1.** Losas afectadas en la central de Corabastos.  
Fuente: construcción propia.

Dicho ataque químico es el resultado ocasionado por el vertimiento de residuos orgánicos en descomposición especialmente tomate, cítricos, cebolla entre otros, generando degradación en

el concreto en un ambiente ácido con niveles de exposición de pH entre 3.5 y 5. En la figura 1, se muestra por medio de un levantamiento topográfico la caracterización de la zona de losas en buen estado y de la zona de losas afectadas representadas en color rojo. Para el análisis de la patología (losas afectadas), se tomó las muestras sobre los sectores representativos con mayor afectación, que para el caso pertenece a la vía 12 donde se comercializa el tomate y la naranja, el muestreo, resultados y análisis de resultados se desarrollaron para los periodos 2017, 2021 y 2023, los cuales se reportan en el capítulo 6.

### **3.4 Herramientas Para la Recolección de Información**

Según (Hernández, 1991), señala que para realizar una investigación es necesario aplicar técnicas y recopilación de datos, con el fin de expandir, definir y profundizar en el asunto de investigación.

El autor establece la observación como un tipo de instrumento en el cual el investigador realiza una observación cuidadosa en el marco de la experiencia, de tal forma que la observación incorpora un conjunto de métodos observados de datos y fenómenos.

Para esta investigación a nivel de ingeniería de pavimentos la observación a través de la auscultación permite evaluar el conjunto de daño ocasionado por la patología del ataque químico hacia el concreto y determinó las áreas de concentración de daño.

Así mismo, los ensayos de laboratorio para el análisis petrográfico de núcleos de concreto en bloque semipulido y sección delgada norma ASTM C856-20, ensayo de laboratorio para el análisis de microscopía electrónica de barrido SEM y espectroscopía por dispersión de energía de rayos x (EDX) norma ASTM C1723-16, ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto y ensayo para caracterización del lixiviado, ensayos propios que arrojarán

resultados que permitirán evaluar los daños, identificar la causa, el nivel de deterioro del pavimento, y a su vez son un instrumento de investigación experimental.

En este sentido se realiza la inspección del proyecto de manera general con los planos record que permite conocer sus características geométricas, entorno, arquitectura, urbanismo entre otros. Así mismo, se procederá a realizar un recorrido en campo con el objeto de auscultar e identificar las zonas afectadas y no afectadas por las patologías en estudio. Posteriormente, se seleccionará las zonas representativas que estén afectadas por el ataque químico y se tomarán núcleos de concreto para hacer la evaluación de las patologías, por medio de laboratorios, de igual manera se tomarán muestras del lixiviado existente sobre el corredor vial para su caracterización.

- Recorrido en sitio, auscultación para identificar las zonas afectadas por la patología del ataque químico por lixiviados y zonas en buen estado.



**Figura 2.** Losas de concreto en buen estado de la central de Corabastos.

Fuente: Construcción propia.



**Figura 3.** Losas de concreto afectadas por el ataque químico de la central de Corabastos.

Fuente: Construcción propia.

En la figura 2. Losas de concreto en buen estado de la central de Corabastos, se puede observar zonas que no han sido afectadas por el ataque químico puesto que están en las bodegas de almacenamiento de alimentos no precederos, ferreterías, bancos, entre otros. Y en la figura 3 zonas con losas afectadas por el ataque químico y se puede observar degradación en el concreto.

- En la zona afectada por el ataque químico se extrae núcleos de 4" de diámetro y en paralelo se toman muestras del lixiviado para su caracterización.



**Figura 4.** Extracción núcleo de concreto en losas afectadas de la central de Corabastos.  
Fuente: construcción propia.



**Figura 5.** Dimensionamiento de núcleo de concreto en losas afectadas  
Fuente: construcción propia.



**Figura 6.** Toma de lixiviado en zonas afectadas por ataque químico  
Fuente: construcción propia.

En la figura 4. Extracción núcleo de concreto en losas afectadas de la central de Corabastos y la figura 5. Dimensionamiento de núcleo de concreto en losas afectadas se muestra el procedimiento para la toma de los núcleos de concreto y dimensionamiento para posterior llevar a los ensayos de laboratorio. Por otra parte, en la figura 6. Toma de lixiviado en zonas afectadas por ataque químico, se observa el manejo inadecuado de los residuos que producen lixiviados en la superficie de circulación vehicular.

### 3.5 Fuentes de Información (Primarias y Secundarias)

Fuentes de información primaria:

- Observación
- Pruebas de experimentación (ensayos de laboratorio especializados)

Fuentes de información secundaria

- Revisión de artículos de revistas de investigación
- Libro de petrografía de hormigón, manual de petrografía de hormigón.
- ASTM C856-20 Análisis petrográfico de núcleos de concreto en bloque semipulido y sección delgada

- ASTM C1723-16 microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía por dispersión de energía de rayos (EDX)
- NTC-5551 Durabilidad del concreto
- Caracterización del lixiviado, Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales, método 4500-H+B.
- Norma INV-500 Pavimentos de concreto hidráulico

#### **4. Análisis de Resultados**

Este capítulo tiene como fin dar a conocer de manera detallada los resultados que se obtuvieron durante el proceso de investigación.

##### **4.1 Nivel de Daño del Concreto Tipo MR-45 a Causa del Ataque Químico**

Para determinar el nivel de daño del pavimento se realizó los siguientes ensayos de laboratorio:

##### ***4.1.1 Ensayo de Laboratorio Para el Análisis Petrográfico de Núcleos de Concreto en Bloque Semipulido y Sección Delgada Norma ASTM C856-20 Para los Años 2017, 2021 y 2023***

Este análisis permite establecer las propiedades físicas y químicas a nivel macroscópico y microscópico de materiales cementantes hidráulicos, como son el tipo de agregado, proporciones de mezcla, contenido de aire, presencia de minerales en la pasta cementante y la determinación de características químicas de posibles procesos degradativos de existir en la muestra.

**Tabla 2.**  
*Muestras de concreto*

| Muestra | Tipo de muestra | Diámetro (cm) | Longitud máxima (cm) | Cara superior      | Cara Inferior                                 | Año  |
|---------|-----------------|---------------|----------------------|--------------------|-----------------------------------------------|------|
| 12      | Núcleo completo | 10.1          | 30.6                 | Terminación rugosa | Terminación lisa con capa de mezcla asfáltica | 2017 |
| 13      | Núcleo completo | 10.1          | 28.4                 | Irregular          | Terminación lisa con capa de mezcla asfáltica | 2021 |
| 14      | Núcleo completo | 8.8           | 28                   | Terminación rugosa | Terminación lisa con capa de mezcla asfáltica | 2023 |

Fuente: Construcción propia

El procedimiento para el análisis consistió en tomar las muestras y cortarlas longitudinalmente en dos mitades. De las superficies resultantes en cada corte se tomó una, la cual se pulió generando el respectivo bloque semipulido, se examinó utilizando un estereomicroscopio, mientras que la otra mitad se cortó en pequeños bloques rectangulares de los cuales se extrajo de la parte superior una tableta que es sometida a varios procesos (figura 8. Muestra de núcleo de concreto 12, figura 9. Muestra de núcleo de concreto 13, figura 10. Muestra de núcleo de concreto 14) para obtener finalmente la sección delgada que se examinó con un microscopio de luz polarizada para estudiar la mineralogía y la microestructura de la muestra (figuras 7, 8, 9,).



**Figura 7.** Muestra de núcleo de concreto 12, vistas laterales, superior e inferior. Los puntos amarillo y rosado muestran la orientación de los cortes, (2017).

Fuente: construcción propia.



**Figura 8.** Muestra de núcleo de concreto 13, vistas laterales, superior e inferior. Los puntos amarillo y rosado muestran la orientación de los cortes, (2021).

Fuente: construcción propia.



**Figura 9.** Muestra de núcleo de concreto 14, vistas laterales, superior e inferior. Los puntos amarillo y rosado muestran la orientación de los cortes, (2023).

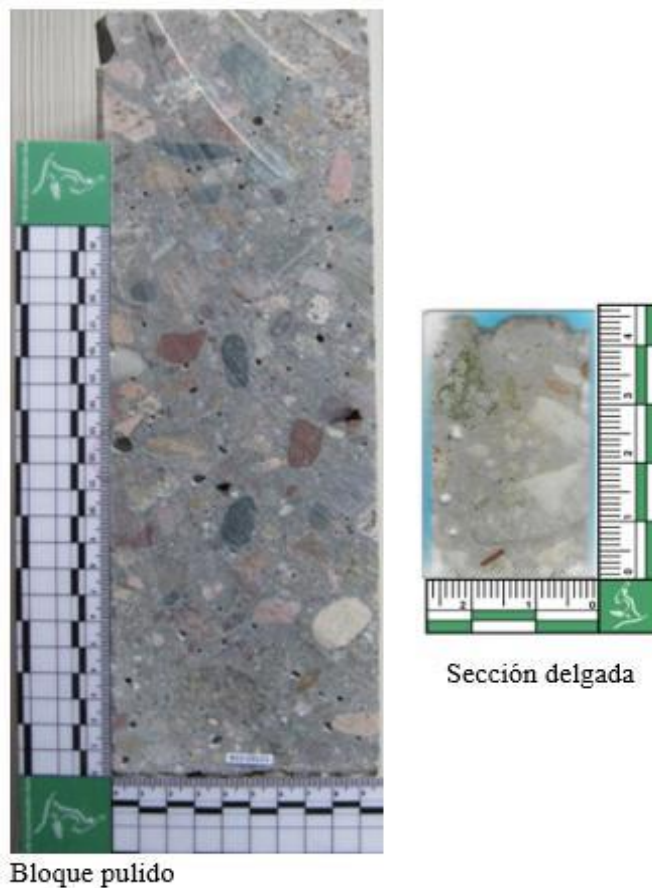
Fuente: construcción propia.

Para obtener la sección delgada de la muestra se debe seguir una serie de pasos, los cuales son los siguientes:

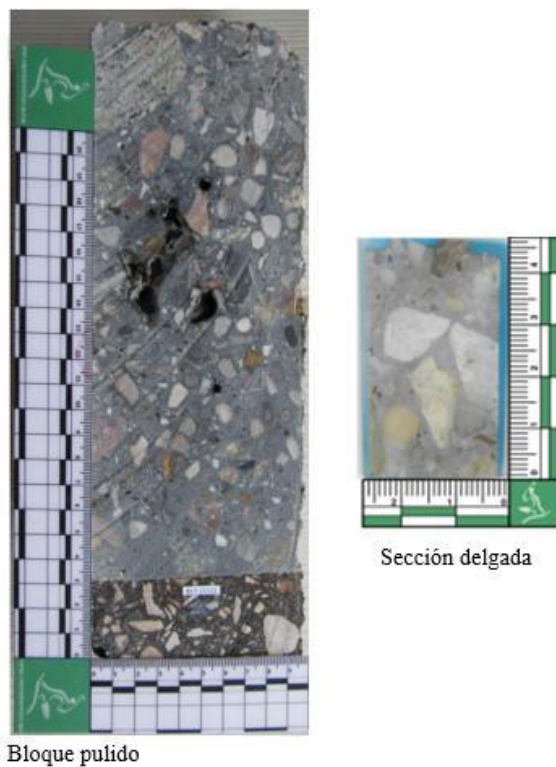
1. Obtención de la muestra
2. Tinturación (Se toma la muestra y se le inyecta una resina epóxica de color azul con el propósito de aumentar la cohesión, permitir un mejor desarrollo en la elaboración de la

sección y facilitar el reconocimiento de la porosidad, los vacíos y micro fisuras en la muestra.

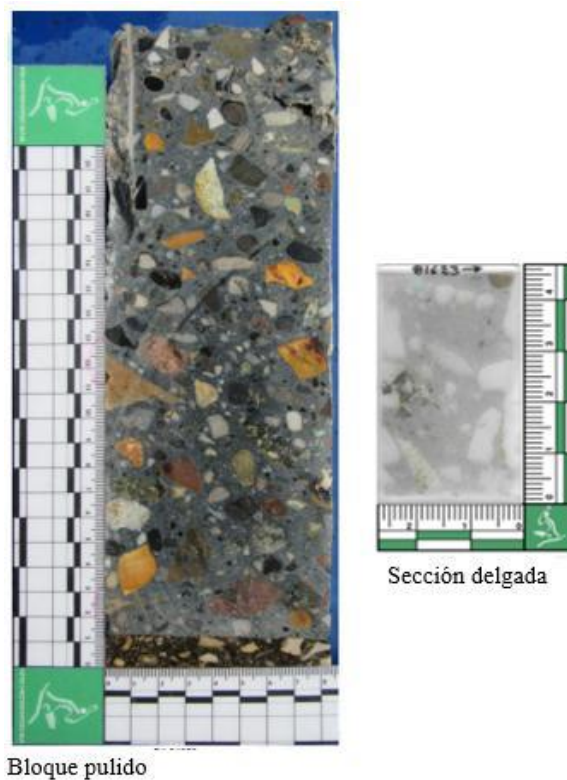
3. Impregnación
4. Pegado provisional
5. Desbaste con disco diamantado
6. Pulido con abrasivo #300, #600 y # 1000.
7. Pegado final
8. Desbaste con disco diamantado
9. Pulido con abrasivo #600 y # 1000.
10. Petrografía



**Figura 10.** Bloque pulido y sección delgada del núcleo de concreto, muestra 12 (2017).  
Fuente: construcción propia.



**Figura 11.** Bloque pulido y sección delgada del núcleo de concreto, muestra 13 (2021).  
Fuente: construcción propia.

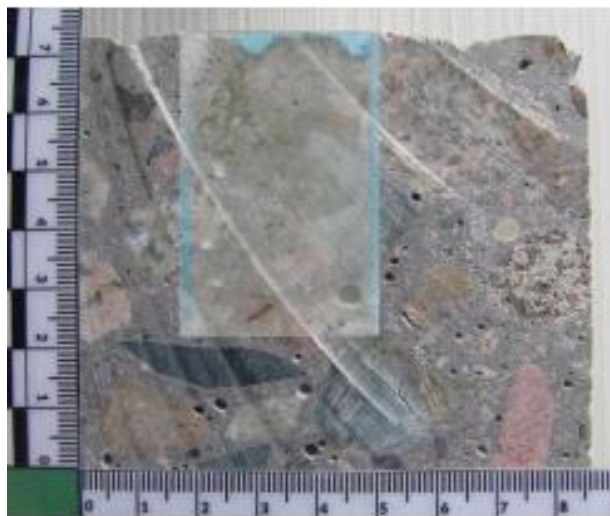


**Figura 12.** Bloque pulido y sección delgada del núcleo de concreto, muestra 14 (2023).  
Fuente: construcción propia.

El análisis petrográfico del bloque pulido se llevó a cabo con estéreo microscopio Optiks XTL. Para la toma de imágenes se empleó una cámara Nikon modelo coolpix 955 de alta resolución adaptada a un estéreo microscopio Nikon SMZ 800 C-DS, para el análisis microscópico de la sección delgada se llevó a cabo con microscopio de luz transmitida. Para la toma de imágenes se empleó una cámara olympus modelo DP-12 adaptada al microscopio.

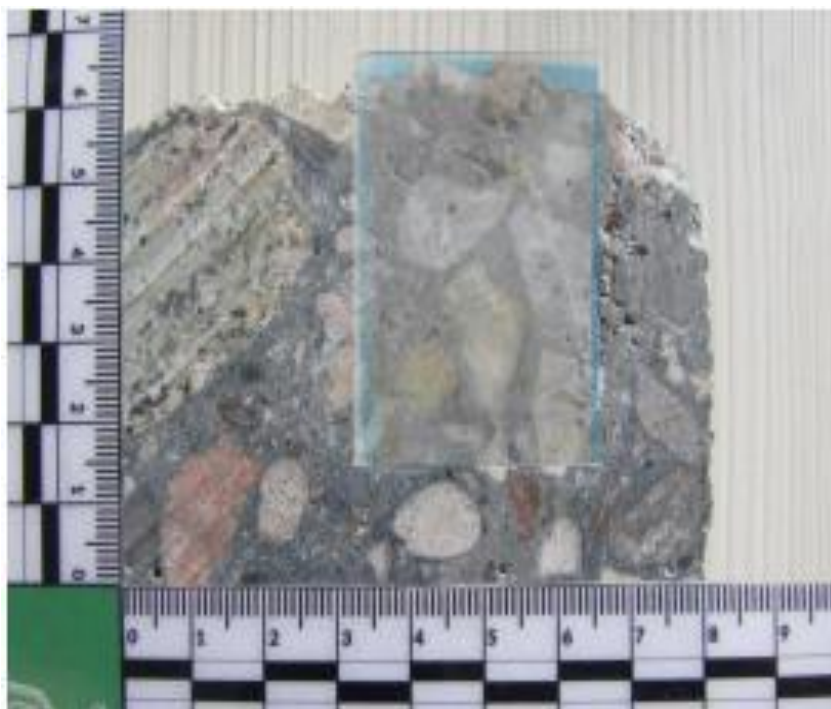
Se determinó todos los rasgos importantes en el bloque semipulido y sección delgada, mediante un conteo de 700 puntos en el bloque semipulido y 300 puntos en la sección delgada sobre líneas horizontales y verticales espaciadas 2.5 mm en el bloque y 1 mm en la sección delgada. Lo anterior para las muestras 12 (año 2017) y 13 año (2021). Para la muestra 14 año (2023), se determinó todos los rasgos importantes en el bloque semipulido y sección delgada, mediante un conteo de 500 puntos en el bloque semipulido y 300 puntos en la sección delgada sobre líneas horizontales y verticales espaciadas 2.5 mm en el bloque y 1 mm en la sección delgada.

Para el desarrollo del laboratorio se realizó la caracterización petrográfica por medio de la descripción cualitativa y cuantitativa de la muestra en sección delgada y en bloque semipulido para cada año en estudio.

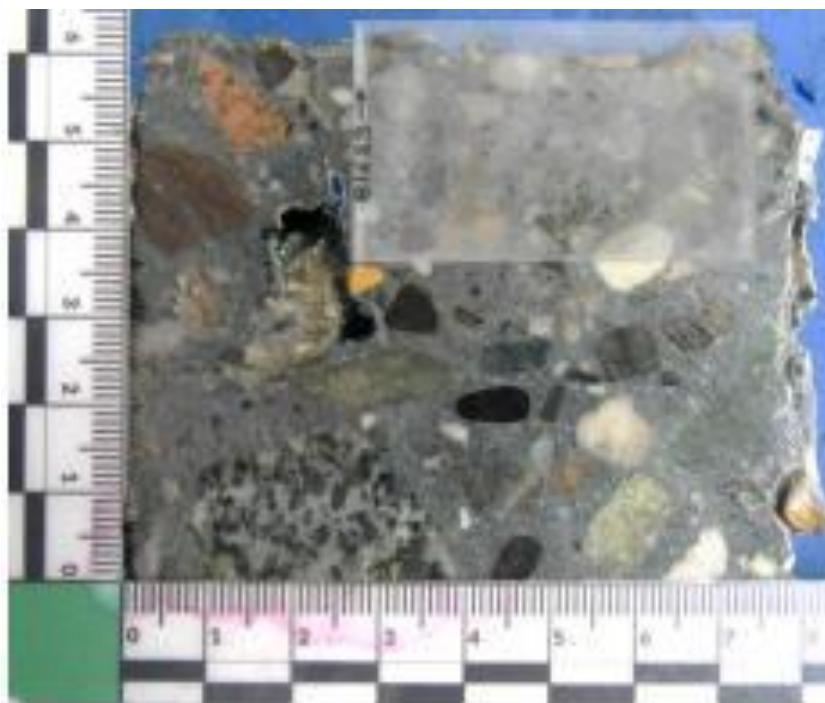


**Figura 13.** Parte superior del bloque semipulido de la muestra 12, (2017). Textura y distribución de los diferentes componentes de la muestra y localización de la sección delgada.

Fuente: construcción propia.



**Figura 14.** Parte superior del bloque semipulido de la muestra 13, (2021). Textura y distribución de los diferentes componentes de la muestra y localización de la sección delgada.  
Fuente: construcción propia.



**Figura 15.** Parte superior del bloque semipulido de la muestra 14, (2023). Textura y distribución de los diferentes componentes de la muestra y localización de la sección delgada.  
Fuente: construcción propia.

**Tabla 3.***Volumen de constituyentes principales resultado del conteo de bloque semipulido*

|                   | Muestra | Agregado grueso (%) | Agregado fino (%) | Pasta ** (%) | Vacíos (%) | Grietas (%) | Acero de refuerzo (%) | Total (%) |
|-------------------|---------|---------------------|-------------------|--------------|------------|-------------|-----------------------|-----------|
| Bloque semipulido | 12      | 51.9                | 16                | 30.3         | 1.7        | 0           | 0                     | 199.9     |
|                   | 13      | 28.4                | 21.6              | 49.2         | 0.8        | 0           | 0                     | 200       |
|                   | 14      | 26.8                | 30.5              | 39.7         | 3          | 0           | 0                     | 100       |

Agregado grueso (partículas con tamaños que equivalen a retenido en el tamiz No 4)

Agregado fino (partículas con tamaños que equivalen a pasa tamiz No 4 hasta No 50)

Pasta cementante y agregado muy fino (partículas con tamaños que equivalen a pasa tamiz No 50)

|                 | Muestra | Pasta * (%) | Agregados ** (%) | Vacíos (%) | Otros (%) | Microporosidad / Microgrietas | Total (%) |
|-----------------|---------|-------------|------------------|------------|-----------|-------------------------------|-----------|
| Sección delgada | 12      | 29.3        | 66.3             | 1          | 2.9       | 0.5                           | 199.9     |
|                 | 13      | 24          | 70.4             | 0.4        | 3         | 2.1                           | 199.9     |
|                 | 14      | 44.3        | 51.7             | 0.5        | 2.5       | 1                             | 100       |

Pasta cementante \*

Agregado grueso, fino y muy fino \*\*

Fuente: Construcción propia.

**Tabla 4.**  
*Condiciones generales de las muestras*

|                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |              |                     |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------|
| Orientación         | Las muestras de concreto corresponde a un núcleo tomado a través de un pavimento y tienen las siguientes dimensiones:                                                                                                                                                                                                        |              |                     |
|                     | Muestra                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Diámetro (m) | Longitud máxima (m) |
|                     | 12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0.101        | 0.306               |
|                     | 13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0.101        | 0.284               |
|                     | 14                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0.88         | 0.244               |
| Superficies         | Las muestras 12 (2017), 13 (2021) y 14 (2023) presentan en la parte superior una superficie irregular y en la parte inferior presenta una terminación lisa en contacto con una capa de mezcla asfáltica.                                                                                                                     |              |                     |
| Composición general | En general en muestras 12 (2017), 13 (2021) y 14 (2023) el concreto es duro y compacto                                                                                                                                                                                                                                       |              |                     |
| Segregación         | No se observó segregación en las muestras                                                                                                                                                                                                                                                                                    |              |                     |
| Forma               | El agregado grueso de las muestra 12 (2017), 13 (2021) y 14 (2023) corresponde a grava de origen natural con formas subangulares a subredondeado y subdiscoidales a subprismoidales. El agregado fino corresponde a arena de origen natural presenta formas subangulares a subredondeadas y subdiscoidales a subprismoidales |              |                     |
| Gradación           | En general se observa una buena gradación con un tamaño nominal superior de 25 mm que equivale al tamiz N° 1 para las tres muestras en los diferentes años                                                                                                                                                                   |              |                     |
| Distribución        | Los agregados están relativamente bien distribuidos                                                                                                                                                                                                                                                                          |              |                     |

Fuente: Construcción propia.

Continuación de la **Tabla 4.**  
**Condiciones generales de las muestras**

|                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                             |                 |                 |  |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|--|
| Contacto pasta agregado | En general los agregados se encuentran bien adheridos a la pasta cementante en las tres muestras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                             |                 |                 |  |
| Composición             | El agregado grueso corresponde principalmente a fragmentos de roca de origen ígneo seguido por agregados de origen sedimentario, principalmente fragmentos de tobas, cuarzo monzonitas cherts, andesitas basálticas y areniscas muy finas. Mientras que el agregado fino está compuesto por fragmenos de cuarzo y plagioclasa, entre otros. En la siguiente tabla se especifica la composición de los agregados en la muestra: |                                                                                                                                                                                             |                 |                 |  |
|                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | (%) M 12 (2017)                                                                                                                                                                             | (%) M 13 (2021) | (%) M 14 (2023) |  |
|                         | Toba sílicea                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 38.2                                                                                                                                                                                        | -               | -               |  |
|                         | Cuarzo monzonita                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 23.5                                                                                                                                                                                        | 51.2            |                 |  |
|                         | Chert                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 7.4                                                                                                                                                                                         | 9.1             | 1.9             |  |
|                         | Plagioclasa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 5.9                                                                                                                                                                                         | -               | -               |  |
|                         | Cuarzo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 5.1                                                                                                                                                                                         | 7.3             | 16.2            |  |
|                         | Esquistos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 4.4                                                                                                                                                                                         | -               | -               |  |
|                         | Cuarzo con extinción ondulante                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 3.7                                                                                                                                                                                         | -               | -               |  |
|                         | Arcillolita                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | -                                                                                                                                                                                           | -               | 1               |  |
|                         | Arenisca ferruginosa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | -                                                                                                                                                                                           | -               | 1               |  |
|                         | Arcosa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2.9                                                                                                                                                                                         | 2.4             |                 |  |
|                         | Andesita - Basalto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 2.9                                                                                                                                                                                         | 13.4            |                 |  |
|                         | Metarenisca                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | -                                                                                                                                                                                           | -               | 4.8             |  |
|                         | Granito                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | -                                                                                                                                                                                           | -               | 5.7             |  |
|                         | Limolita                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | -                                                                                                                                                                                           | -               | 8.6             |  |
|                         | Limolita arcillosa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 1.5                                                                                                                                                                                         | -               |                 |  |
|                         | Limolita Sílicea                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | -                                                                                                                                                                                           | -               | 3.8             |  |
|                         | Arenisca muy fina                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1.5                                                                                                                                                                                         | 11              | 53.3            |  |
|                         | Arenisca sílicea                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | -                                                                                                                                                                                           | 4.3             |                 |  |
|                         | Cuarcita                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | -                                                                                                                                                                                           | 1.2             |                 |  |
|                         | Tonalita                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 0.7                                                                                                                                                                                         | -               | 2.9             |  |
|                         | Cataclasita                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0.7                                                                                                                                                                                         | -               | -               |  |
|                         | Metatonalita                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.7                                                                                                                                                                                         | -               | -               |  |
|                         | Basalto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 0.7                                                                                                                                                                                         | -               | -               |  |
|                         | Plagioclasa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | -                                                                                                                                                                                           | -               | 1               |  |
|                         | Total                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 99.8                                                                                                                                                                                        | 99.9            | 100.2           |  |
|                         | Alteración                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | En la muestras 12 (2017), 13 (2021) y 14 (2023) se observó en algunos agregados la formación de algunos minerales arcillosos y presencia de óxidos producto de reacciones por meteorización |                 |                 |  |
|                         | Porosidad                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | No se observó porosidad en los agregados en ninguna de las muestras                                                                                                                         |                 |                 |  |
|                         | Contaminación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | No se observó ninguna contaminacion en ninguna de las muestras                                                                                                                              |                 |                 |  |
|                         | Otras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | No se observó bordes de reacción ni evidencia de reacción álcali - agregado (RAA)                                                                                                           |                 |                 |  |
|                         | Características                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | No se observó revestimientos o incrustaciones perjudiciales                                                                                                                                 |                 |                 |  |

Fuente: Construcción propia.

**Tabla 5.**  
**Vacíos y microporos**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Las muestras 12, 13 y 14 de concreto analizadas por estimación visual presentan menos del 2%, 1% y 3% de vacíos de aire respectivamente. En la siguiente tabla se especifica el contenido de vacíos calculado por conteo de puntos en los bloques semipulidos y en la sección delgada |                                                                                                                                                                                                                          |
| Contenido de vacíos y microporos                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
| Forma                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Las muestras 12, 13 y 14 presentan formas esféricas a sub esféricas                                                                                                                                                      |
| Distribución                                                                                                                                                                                                                                                                          | Para las muestras 12 (2017), 13 (2021) Los vacíos se encuentran distribuidos en toda la masa del concreto. En la muestra 14 (2023) se observó una concentración de vacíos de gran tamaño en la parte superior del núcleo |
| Depósitos secundarios                                                                                                                                                                                                                                                                 | Para las tres muestras los vacíos están libres de depósitos secundarios.                                                                                                                                                 |
| La presencia de microporos y capilares varía en la muestra, como se puede observar en la siguiente tabla                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                          |
| Microporos y capilares                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
| Se detalla una concentración de microporos y microgrietas en la zona más cercana a la exposición al ambiente agresivo                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                          |
| El tamaño de los vacíos varía en la muestra. En la siguiente tabla se especifica el tamaño de vacíos observados en el bloque semipulido                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                          |
| Tamaño                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
| Para las muestras 13 (2021) y 14 (2023) se observó vacío de hasta 2 cm de diámetro.                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                          |

Fuente: Construcción propia

**Tabla 6.**  
**Grietas y microgrietas**

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Muestra 12 (2017) | No se observó la presencia de grietas y microgrietas en la muestra                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Muestra 13 (2021) | Se observó la presencia de microgrietas en un porcentaje de 1.3 % en sección delgada que se encuentran atravesando la pasta cementante, la interface pasta - agregado.                                                                                                                                                       |
| Muestra 14 (2023) | Se observó la presencia de microgrietas en un porcentaje de 0.8% en sección delgada. La muestra presenta varias microgrietas en la zona de la pasta cementante más expuesta al ambiente agresivo.<br>En el análisis microscópico se observó que se encuentran atravesando la pasta cementante, la interface pasta – agregado |

Fuente: Construcción propia

**Tabla 7.**  
**Pasta cementante**

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Color         | En la muestra 12 (2017) se observó cambios de tonalidad desde la superficie hacia el interior del núcleo. A nivel macroscópico se distinguen dos zonas; la primera hacia la parte superior hasta una profundidad de 2 mm presentando un color gris verdoso y la segunda zona adyacente a la primera y en el resto del núcleo con una tonalidad gris verdoso claro. A nivel microscópico en general exhibe un color marrón claro (primera zona) a un marrón oscuro (segunda zona)                                                              |
|               | En la muestra 13 (2021) se observó cambios de tonalidad desde la superficie hacia el interior del núcleo. A nivel macroscópico se distinguen tres zonas; la primera hacia la parte más superior hasta una profundidad de 0.4 mm presentando una tonalidad gris muy claro, la segunda zona adyacente a la primera y hasta una profundidad de 1.2 mm con una tonalidad gris claro y la tercera adyacente a la segunda y en el resto del núcleo con una tonalidad gris verdoso. A nivel microscópico en general exhibe un color amarilloso       |
|               | En la muestra 14 (2023) se puede observar cambios de tonalidad desde la superficie hacia el interior del núcleo. A nivel macroscópico se distinguen tres zonas; la primera hacia la parte más superior hasta una profundidad de 0,7 mm presentando una tonalidad gris muy claro, la segunda zona adyacente a la primera y con un espesor de 1,1 mm con una tonalidad gris oliva claro y la tercera adyacente a la segunda y en el resto del núcleo con una tonalidad gris verdoso. A nivel microscópico en general exhibe un color amarilloso |
| Dureza        | Moderadamente dura para las tres muestras.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Lustre        | Opaco en todo el núcleo para las tres muestras.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Carbonatación | Se observó en la muestra 12 (2017) que la pasta cementante se encuentra carbonatada, la cual se caracterizan por presentar una textura densa. Este fenómeno se observa hasta 2 mm de profundidad (medida tomada desde la cara superior del núcleo)                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|               | Se observó en la muestra 13 (2021) que la pasta cementante se encuentra corroída (se caracteriza por tener una textura isotrópica) y luego carbonatada (la cual se caracteriza por presentar una textura densa). Estos dos fenómenos se observan hasta 1.6 mm de profundidad (medidos desde la capa superior del núcleo)                                                                                                                                                                                                                      |
|               | Se observó en la muestra 14 (2023) que la pasta cementante se encuentra corroída (que se caracteriza por tener una textura isotrópica), luego carbonatada (la cual se caracterizan por presentar una textura densa) y finalmente con una concentración de microcristales de portlandita. Estos fenómenos se observan hasta 1,8 mm de profundidad (medida tomada desde la cara superior del núcleo).                                                                                                                                           |

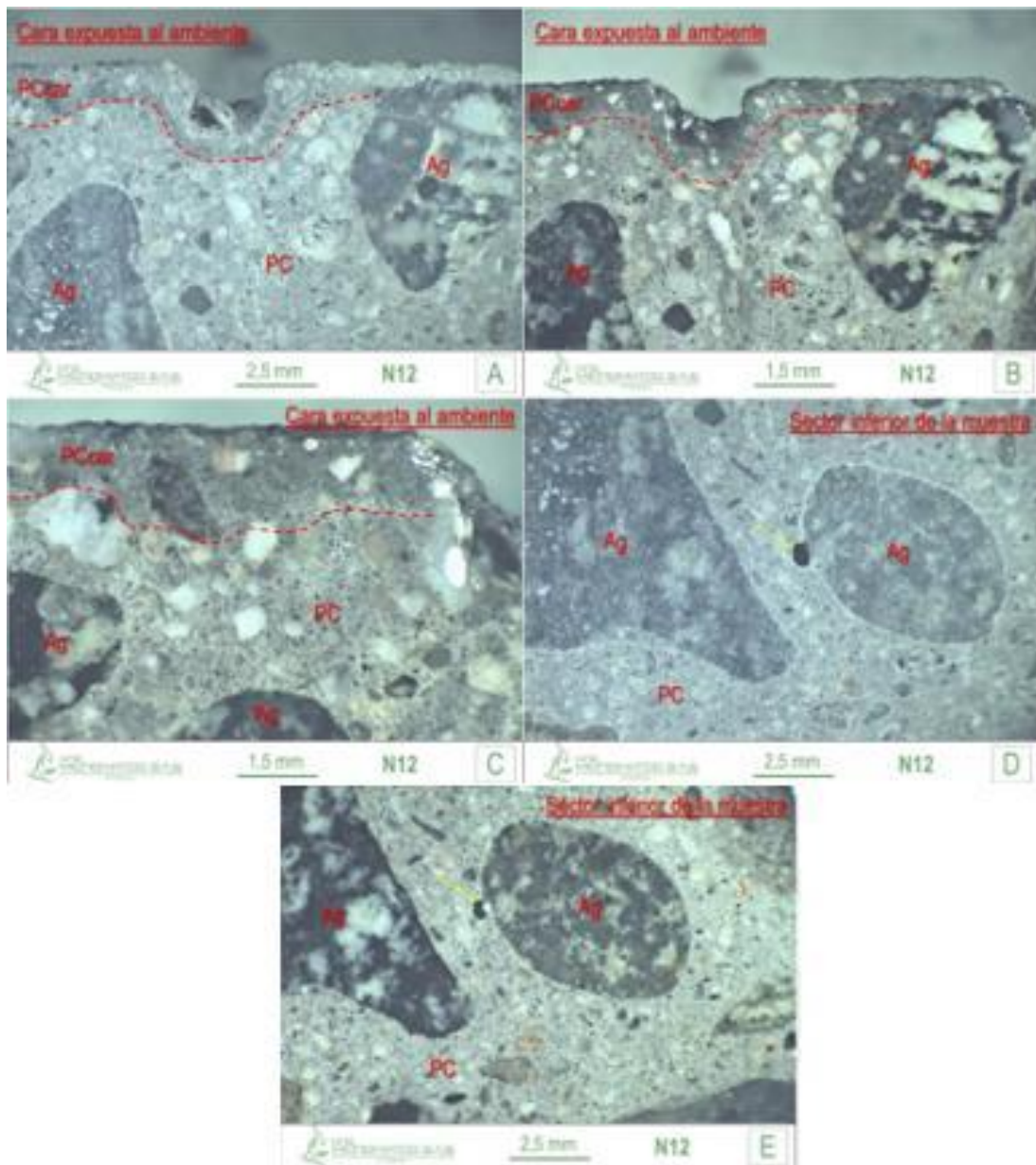
Fuente: Construcción propia

Continuación **Tabla 7.****Pasta cementante**

En general, en las muestras en los sectores donde se observa carbonatación la textura es densa, con una alta presencia de cristales de hidróxido de calcio. En la zona donde la pasta se encuentra corroída se observa una matriz isotrópica con grupos grandes de cristales de calcita en forma de roseta o "palomita de maíz". Finalmente donde la pasta cementante no se encuentra afectada y esta sana, los compuestos de cemento no hidratado e hidratado se encuentran distribuidos de manera regular. En la siguiente tabla se especifica la proporción de estas partículas en las muestras 12, 13 y

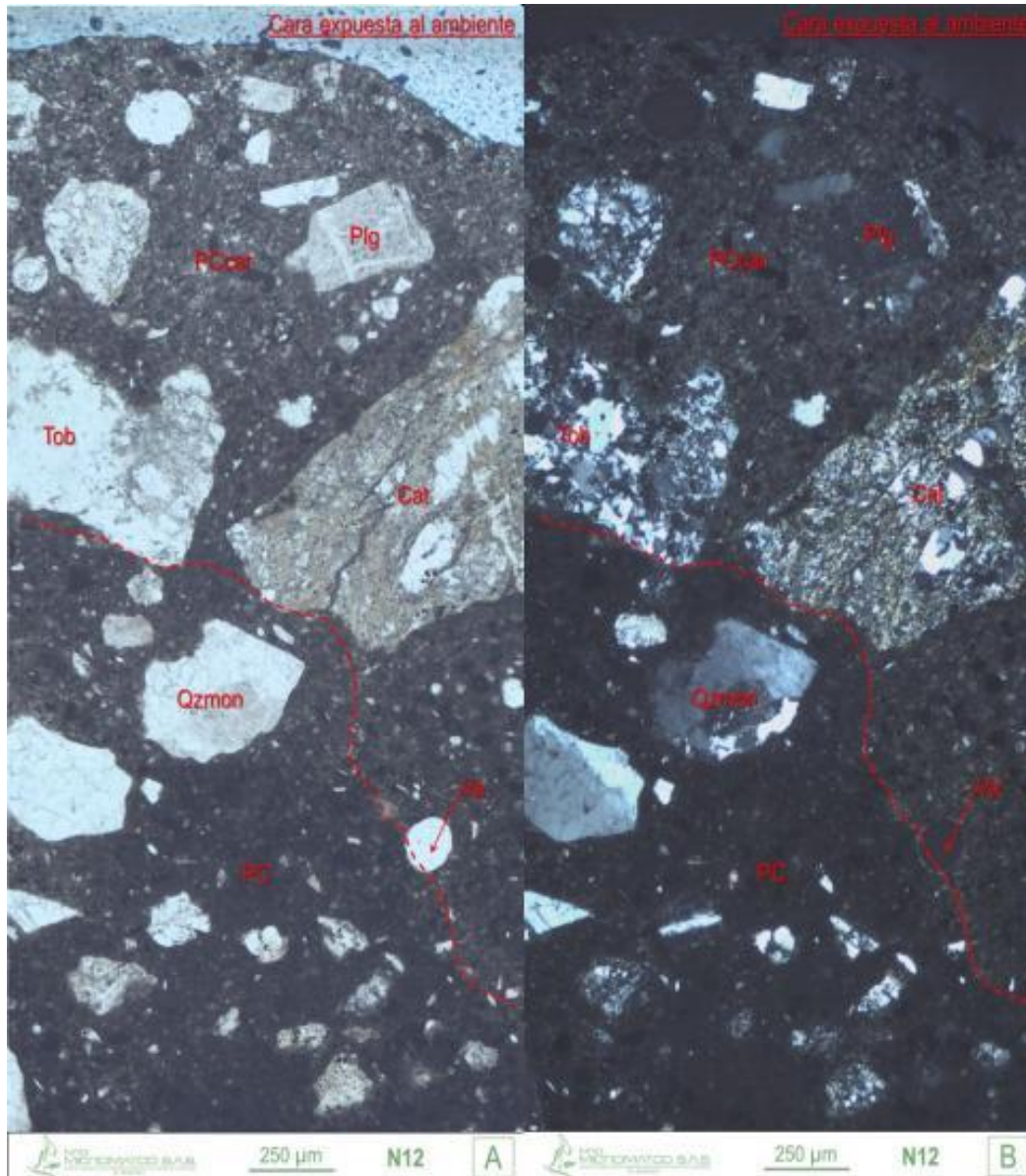
| Composición           | Constituyentes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Composición pasta cementante en la sección analizada |              |              |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------|--------------|
|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Muestra 12                                           | Muestra 13   | Muestra 14   |
|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | % partículas                                         | % partículas | % partículas |
|                       | Alita                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1.7                                                  | 1.8          | 8.9          |
|                       | Minerales de Belita                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 3.3                                                  | 8.9          | 13.3         |
|                       | cemento no Ferrita                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0                                                    | 0            | 0            |
|                       | hidratado Clinker residual                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 25                                                   | 26.8         | 16.7         |
|                       | Subtotal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 30                                                   | 37.5         | 38.9         |
|                       | Minerales de Gel de Tobemmorita                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 56.7                                                 | 39.3         | 41.1         |
|                       | cemento Portlandita / Carbonatación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 13.3                                                 | 12.5         | 7.8          |
|                       | hidratado Subtotal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 70                                                   | 51.8         | 48.9         |
|                       | Otros Pasta corroída                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | -                                                    | 10.7         | 12.2         |
|                       | Total                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 100                                                  | 100          | 100          |
| Adiciones muestra 12  | Presencia de cenizas volantes (0.5 %) y de inquemados (2.4%) como adición a la mezcla                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                      |              |              |
| Adiciones muestra 13  | Presencia de cenizas volantes (0.2 %) y de inquemados (1.9%) como adición a la mezcla                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                      |              |              |
| Adiciones muestra 14  | Presencia de cenizas volantes (0.5 %) y de inquemados (2%) como adición a la mezcla                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                      |              |              |
| Reacciones deletéreas | No se observó en ninguna de las muestras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                      |              |              |
| Presencia de sulfatos | No se observó en ninguna de las muestras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                      |              |              |
| Grado de hidratación  | No se estimó el grado de hidratación debido al fenómeno de carbonatación presente en las muestras 12 (2017) y 13 (2021). Para la muestra 14 (2023), en los sectores con una profundidad mayor a 2,5 mm (descartando la zona afectada por la exposición al agente agresivo), y al recalcular el contenido de minerales de cemento no hidratado e hidratado (55,7%), se observó un bajo a moderado contenido de compuestos de cemento hidratados. Se puede relacionar que la muestra de concreto tiene un bajo a moderado grado de hidratación. |                                                      |              |              |

Fuente: Construcción propia



**Figura 16.** Microfotografías bajo el estéreo microscopio de la muestra 12 (2017) en corte desde la cara superior expuesta al ambiente.  
Fuente: construcción propia.

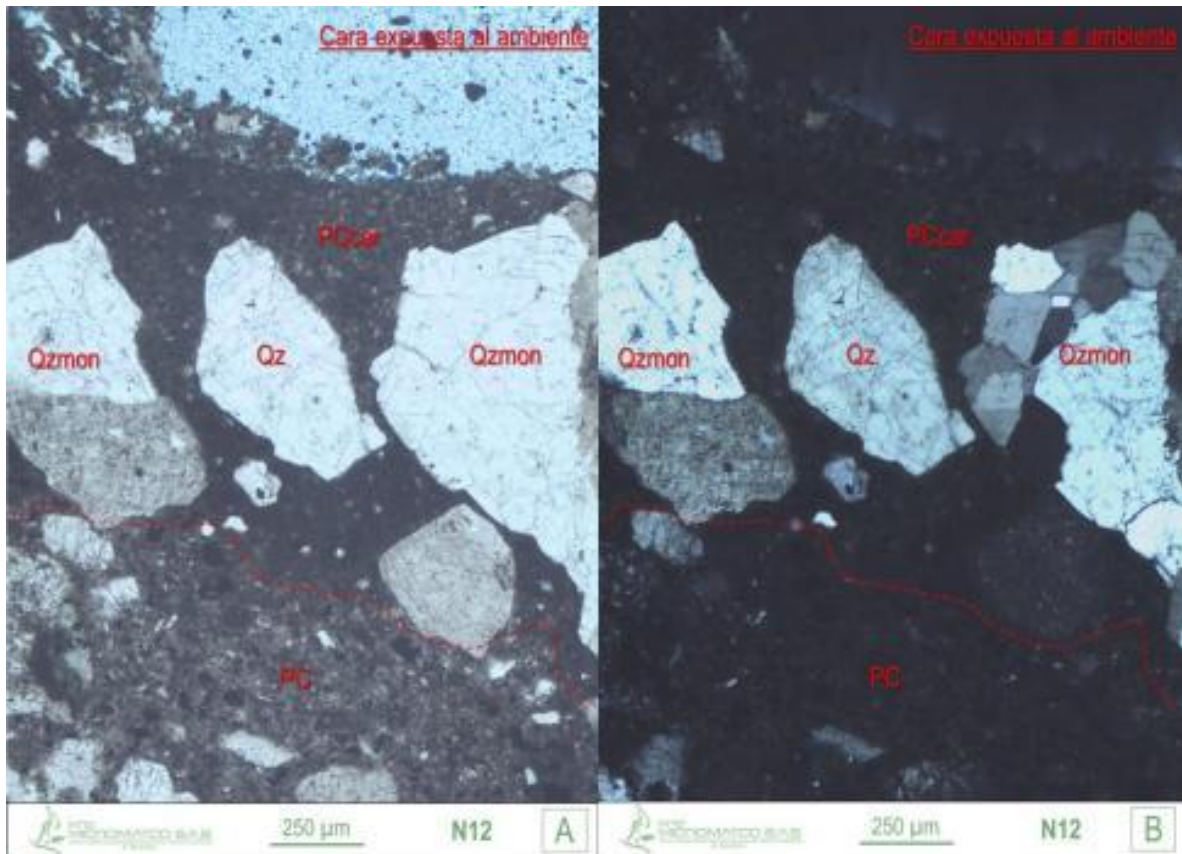
Se detalló la textura y color de la pasta cementante en la parte superior (A, B, C y D) e inferior (E) de la muestra. Se resaltó la distribución de los agregados gruesos y finos (Ag), de los vacíos (flechas de color amarillo), la textura y el color de la pasta cementante carbonatada (PCcar) y de la pasta cementante sana (PC), además del frente de carbonatación (línea punteada de color rojo) (Superficie seca: A y D) (Superficie húmeda para contraste: B, C y E).



**Figura 17.** Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente de la muestra 12 (2017).

Fuente: construcción propia.

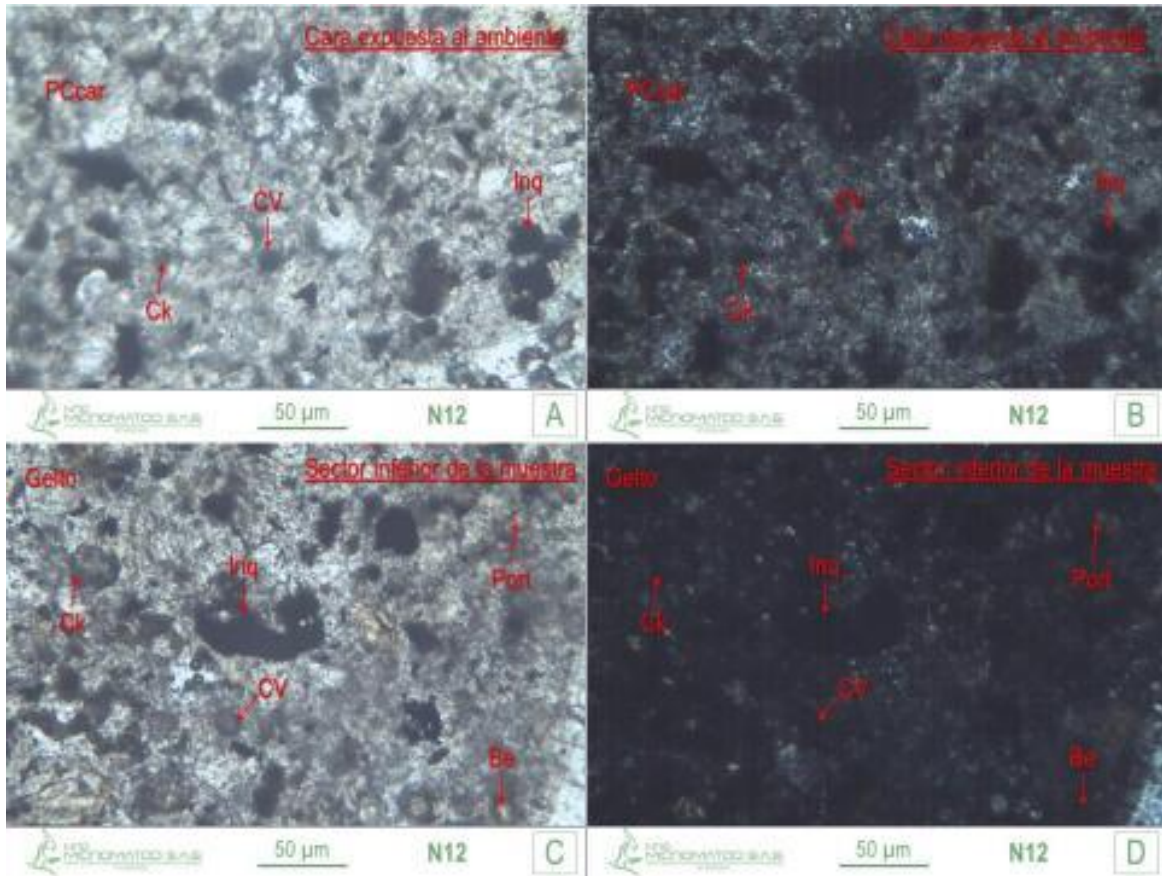
En la figura 17, se resaltó la composición de algunos agregados gruesos y finos tales como toba (Tob), cataclasita (Cat), cuarzo monzonita (Qzmon) y plagioclasa (Plg), además de la presencia de vacíos (Va) y la textura y color de la pasta cementante carbonatada (PCcar) en la parte superior de la muestra, del frente de carbonatación (línea punteada de color rojo) y de la textura y el color de la pasta cementante sana (PC), vistas con nicols paralelos y nicols cruzados, respectivamente (A y B).



**Figura 18.** Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente de la muestra de concreto 12 (2017)

Fuente: construcción propia.

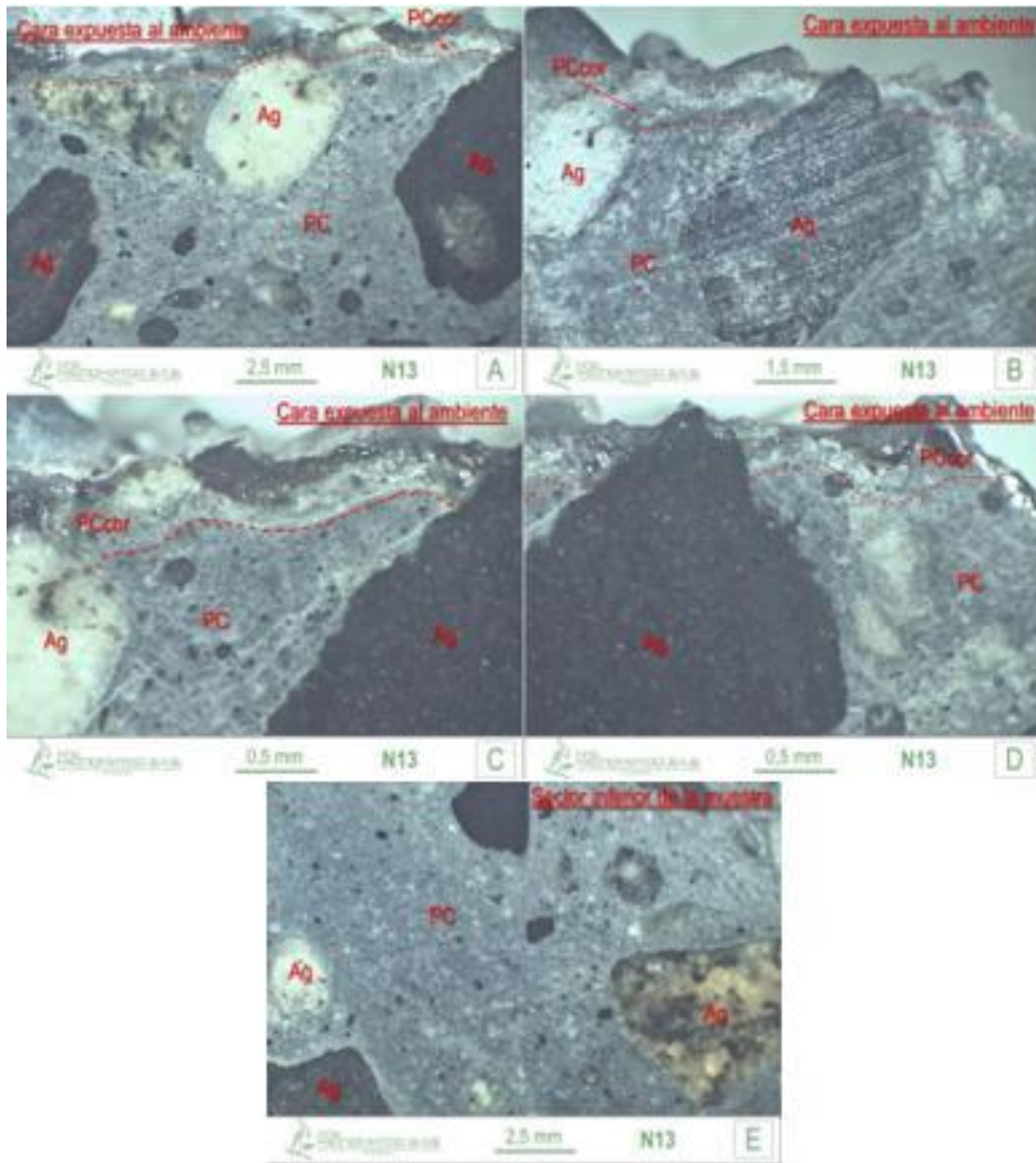
En la figura 18, se resaltó la composición de algunos agregados gruesos y finos tales como cuarzo monzonita (Qzmon) y cuarzo (Qz), además de la textura y color de la pasta cementante carbonatada (PCcar) en la parte superior de la muestra, del frente de carbonatación (línea punteada de color rojo) y de la textura y el color de la pasta cementante sana (PC), vistas con nicols paralelos y nicols cruzados, respectivamente (A y B).



**Figura 19.** Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente de la muestra de concreto 12 (2017).

Fuente: construcción propia.

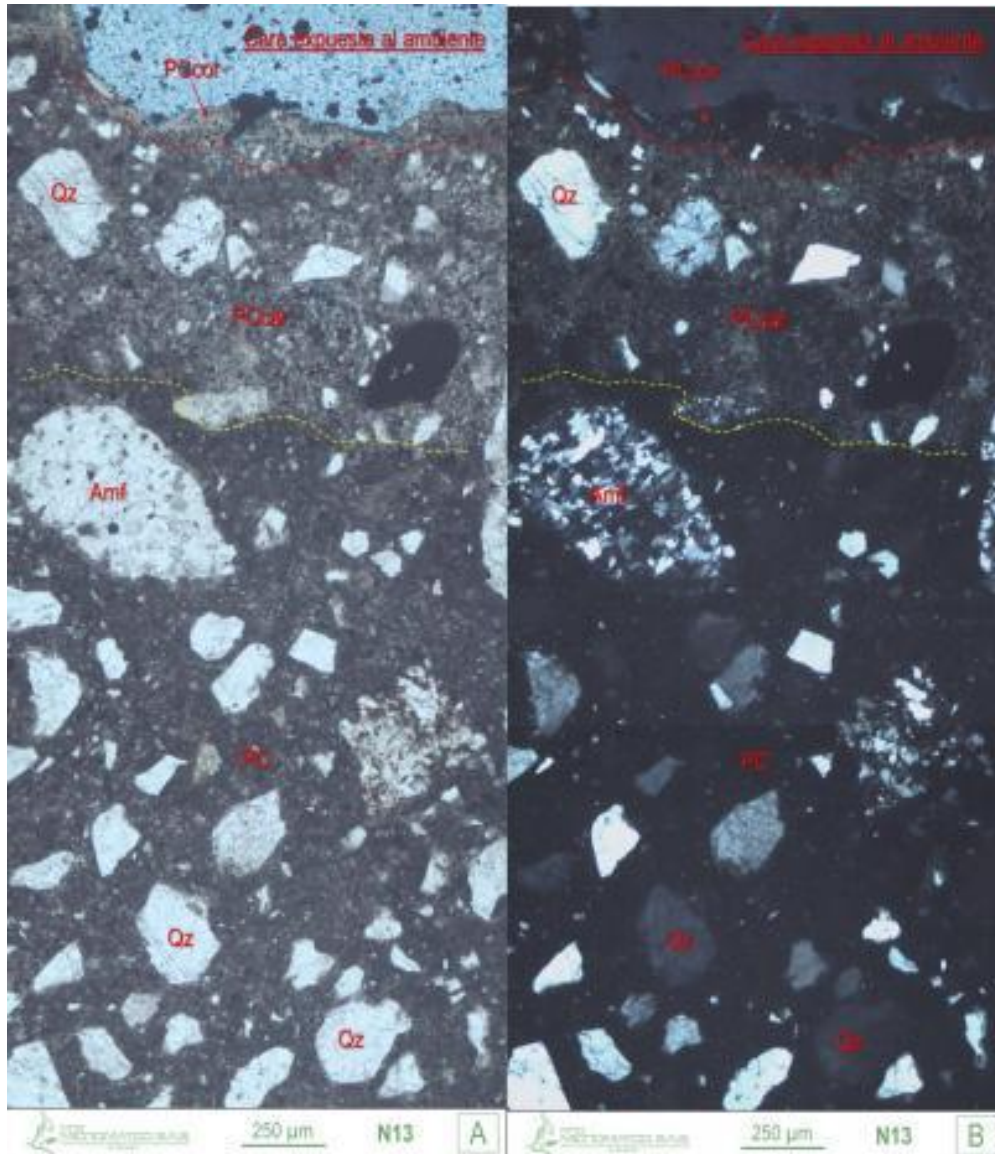
En la figura 19, se resaltó la textura de la pasta cementante carbonatada (PCcar) en la parte superior de la muestra (A y B) y de la pasta cementante sana (PC) en la parte media e inferior de la muestra (C y D) con inquemados (Inq), cenizas volantes (CV), cristales de belita (Be), clinker residual (Ck), gel de tobermorita (Gelto) y portlandita (Port), vistas con nicols paralelos y nicols cruzados, respectivamente (A, C y B, D).



**Figura 20.** Microfotografías bajo el estéreo microscopio de la muestra 13 (2021) en corte **desde** la cara superior expuesta al ambiente

Fuente: construcción propia.

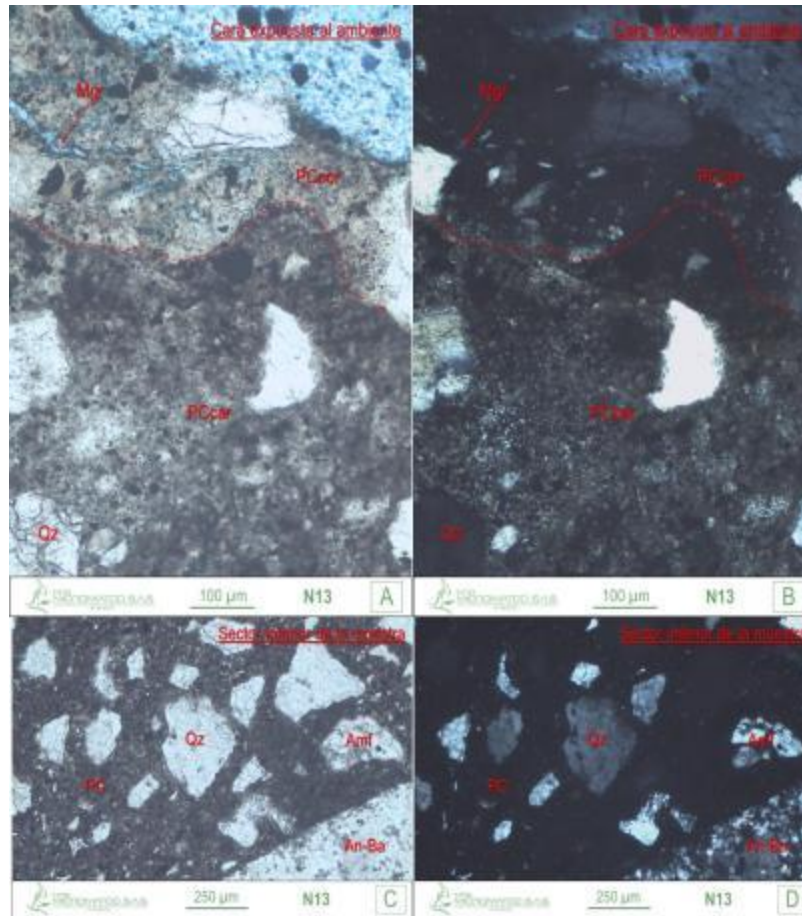
En la figura 20, se detalló la textura y color de la pasta cementante en la parte superior (A, B, C y D) e inferior (E) de la muestra. También, se resaltó la distribución de los agregados gruesos y finos (Ag), la textura y el color de la pasta cementante corroída (PCcor) y de la pasta cementante sana (PC), además del frente de corrosión (línea punteada de color rojo) (Superficie seca: B) (Superficie húmeda para contraste: A, C, D y E).



**Figura 21.** Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente en la parte superior de la muestra de concreto 13 (2021)

Fuente: construcción propia.

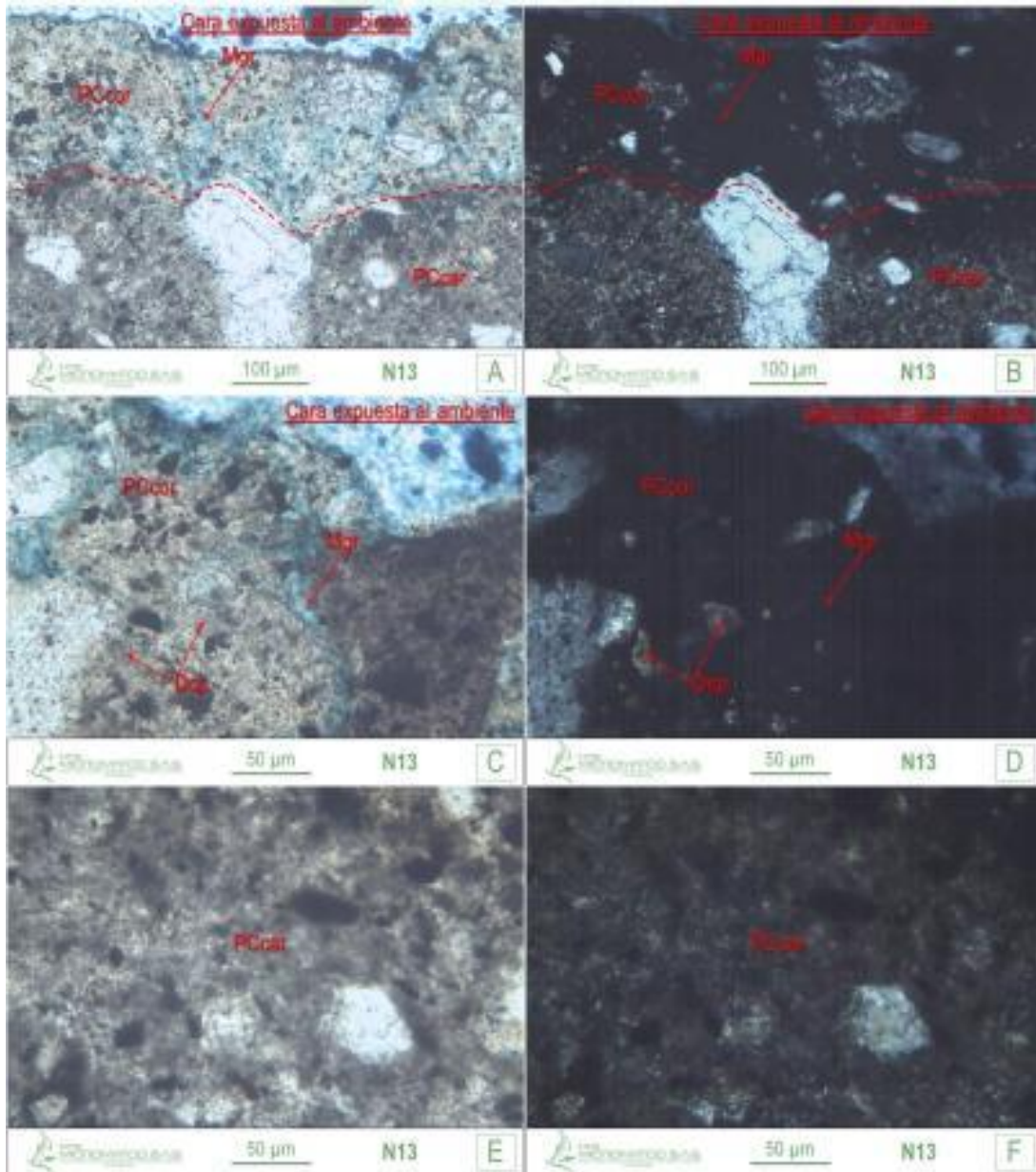
En la figura 21, se resaltó la composición de algunos agregados gruesos y finos tales como arenisca muy fina (Amf) y cuarzo (Qz), además de la textura isotrópica y color de la pasta cementante carbonatada (PCcor) en la parte más superior de la muestra, del avance de la corrosión (línea punteada de color rojo), la textura y color de la pasta cementante carbonatada (PCcar), del frente de carbonatación (línea punteada de color amarillo) y de la textura y el color de la pasta cementante sana (PC), vistas con nicols paralelos y nicols cruzados, respectivamente (A y B).



**Figura 22.** Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente en la parte superior de la muestra de concreto 13 (2021).

Fuente: construcción propia.

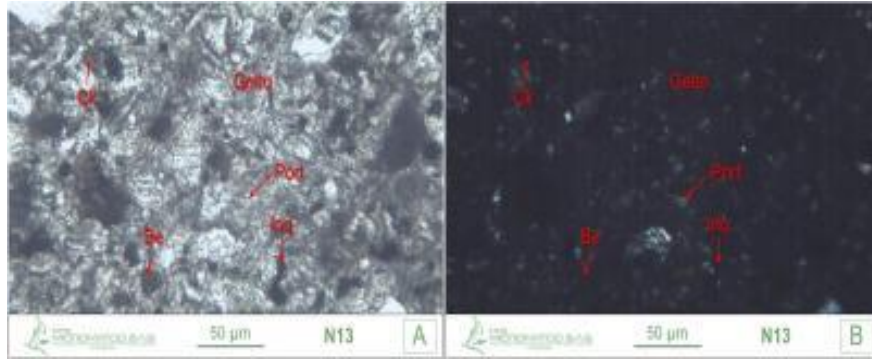
En la figura 22, se resaltó la textura isotrópica y color de la pasta cementante carbonatada (PCcor) y la presencia de microgrietas (Mgr) en la parte más superior de la muestra, del avance de la corrosión (línea punteada de color rojo), la textura y color de la pasta cementante carbonatada (PCcar) (A y B), y la textura y el color de la pasta cementante sana (PC) inferior de la muestra, además de la composición de algunos agregados entre ellos andesitas-basaltos (An-Ba), areniscas muy finas (Amf) y cuarzo (Qz) (C y D), vistas con nicols paralelos y nicols cruzados, respectivamente (A, C y B, D).



**Figura 23.** Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente en la parte superior de la muestra de concreto 13 (2021).

Fuente: construcción propia.

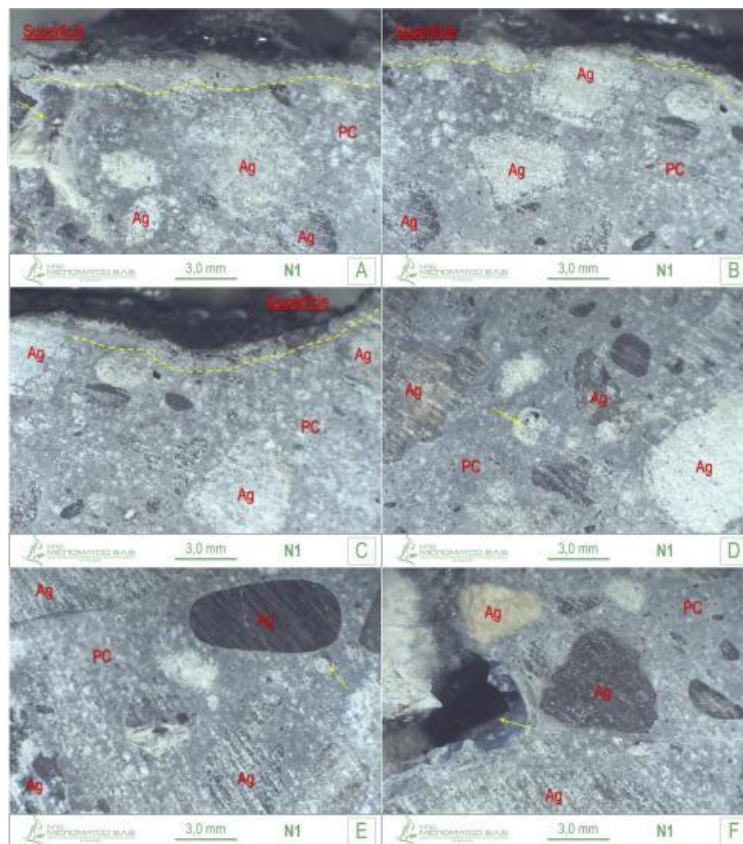
En la figura 23, se resaltó la textura isotrópica y color de la pasta cementante carbonatada (PCcor) con la deposición de cristales de calcita en forma de roseta o “palomitas de maíz” (Dcp), la presencia de microgrietas (Mgr) en la parte más superior de la muestra, del avance de la corrosión (línea punteada de color rojo), la textura y color de la pasta cementante carbonatada (PCcar), vistas con nicoles paralelos y nicoles cruzados, respectivamente (A, C, E y B, D, F).



**Figura 24.** Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente en la parte superior de la muestra de concreto 13 (2021).

Fuente: construcción propia.

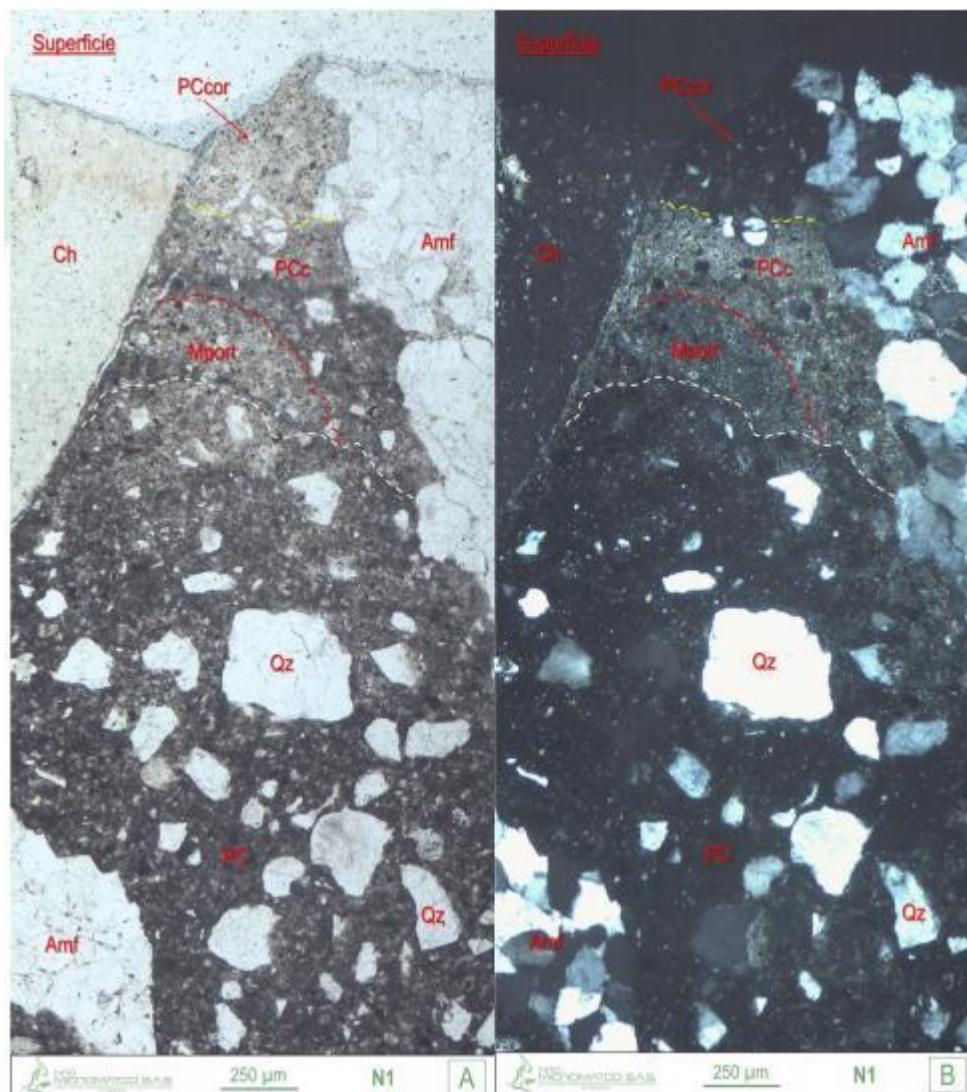
En la figura 24, se resaltó la textura de la pasta cementante sana (PC) en la parte media e inferior de la muestra con inquemados (Inq), cristales de belita (Be), clinker residual (Ck), gel de tobermorita (Gelto) y portlandita (Port), vistas con nicoles paralelos y nicoles cruzados, respectivamente (A y B).



**Figura 25.** Microfotografías bajo el estéreo microscopio de la muestra 14 (2023) en corte desde la cara superior expuesta al ambiente.

Fuente: construcción propia.

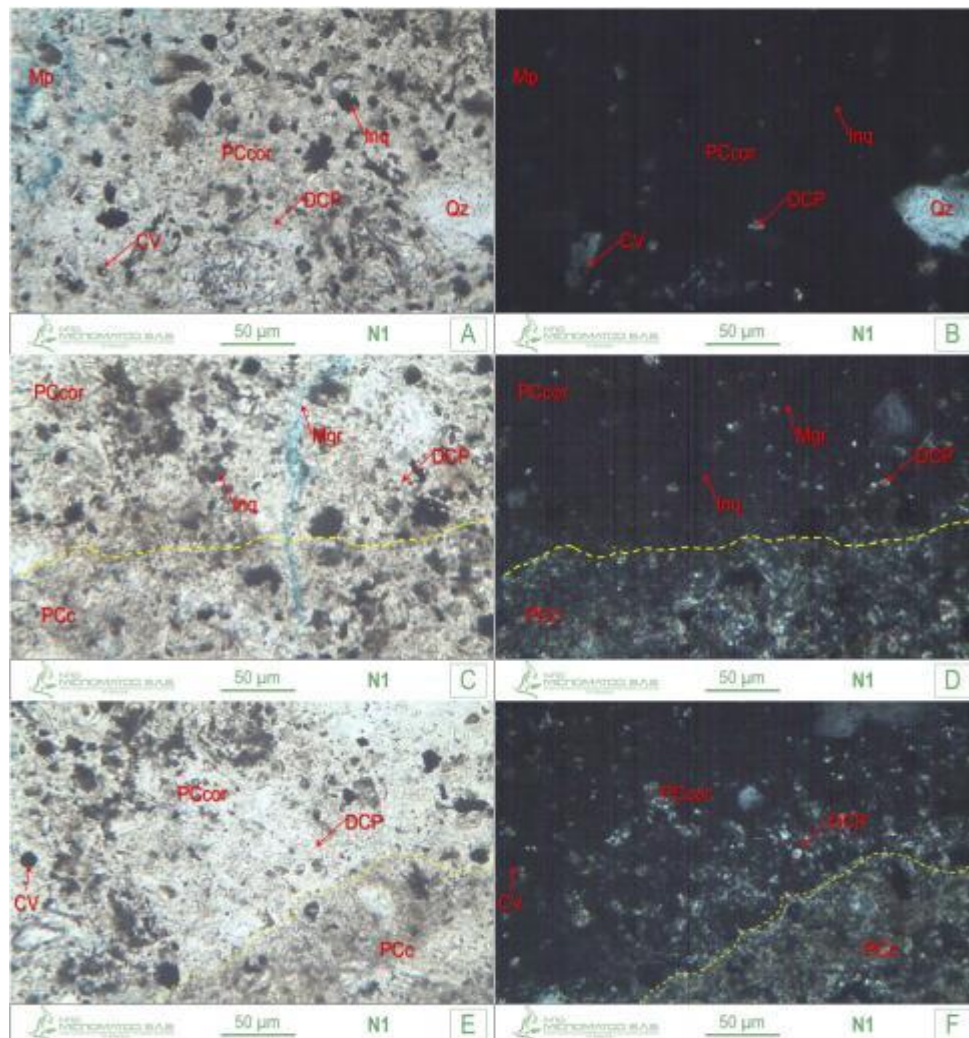
En la figura 25, se detalló la textura y color de la pasta cementante en la parte superior (A, B y C) e inferior (D, E y F) de la muestra. Se resalta la distribución de los agregados gruesos y finos (Ag), de los vacíos (flechas de color amarillo), la textura y el color de la pasta cementante corroída y luego carbonatada, señalando del frente de carbonatación (línea punteada de color amarillo). Así mismo, se resaltó la pasta cementante sana (PC) en el interior de la muestra (Superficie seca: A, B, C, D, E y F).



**Figura 26.** Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente en la parte superior de la muestra de concreto 14 (2023).

Fuente: construcción propia.

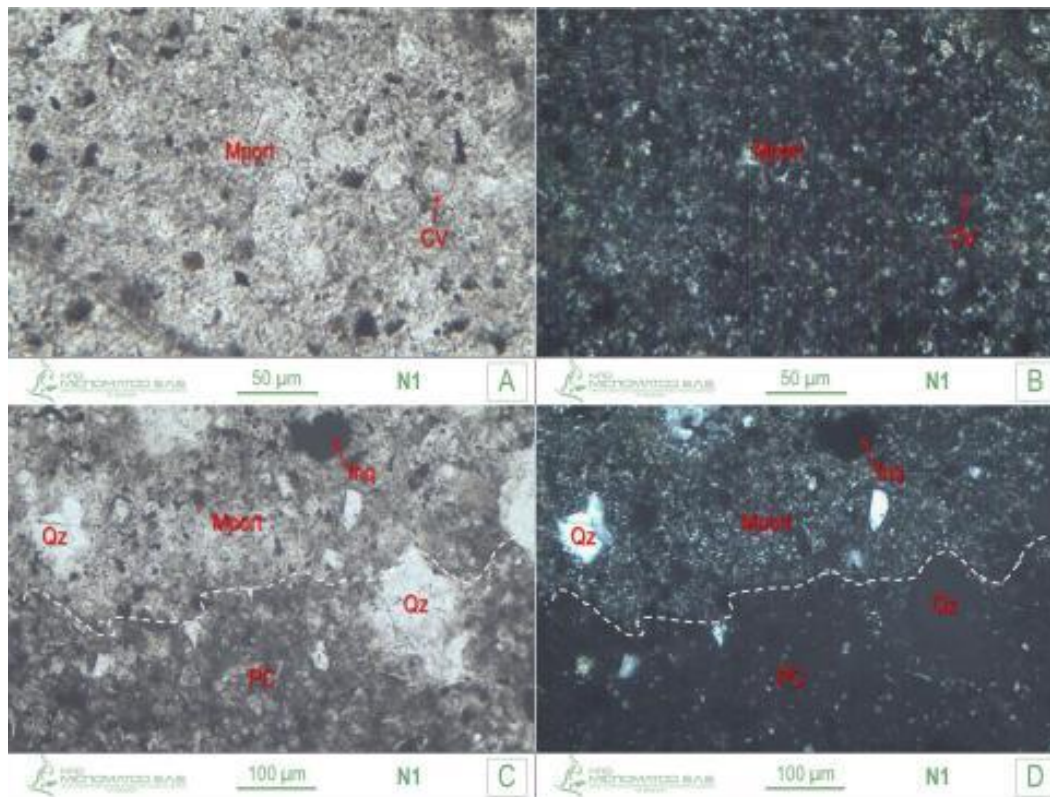
En la figura 26, se resaltó la composición de algunos agregados gruesos y finos tales como arenisca muy fina (Amf), chert (Ch) y cuarzo (Qz), además de la textura isotrópica y color de la pasta cementante corroída (PCcor) en la parte más superior de la muestra, del avance de la corrosión (línea punteada de color amarillo), la textura y color de la pasta cementante carbonatada (PCc), del frente de carbonatación (línea punteada de color rojo), del sector con una alta concentración de microcristales de portlandita (línea punteada de color blanco) y de la textura y el color de la pasta cementante sana (PC), vistas con nicols paralelos y nicols cruzados, respectivamente (A y B).



**Figura 27.** Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente en la parte superior de la muestra de concreto 14 (2023).

Fuente: construcción propia.

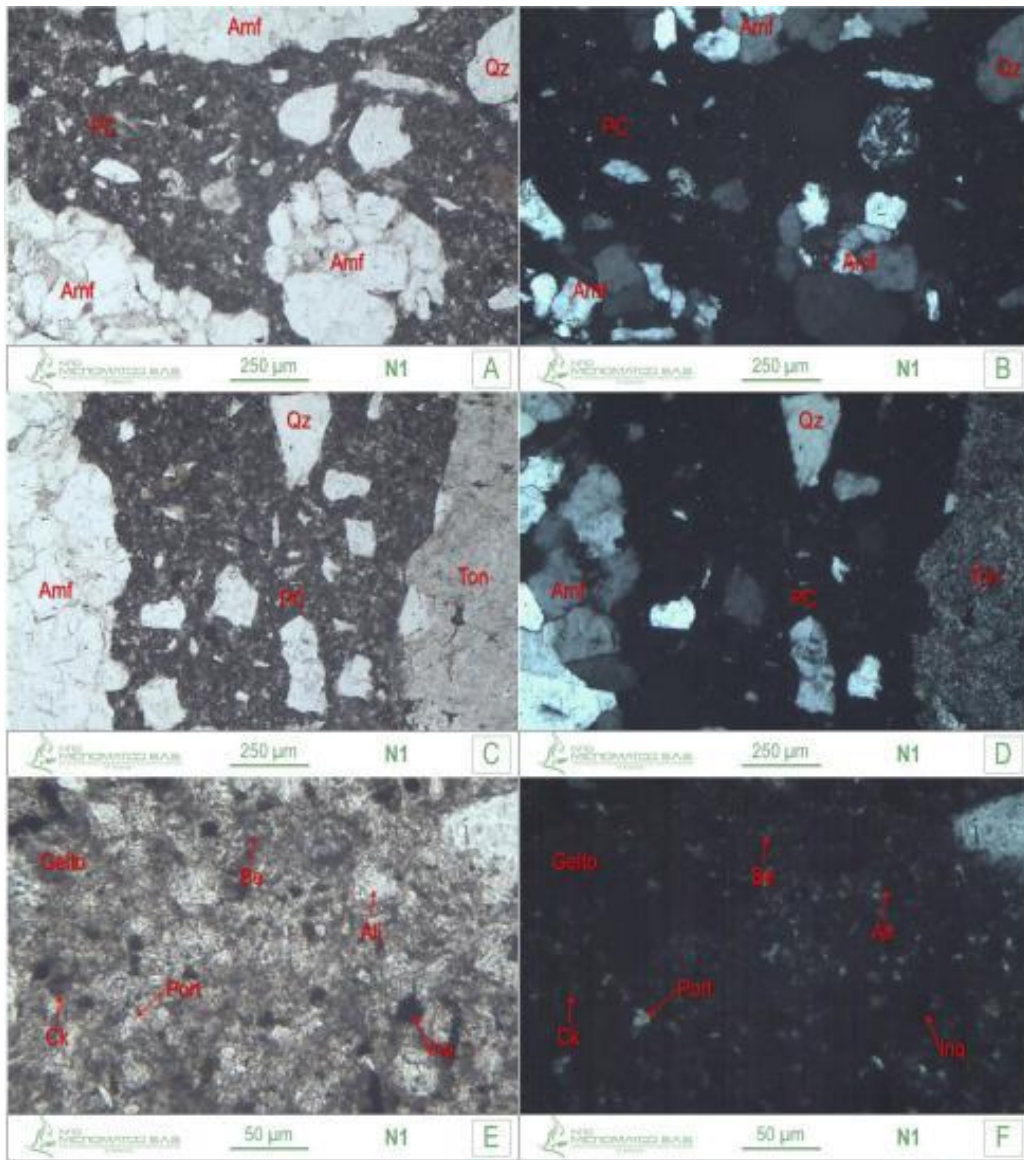
En la figura 27, se resaltó la textura isotrópica y color de la pasta cementante corroída (PCcor) con la deposición de cristales de calcita en forma de roseta o “palomitas de maíz” (DCP), además de remanentes de inquemados (Inq) y cenizas volantes (CV), la presencia de microgrietas (Mgr) sectores con microporos (Mp) en la parte más superior de la muestra, del avance de la corrosión (línea punteada de color amarillo), la textura y color de la pasta cementante carbonatada (PCc), vistas con nicoles paralelos y nicoles cruzados, respectivamente (A, C, E y B, D, F).



**Figura 28.** Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente en la parte superior de la muestra de concreto 14 (2023).

Fuente: construcción propia.

En la figura 28, resaltó la textura de los sectores de la pasta con una concentración de microcristales de portlandita (Mport) en la parte más superior de la muestra, del avance de la cristalización (línea punteada de color blanco) además de la presencia de inquemados (Inq) y cenizas volantes (CV), la textura y color de la pasta cementante sana (PC), vistas con nicoles paralelos y nicoles cruzados, respectivamente (A, C y B, D).



**Figura 29.** Microfotografías bajo el microscopio petrográfico de la parte interna de la muestra de concreto 14 (2023).

Fuente: construcción propia.

En la figura 29, se resaltó la composición de algunos agregados gruesos y finos tales como arenisca muy fina (Amf), tonalita (Ton) y cuarzo (Qz), la distribución relativamente uniforme de compuestos de cemento hidratado y no hidratado (PC) con cristales de belita (Be), alita (Ali), clinker residual (Ck), cristales de portlandita (Port) y gel de tobermorita (Gelto), además se detalla la presencia de inquemados (Inq). Vistas con nicols paralelos y nicols cruzados, respectivamente (A, C, E y B, D, F).

En resumen, para la muestra 12 (2017) se evidenció cambios en la pasta cementante desde la superficie expuesta al ambiente hacia el interior del núcleo. Se encontró dos zonas: la primera afectada por el fenómeno de carbonatación, localizada hacia la parte más superior hasta una profundidad de 2 mm presentando una tonalidad gris verdoso y que se caracterizan por presentar una textura densa debido a la alta concentración de cristales de hidróxido de calcio. La segunda zona con una pasta cementante en estado sano, adyacente a la primera y en el resto del núcleo con una tonalidad gris verdoso claro y con una distribución regular de compuestos de cemento no hidratado e hidratado.

Entretanto para la muestra 13 (2021) se identificó tres zonas: la primera zona corroída, localizada hacia la parte más superior hasta una profundidad de 0,4 mm presentando una tonalidad gris muy claro y que se caracterizan por presentar una textura isotrópica con grupos grandes de cristales de calcita en forma de roseta o “palomita de maíz” la cual representa una matriz de pasta de cemento descalcificada y residual. Además, en esta se observó varios microporos y microgrietas que generan aumento de permeabilidad permitiendo el avance del deterioro hacia el interior del pavimento. La segunda zona afectada por el fenómeno de carbonatación, adyacente a la primera hasta una profundidad de 1,2 mm presentando una tonalidad gris claro y que se caracterizan por presentar una textura densa debido a la alta concentración de cristales de hidróxido de calcio. La tercera zona con una pasta cementante en estado sano, adyacente a la segunda y en el resto del núcleo con una tonalidad gris verdoso y con una distribución regular de compuestos de cemento no hidratado e hidratado.

Por último, en la muestra 14 (2023) igualmente se identificó tres zonas, la primera zona corroída, localizada hacia la parte más superior hasta una profundidad de 0,7 mm presentando igualmente una tonalidad gris muy claro con una textura isotrópica con grupos grandes de cristales

de calcita en forma de roseta o “palomita de maíz”. También se evidenció presencia de microporos y microgrietas. La segunda zona afectada por el fenómeno de carbonatación, adyacente a la primera hasta una profundidad de 1,1 mm presentando una tonalidad gris claro, caracterizada por una textura densa con alta concentración de microcristales de portlandita. La tercera zona con una pasta cementante en estado sano, adyacente a la segunda y en el resto del núcleo con una tonalidad gris verdoso y con una distribución regular de compuestos de cemento no hidratado e hidratado.

#### ***4.1.2 Ensayo de Laboratorio Para el Análisis de Microscopía Electrónica de Barrido SEM y Espectroscopía por Dispersión de Energía de Rayos X (EDX) Norma ASTM C1723-16.***

Este análisis permite observar la muestra con magnificaciones de hasta 60.000 x con una profundidad de  $\sim 3 \mu\text{m}$  y determinar la composición química mediante la técnica de espectroscopía por dispersión de rayo X (EDX). La sección delgada extraídas de la muestra 12 (2017), figura 29., muestra 13 (2021), figura 30., muestra 14 (2023), figura 31., fueron sometidas al análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía de dispersión de energía de rayos X (EDX), con el fin de caracterizar la textura y composición química de la pasta cementante hacia la parte superior de la muestra hasta una profundidad de 1 mm, 1.5 mm y 1 mm para cada muestra respectivamente.

El análisis se llevó a cabo en el microscopio electrónico de barrido alta resolución, marca Tescan Lyra 3, equipo Dual Beam SEM-FIB. Este equipo opera en los modos de alto y bajo vacío, tiene integrados cuatro detectores que permiten la obtención de imágenes de electrones secundarios (tridimensionales) e imágenes de electrones retro dispersados (topográficas, composicionales y de sombra). El detector de espectroscopía por dispersión de energía de rayos X (EDX) permite además la realización de microanálisis cualitativos y cuantitativos mediante la detección del espectro de emisión de rayos x particular de cada elemento producido por el haz de

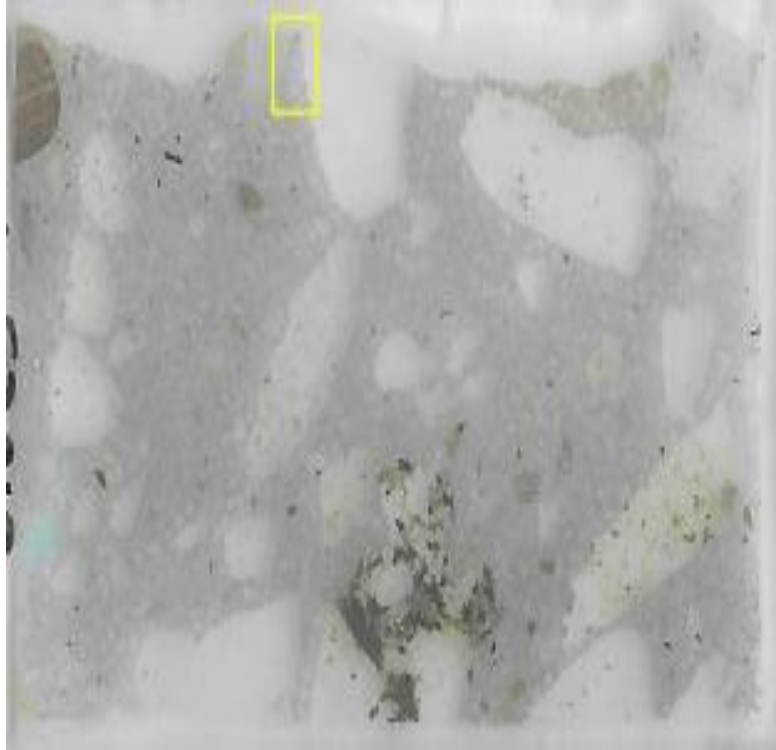
electrones sobre la muestra, siendo la intensidad de los rayos X una medida de concentración de los elementos.



**Figura 30.** Sección delgada de la muestra 12 (2017).  
Fuente: construcción propia.



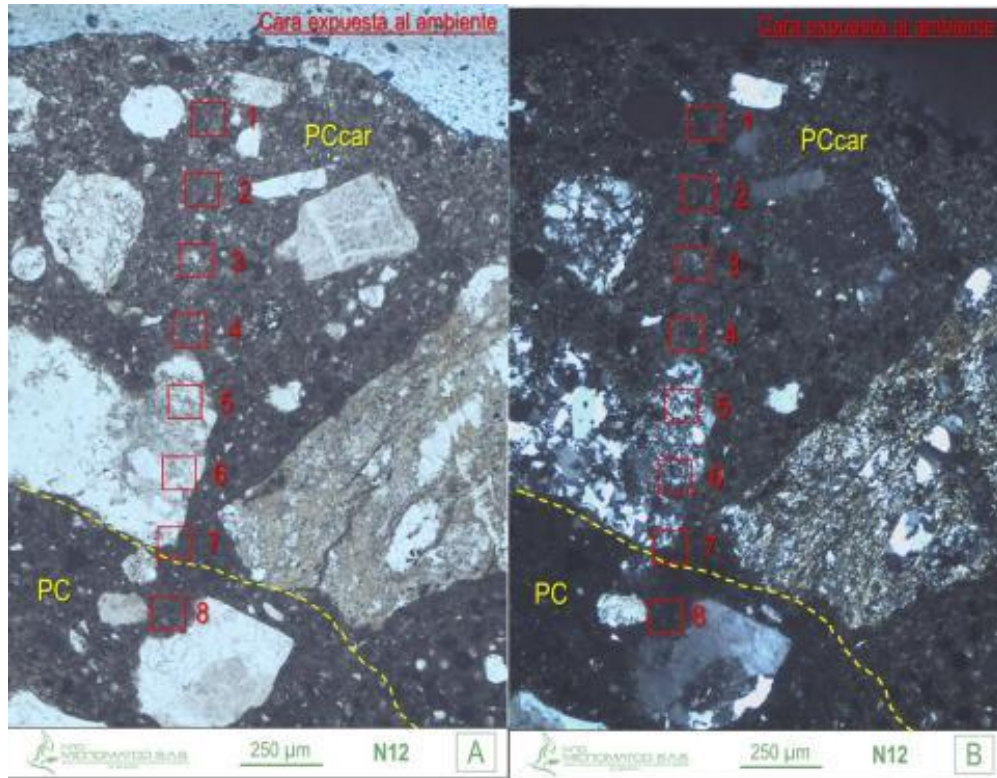
**Figura 31.** Sección delgada de la muestra 13 (2021).  
Fuente: construcción propia.



**Figura 32.** Sección delgada de la muestra 14 (2023).  
Fuente: construcción propia.

En las figuras 30, 31, y 32, se detalló los sectores analizados mediante el análisis de microscopia electrónica de barrido (SEM) y espectroscopia de dispersión de energía de rayos X (EDX).

En las siguientes imágenes se observan los análisis de varios sectores con el fin de caracterizar la textura y composición química de la pasta cementante hacia la parte más superior hasta una profundidad de 1,5 mm, de la muestra 12 (2017), destacándose la textura y composición en cada sector analizado.

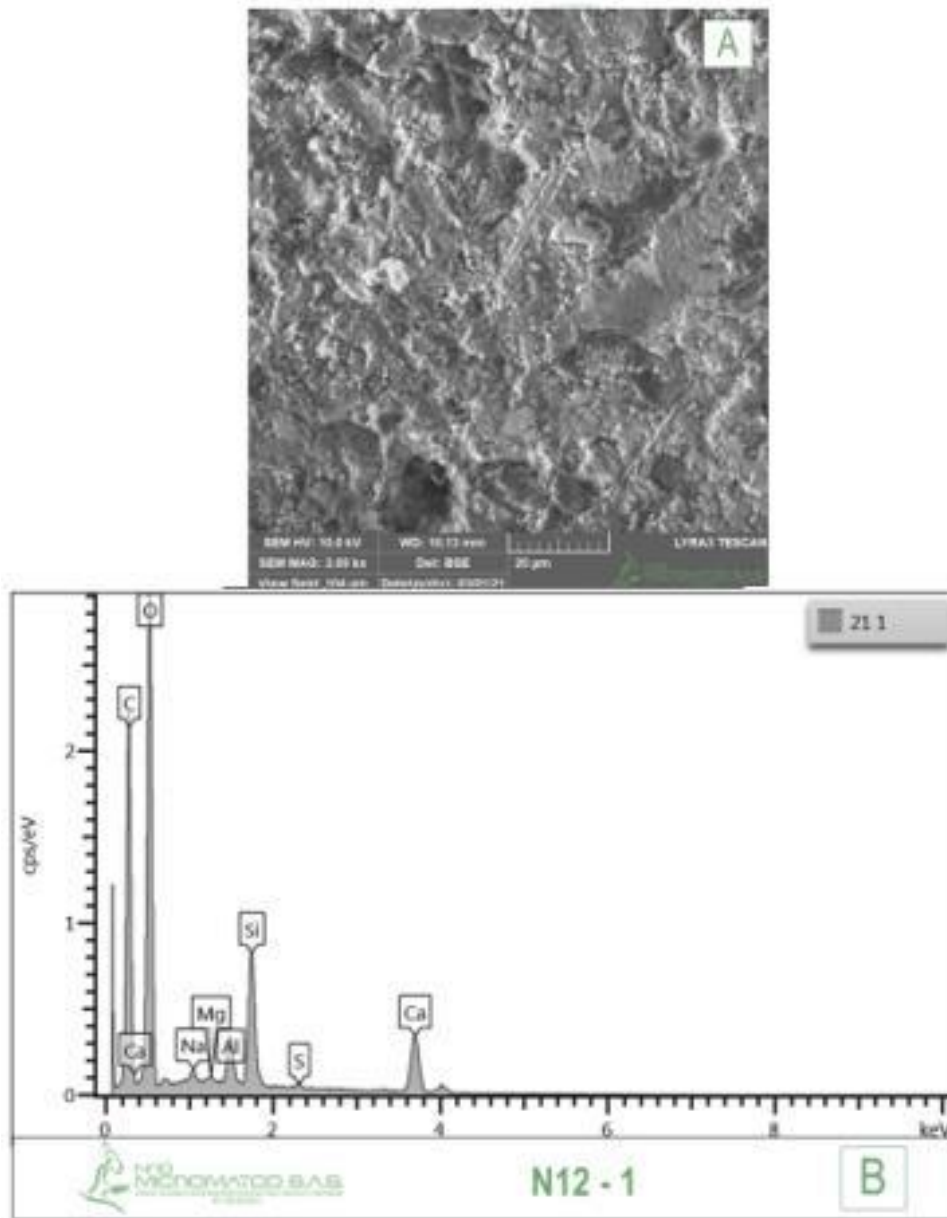


**Figura 33.** Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente de la muestra de concreto 12 (2017).

Fuente: construcción propia.

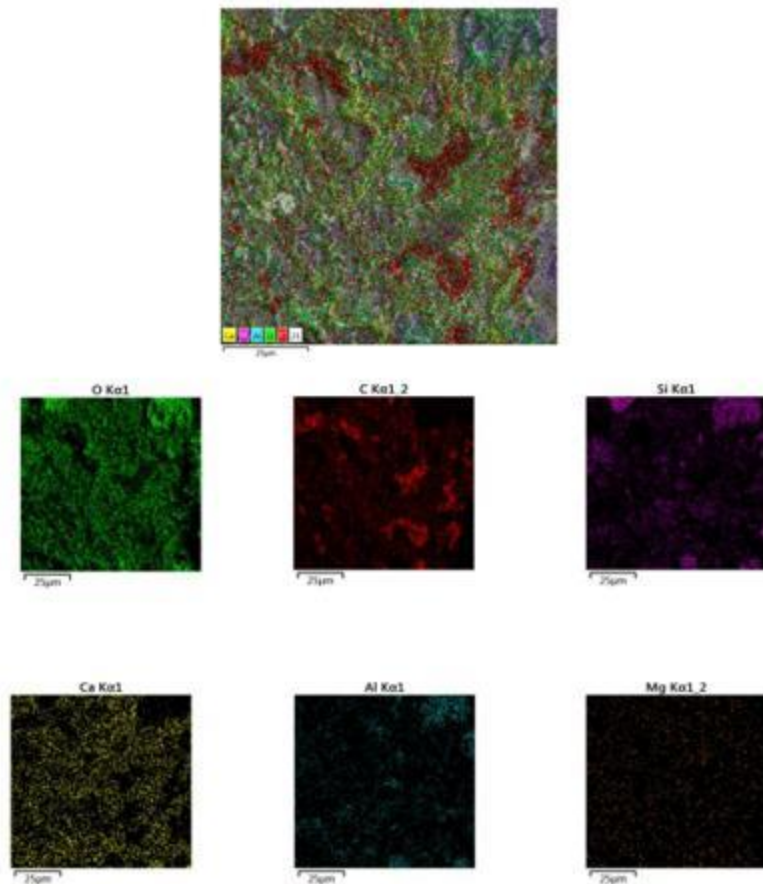
En la figura 33, se resaltó la textura y color de la pasta cementante carbonatada (PCcar) en la parte superior de la muestra, del frente de carbonatación (línea punteada de color amarillo) y de la textura y el color de la pasta cementante sana (PC). Así mismo, se muestran los ocho sectores (recuadros de color rojo) en donde se realizó el microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX), vistas con nicols paralelos y nicols cruzados, respectivamente (A y B).

En las siguientes imágenes se observa el análisis del primer sector de la muestra 12 (2017), destacando la textura y la composición de la zona estudiada:



**Figura 34.** Microfotografías de la muestra de concreto 12 (2017), sector 1.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 34, se muestra lo siguiente: A. Vista de un sector 1 de la muestra 12 (2017) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, en esta área se realizó un microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis.



**Figura 35.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del primer sector de la muestra de concreto 12 (2017).  
Fuente: construcción propia.

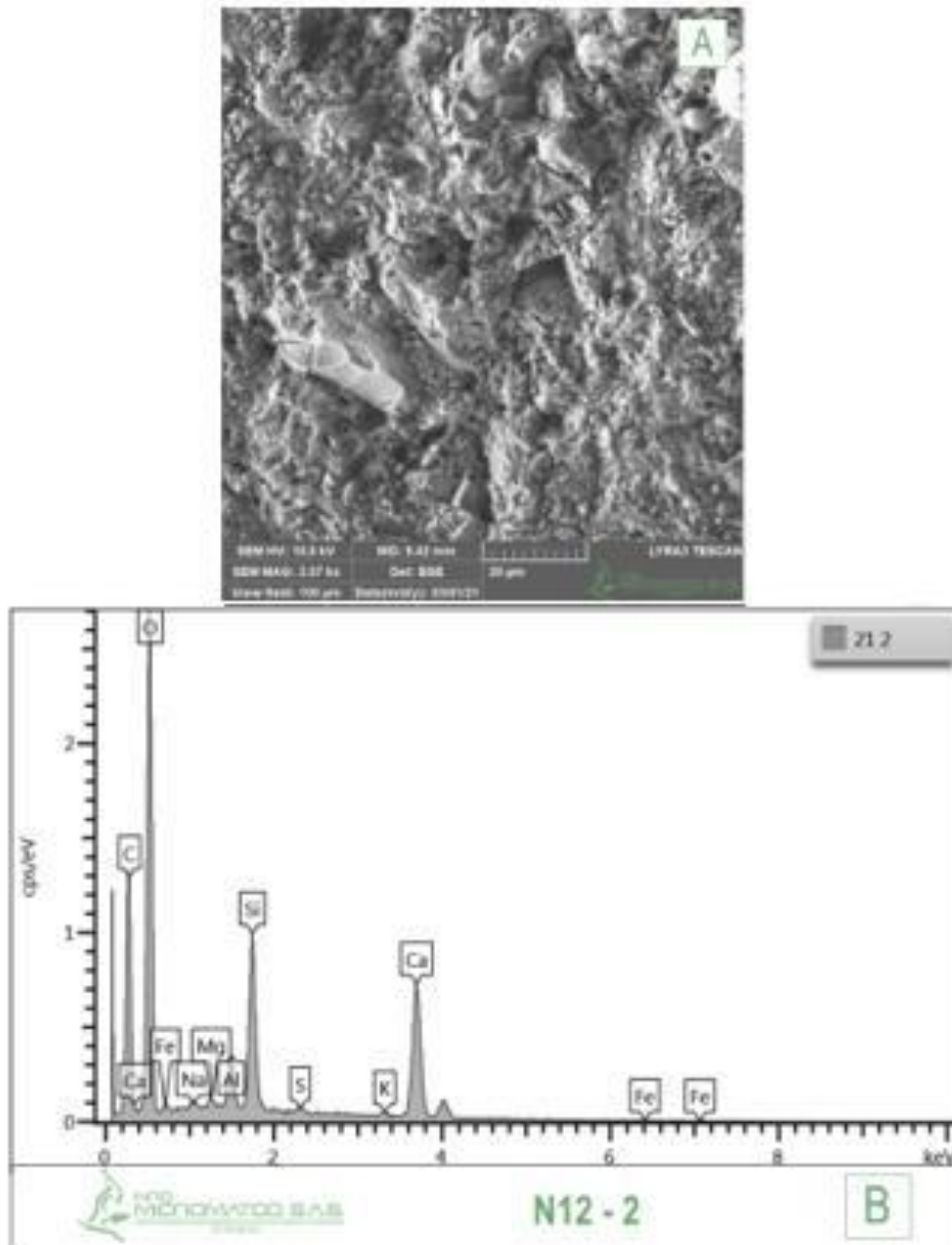
**Tabla 8.**

*Composición química sector 1 muestra 12 (2017)*

| Primer<br>sector de la<br>muestra 12 | Composición química |           |       |      |     |      |      |      |      |       |
|--------------------------------------|---------------------|-----------|-------|------|-----|------|------|------|------|-------|
|                                      | Elemento            | C         | O     | Na   | Mg  | Al   | Si   | S    | Ca   | Total |
|                                      | Sector analizado    | % en peso |       |      |     |      |      |      |      |       |
|                                      | 12-1                | 35.77     | 44.68 | 0.52 | 0.2 | 2.06 | 6.63 | 0.26 | 9.87 | 99.99 |

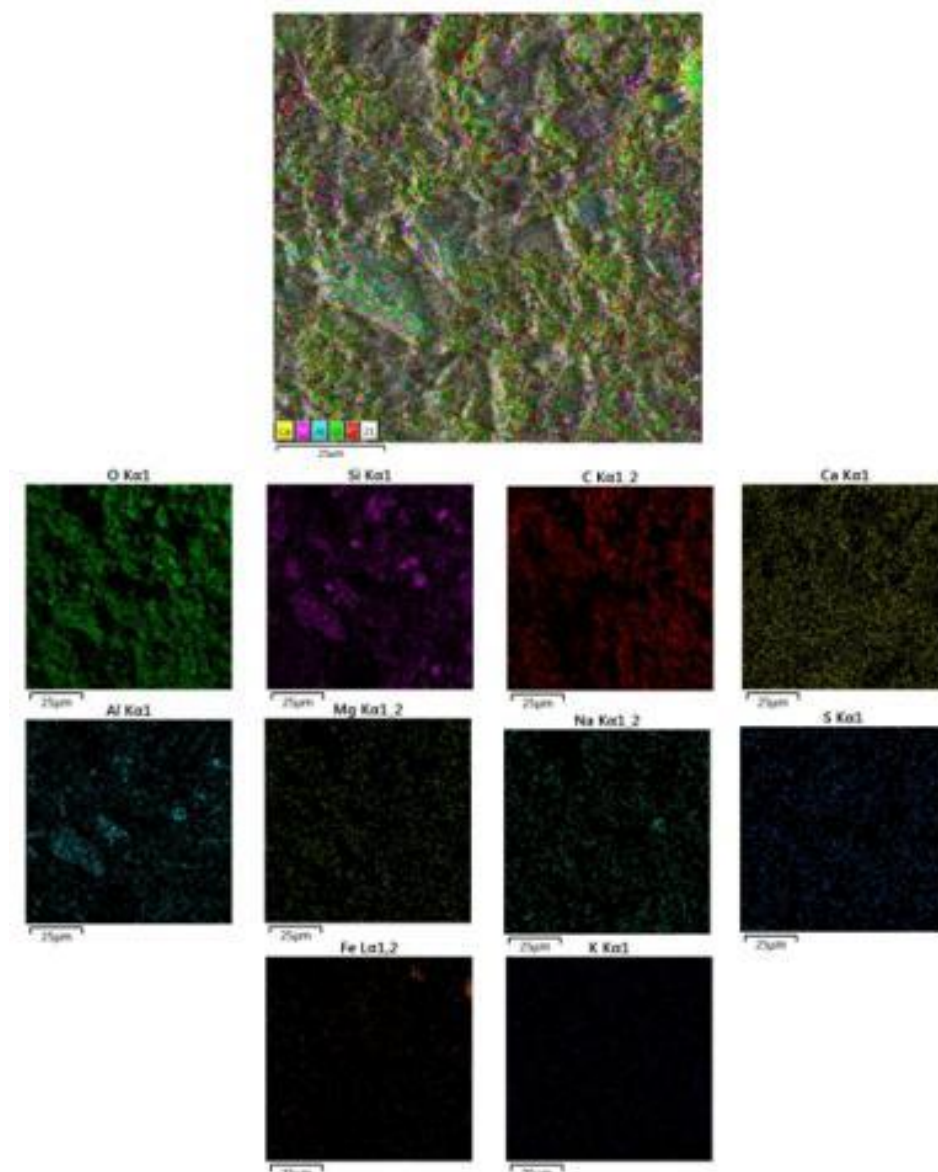
Fuente: Construcción propia

En las siguientes imágenes se observa el análisis del segundo sector de la muestra 12 (2017), destacando la textura y la composición de la zona estudiada:



**Figura 36.** Microfotografías de la muestra de concreto 12 (2017) sector 2.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 36, se muestra lo siguiente: A. Vista del sector 2 de la muestra 12 (2017) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis



**Figura 37.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del segundo sector de la muestra de concreto 12 (2017).  
Fuente: construcción propia.

**Tabla 9.**

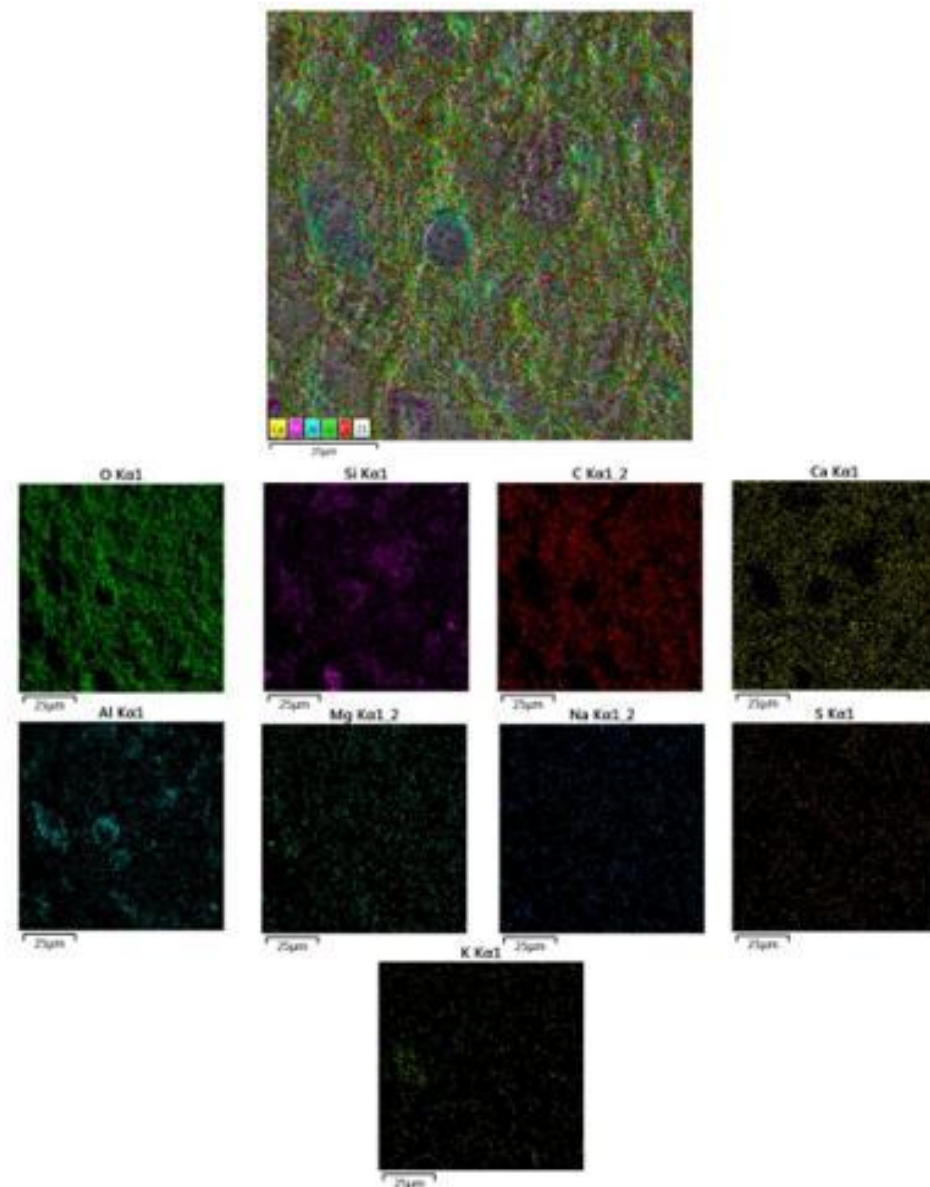
*Composición química sector 2 muestra 12 (2017)*

| Segundo<br>sector de la<br>muestra 12 | Composición química |           |       |     |      |      |     |      |      |       |      |       |
|---------------------------------------|---------------------|-----------|-------|-----|------|------|-----|------|------|-------|------|-------|
|                                       | Elemento            | C         | O     | Na  | Mg   | Al   | Si  | S    | K    | Ca    | Fe   | Total |
|                                       | Sector analizado    | % en peso |       |     |      |      |     |      |      |       |      |       |
|                                       | 12-2                | 25.19     | 41.78 | 0.3 | 0.32 | 1.98 | 7.2 | 0.33 | 0.41 | 19.04 | 3.45 | 100   |

Fuente: Construcción propia.

En las siguientes imágenes se observa el análisis del tercer sector de la muestra 12 (2017), destacando la textura y la composición de la zona estudiada:





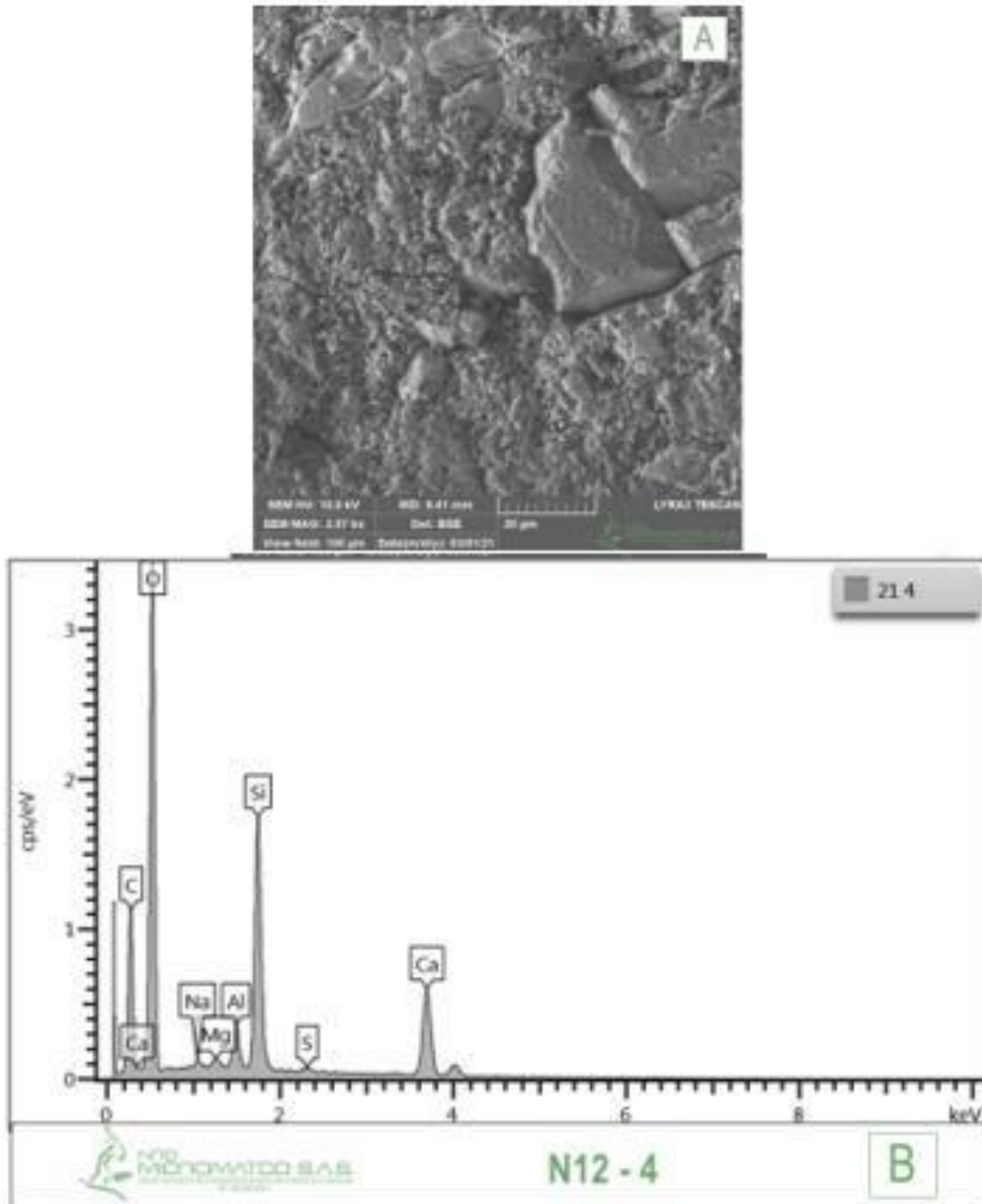
**Figura 39.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del tercer sector de la muestra de concreto 12 (2017).  
Fuente: construcción propia.

**Tabla 10.**  
*Composición química sector 3 muestra 12 (2017)*

| Composición química sector 3 muestra 12 (2017) |                     |           |      |      |      |      |      |      |       |       |
|------------------------------------------------|---------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Tercer sector<br>de la muestra<br>12           | Composición química |           |      |      |      |      |      |      |       |       |
|                                                | Elemento            | C         | O    | Na   | Mg   | Al   | Si   | S    | Ca    | Total |
|                                                | Sector analizado    | % en peso |      |      |      |      |      |      |       |       |
|                                                | 12-3                | 24.56     | 47.4 | 0.36 | 0.43 | 2.44 | 7.84 | 0.36 | 16.59 | 99.98 |

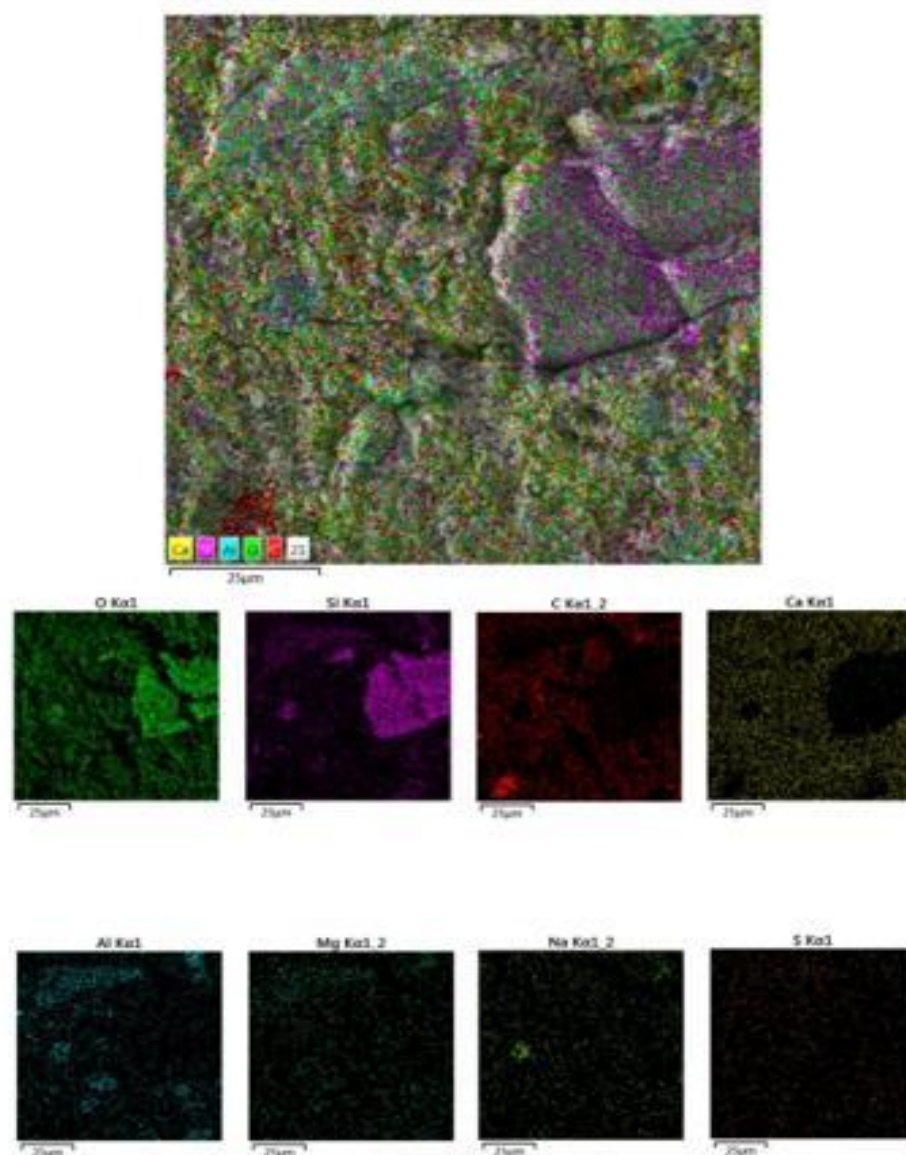
Fuente: Construcción propia

En las siguientes imágenes se observa el análisis del cuarto sector de la muestra 12 (2017), destacando la textura y la composición de la zona estudiada:



**Figura 40.** Microfotografías de la muestra de concreto 12 (2017) sector 4.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 40, se muestra lo siguiente: A. Vista del sector 4 de la muestra 12 (2017) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis.



**Figura 41.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del cuarto sector de la muestra de concreto 12 (2017).  
Fuente: construcción propia.

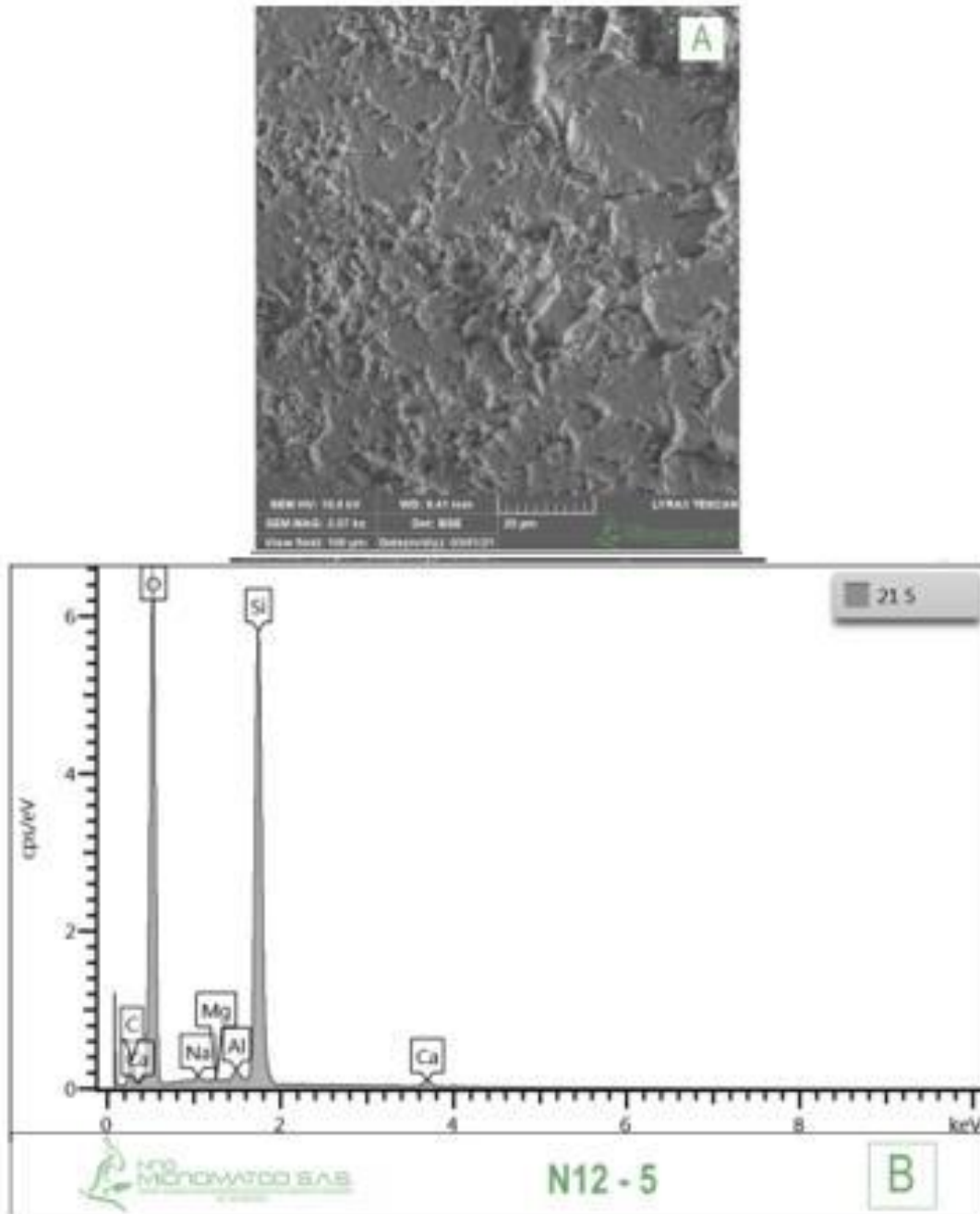
**Tabla 11.**

*Composición química sector 4 muestra 12 (2017)*

| Cuarto sector<br>de la muestra<br>12 | Composición química |           |       |     |      |      |       |     |       |       |
|--------------------------------------|---------------------|-----------|-------|-----|------|------|-------|-----|-------|-------|
|                                      | Elemento            | C         | O     | Na  | Mg   | Al   | Si    | S   | Ca    | Total |
|                                      | Sector analizado    | % en peso |       |     |      |      |       |     |       |       |
|                                      | 12-4                | 21.48     | 47.32 | 0.3 | 0.37 | 1.97 | 12.82 | 0.3 | 15.43 | 99.99 |

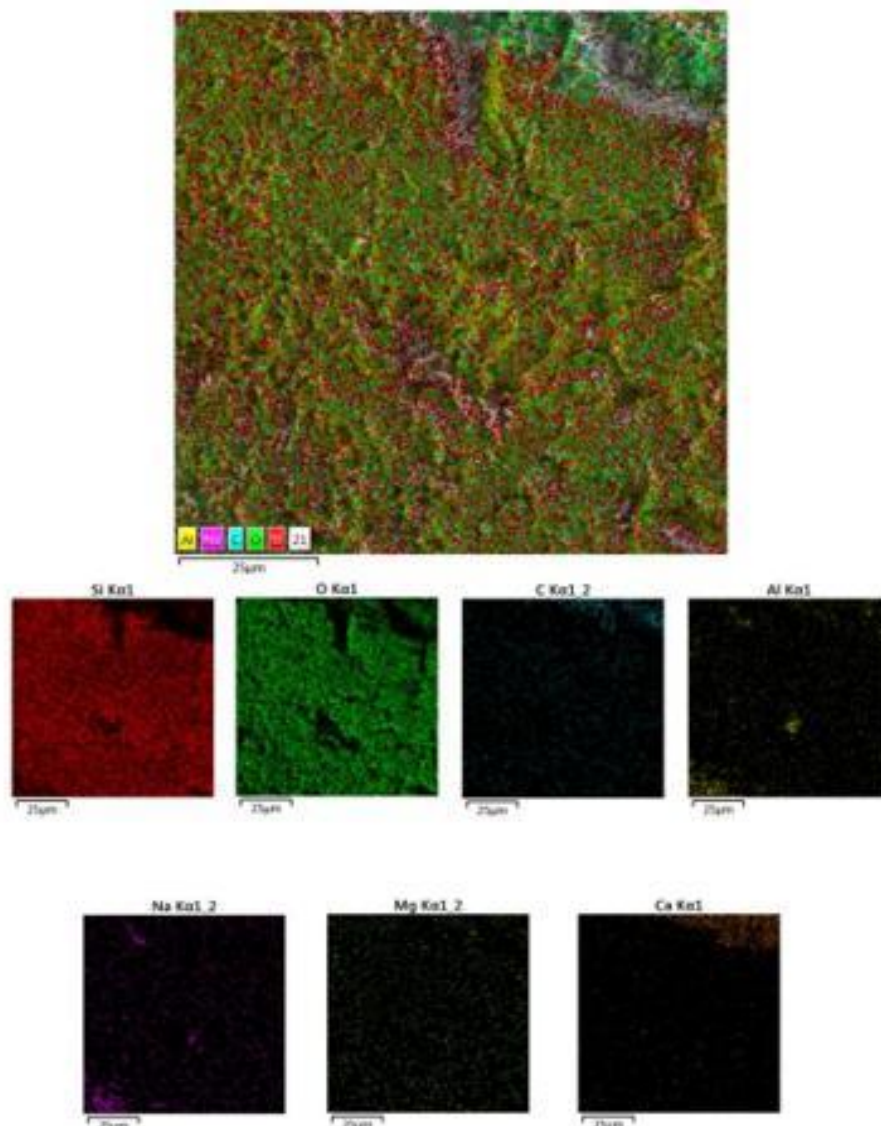
Fuente: Construcción propia

En las siguientes imágenes se observa el análisis del quinto sector de la muestra 12 (2017), destacando la textura y la composición de la zona estudiada:



**Figura 42.** Microfotografías de la muestra de concreto 12 (2017) sector 5.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 42, se muestra lo siguiente: A. Vista del sector 5 de la muestra 12 (2017) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis.



**Figura 43.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del quinto sector de la muestra de concreto 12 (2017).  
Fuente: construcción propia.

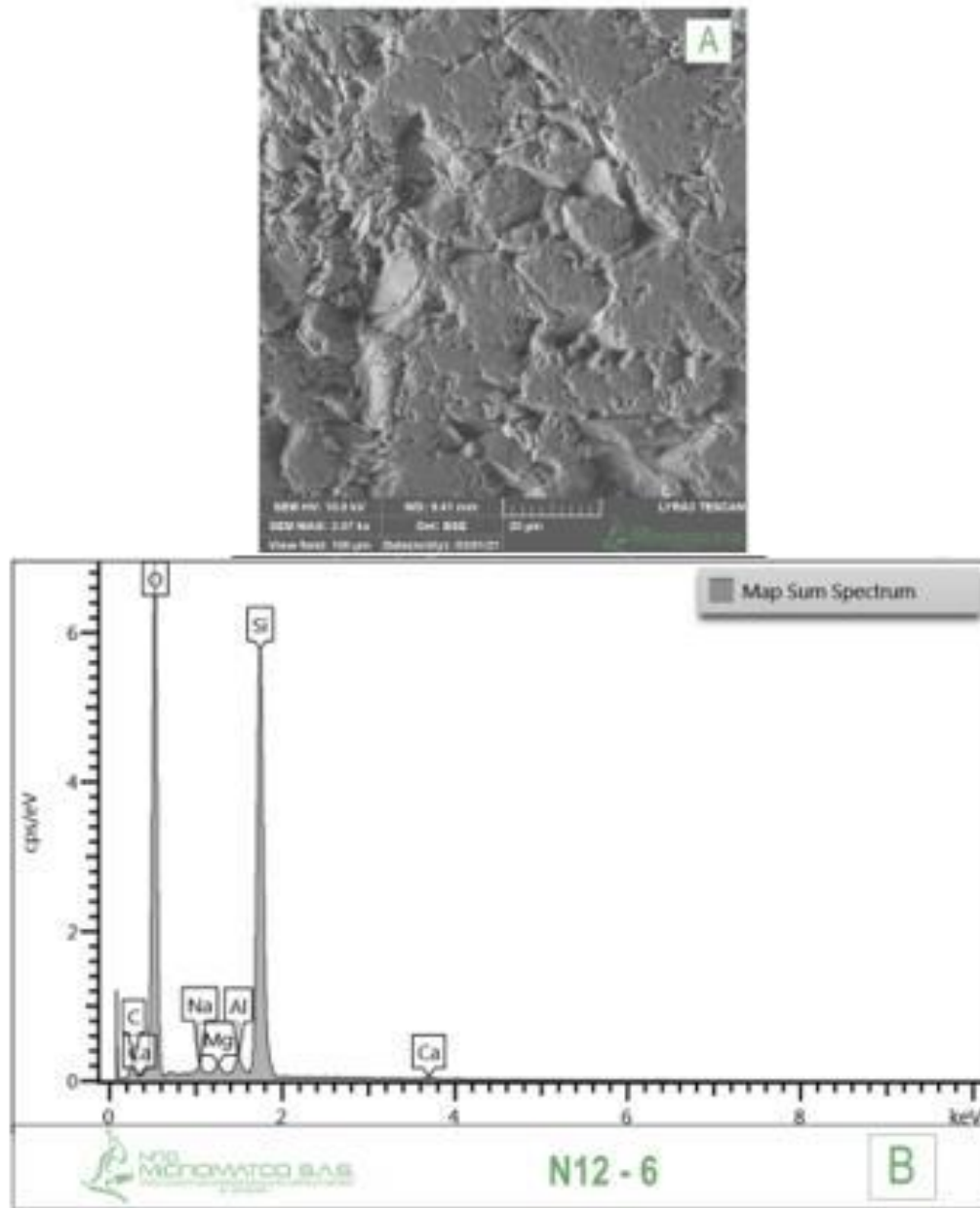
**Tabla 12.**

*Composición química sector 5 muestra 12 (2017)*

| Quinto sector<br>de la muestra<br>12 | Composición química |           |       |      |      |      |       |      |       |
|--------------------------------------|---------------------|-----------|-------|------|------|------|-------|------|-------|
|                                      | Elemento            | C         | O     | Na   | Mg   | Al   | Si    | Ca   | Total |
|                                      | Sector analizado    | % en peso |       |      |      |      |       |      |       |
|                                      | 12-5                | 9.09      | 52.88 | 0.31 | 0.13 | 0.63 | 35.31 | 1.65 | 100   |

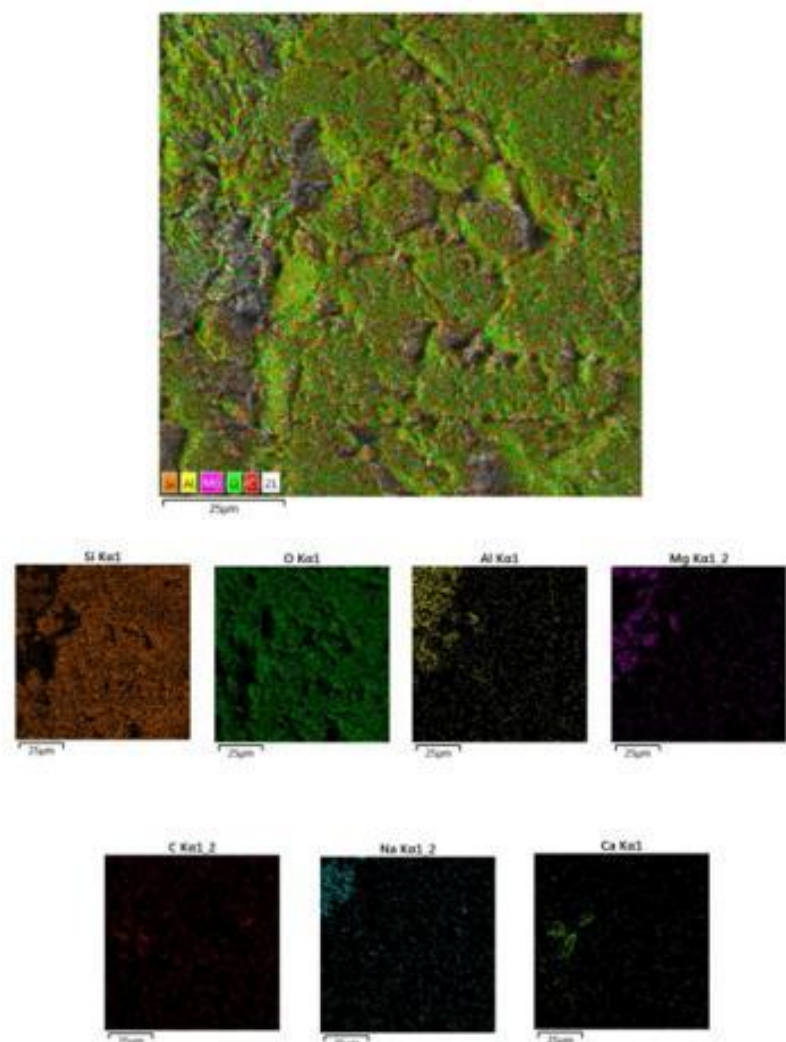
Fuente: Construcción propia

En las siguientes imágenes se observa el análisis del sexto sector de la muestra 12 (2017), destacando la textura y la composición de la zona estudiada:



**Figura 44.** Microfotografías de la muestra de concreto 12 (2017) sector 6.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 44, se muestra lo siguiente: A. Vista del sector 6 de la muestra 12 (2017) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis.



**Figura 45.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del sexto sector de la muestra de concreto 12 (2017).  
Fuente: construcción propia.

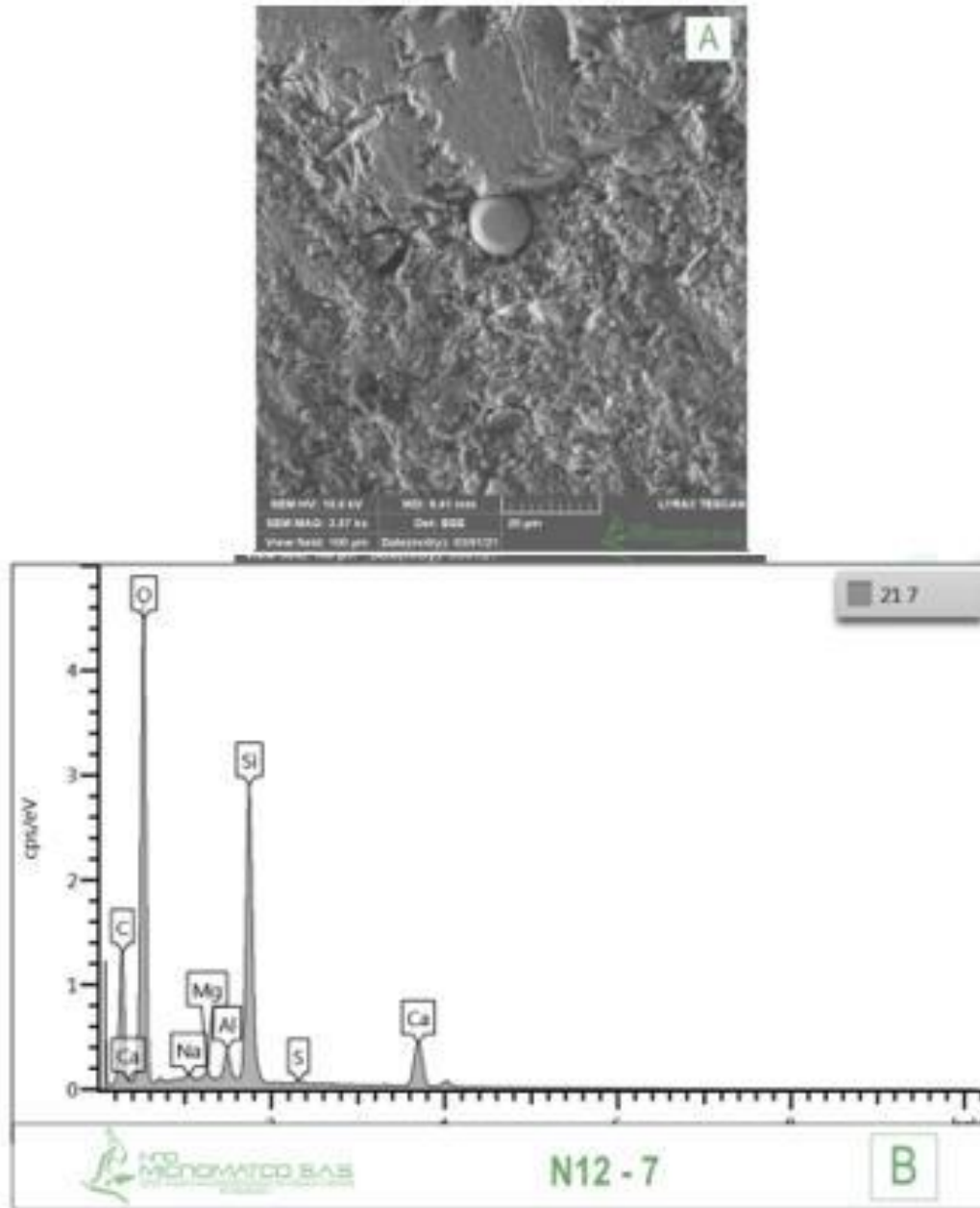
**Tabla 13.**

*Composición química sector 6 muestra 12 (2017)*

| Sexto sector<br>de la muestra<br>12 | Composición química |           |       |      |      |      |       |      |       |
|-------------------------------------|---------------------|-----------|-------|------|------|------|-------|------|-------|
|                                     | Elemento            | C         | O     | Na   | Mg   | Al   | Si    | Ca   | Total |
|                                     | Sector analizado    | % en peso |       |      |      |      |       |      |       |
|                                     | 12-6                | 7.26      | 53.74 | 0.46 | 0.64 | 1.18 | 36.15 | 0.56 | 99.99 |

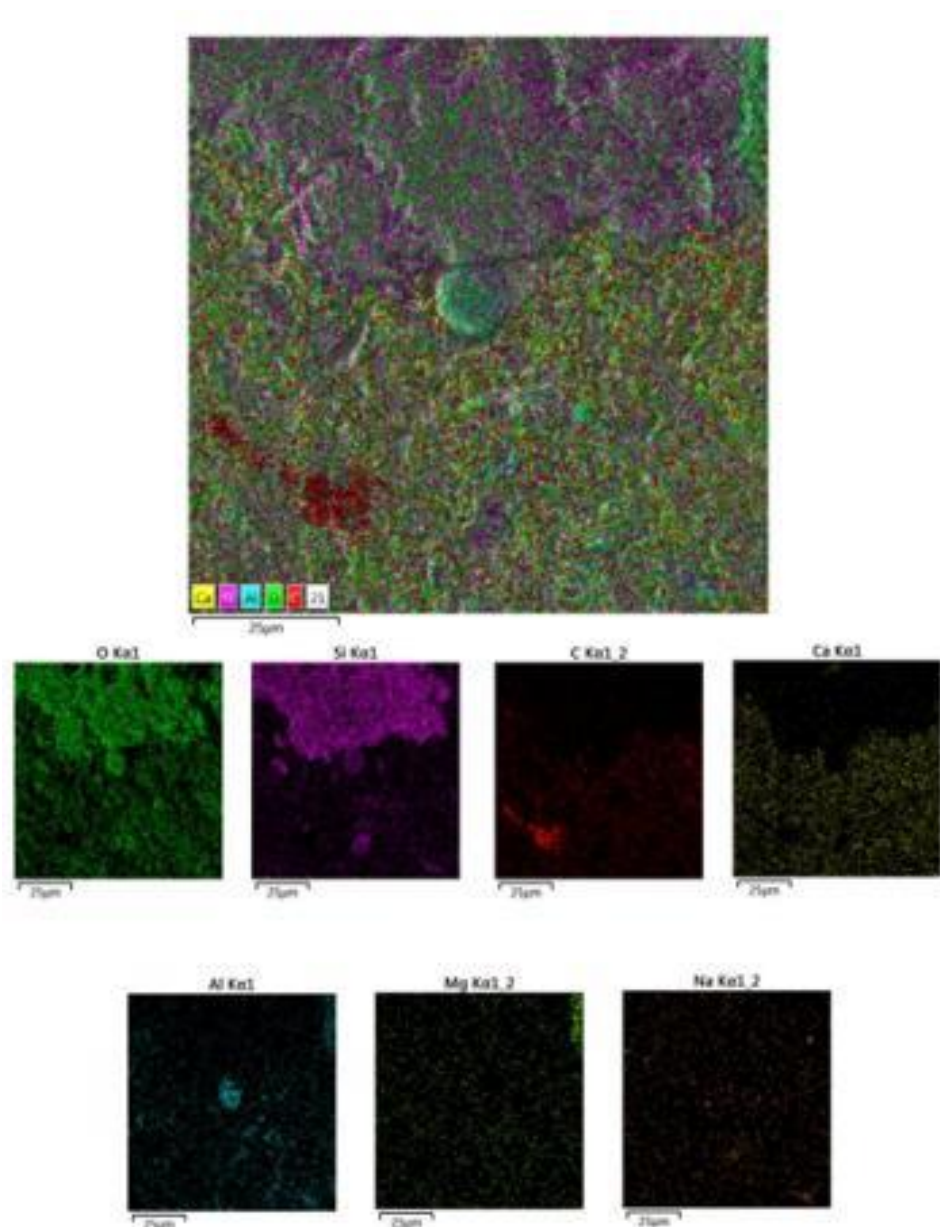
Fuente: Construcción propia

En las siguientes imágenes se observa el análisis del séptimo sector de la muestra 12 (2017), destacando la textura y la composición de la zona estudiada:



**Figura 46.** Microfotografías de la muestra de concreto 12 (2017) sector 7.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 46, se muestra lo siguiente: A. Vista del sector 7 de la muestra 12 (2017) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis.



**Figura 47.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del séptimo sector de la muestra de concreto 12 (2017).  
Fuente: construcción propia.

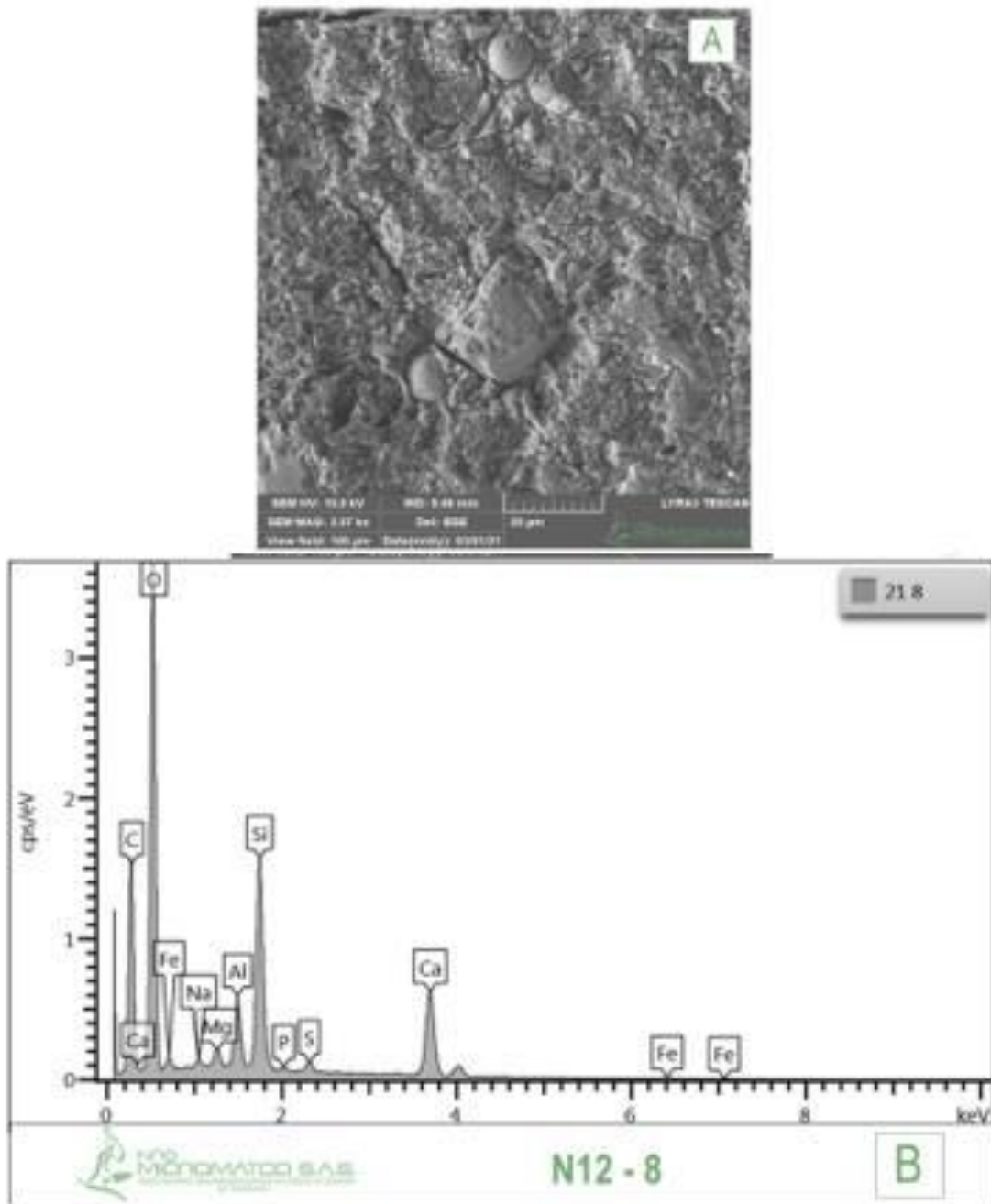
**Tabla 14.**

*Composición química sector 7 muestra 12 (2017)*

| Séptimo<br>sector de la<br>muestra 12 | Composición química |           |       |      |      |      |       |      |      |       |
|---------------------------------------|---------------------|-----------|-------|------|------|------|-------|------|------|-------|
|                                       | Elemento            | C         | O     | Na   | Mg   | Al   | Si    | S    | Ca   | Total |
|                                       | Sector analizado    | % en peso |       |      |      |      |       |      |      |       |
|                                       | 12-7                | 23.09     | 47.91 | 0.28 | 0.39 | 1.51 | 17.18 | 0.19 | 9.44 | 99.99 |

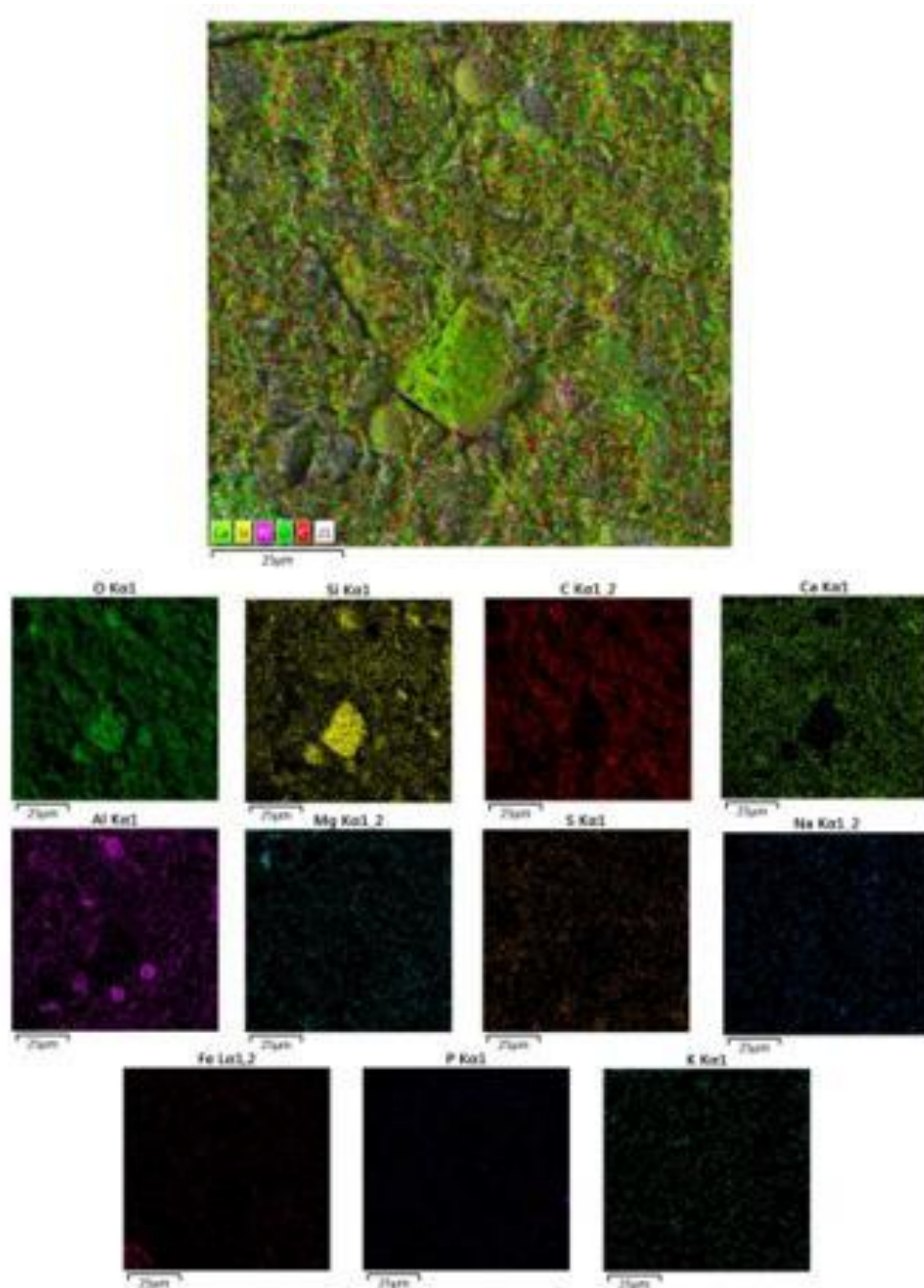
Fuente: Construcción propia

En las siguientes imágenes se observa el análisis del octavo sector de la muestra 12 (2017), destacando la textura y la composición de la zona estudiada:



**Figura 48.** Microfotografías de la muestra de concreto 12 (2017) sector 8.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 48, se muestra lo siguiente: A. Vista del sector 8 de la muestra 12 (2017) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis.



**Figura 49.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del octavo sector de la muestra de concreto 12 (2017).  
Fuente: construcción propia.

**Tabla 15.**

*Composición química sector 8 muestra 12 (2017)*

| Composición química sector 8 muestra 12 (2017) |                     |           |       |      |      |      |      |      |      |       |      |       |
|------------------------------------------------|---------------------|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|
| Octavo sector<br>de la muestra<br>12           | Composición química |           |       |      |      |      |      |      |      |       |      |       |
|                                                | Elemento            | C         | O     | Na   | Mg   | Al   | Si   | P    | S    | Ca    | Fe   | Total |
|                                                | Sector analizado    | % en peso |       |      |      |      |      |      |      |       |      |       |
|                                                | 12-8                | 24.92     | 41.85 | 0.31 | 0.71 | 2.99 | 9.77 | 0.23 | 0.67 | 13.34 | 5.21 | 100   |

Fuente: Construcción propia

**Tabla 16.**

*Composición química de los sectores en la pasta cementante hacia la parte más superior en la muestra 12 (2017)*

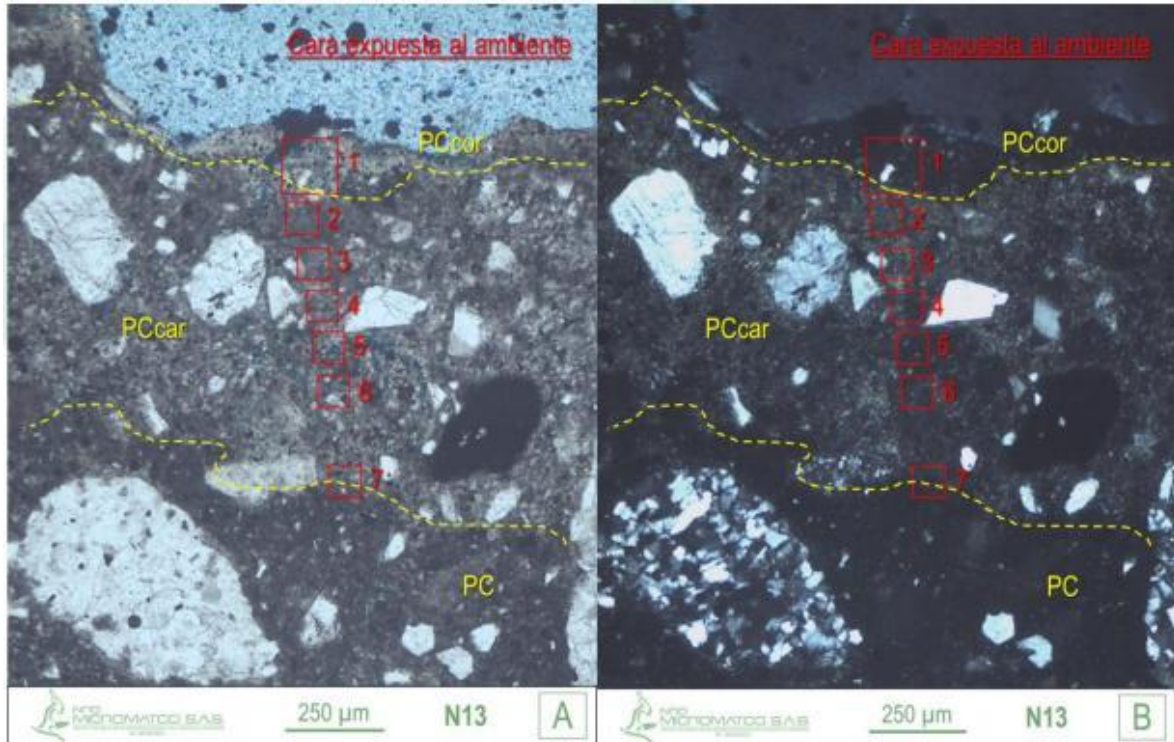
| Sector analizado |       |       |      | % en peso |      |       |      |      |       |      | Total |
|------------------|-------|-------|------|-----------|------|-------|------|------|-------|------|-------|
| Elemento         | C     | O     | Na   | Mg        | Al   | Si    | S    | K    | Ca    | Fe   |       |
| 12-1             | 35.77 | 44.68 | 0.52 | 0.2       | 2.06 | 6.63  | 0.26 |      | 9.87  |      | 99.99 |
| 12-2             | 25.19 | 41.78 | 0.3  | 0.32      | 1.98 | 7.2   | 0.33 | 0.41 | 19.04 | 3.45 | 100   |
| 12-3             | 24.56 | 47.4  | 0.36 | 0.43      | 2.44 | 7.84  | 0.36 |      | 16.59 |      | 99.98 |
| 12-4             | 21.48 | 47.32 | 0.3  | 0.37      | 1.97 | 12.82 | 0.3  |      | 15.43 |      | 99.99 |
| 12-5 *           | 9.09  | 52.88 | 0.31 | 0.13      | 0.63 | 35.31 |      |      | 1.65  |      | 100   |
| 12-6 *           | 7.26  | 53.74 | 0.46 | 0.64      | 1.18 | 36.15 |      |      | 0.56  |      | 99.99 |
| 12-7             | 23.09 | 47.91 | 0.28 | 0.39      | 1.51 | 17.18 | 0.19 |      | 9.44  |      | 99.99 |
| 12-8             | 24.92 | 41.85 | 0.31 | 0.71      | 2.99 | 9.77  | 0.23 | 0.67 | 13.34 | 5.21 | 100   |

\*Análisis sobre un agregado Silíceo

Fuente: Construcción propia

Con base en los resultados de los microanálisis cuantitativos con el detector de espectroscopía por dispersión de energía de rayos X (EDX) sobre los diferentes sectores en la pasta cementante hacia la parte más superior en la muestra 12 (2017), se observó un alto contenido de elementos como el Oxígeno, Carbono, Silicio y Calcio, tal cual como se sintetizó en la tabla anterior.

En las siguientes imágenes se observan los análisis de varios sectores con el fin de caracterizar la textura y composición química de la pasta cementante hacia la parte más superior hasta una profundidad de 1 mm, de la muestra 13 (2021), destacándose la textura y composición en cada sector analizado.



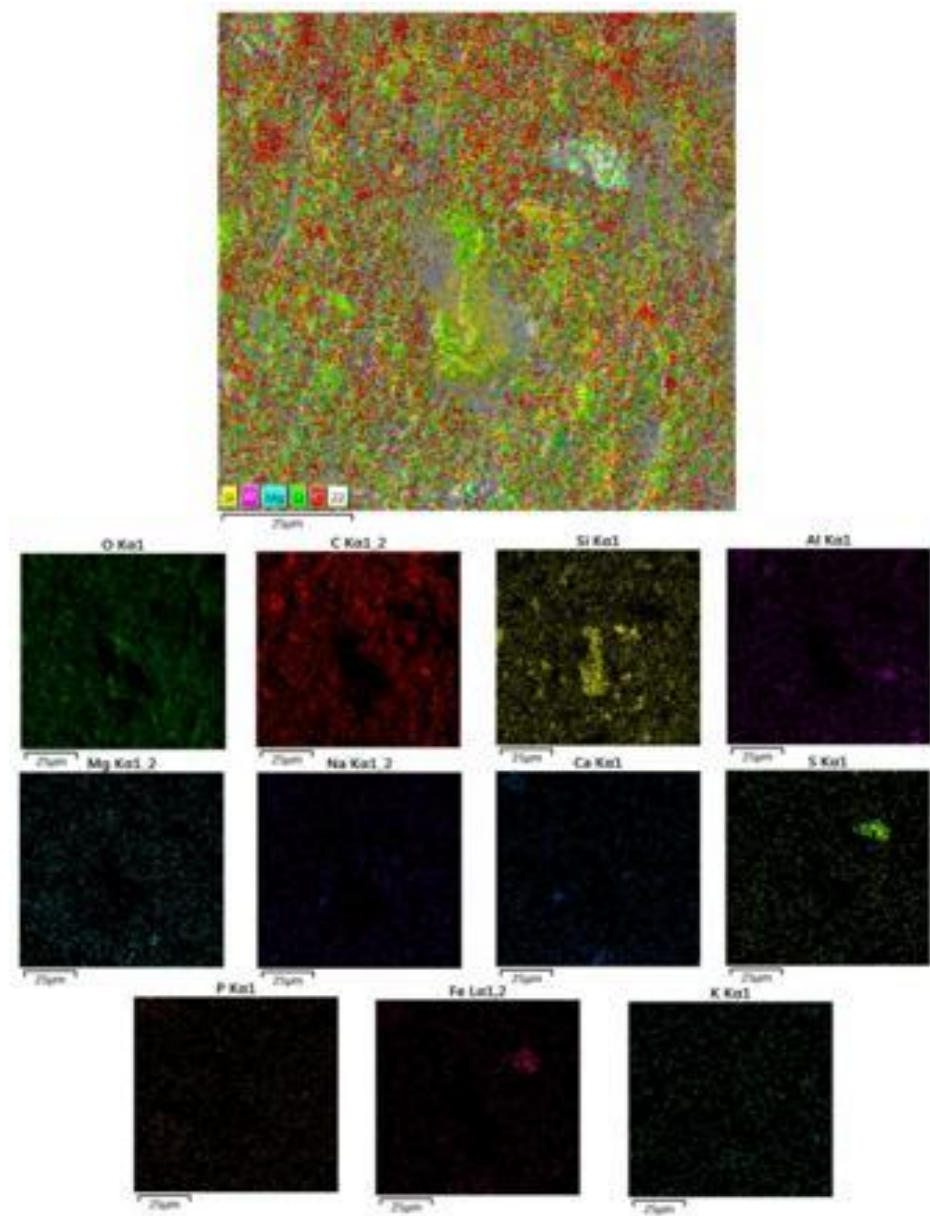
**Figura 50.** Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente de la muestra de concreto 13 (2021).

Fuente: construcción propia.

En la figura 50, se resaltó la textura isotrópica y color de la pasta cementante carbonatada (PCcor) en la parte más superior de la muestra, del avance de la corrosión (primera línea punteada de color amarillo), la textura y color de la pasta cementante carbonatada (PCcar), del frente de carbonatación (segunda línea punteada de color amarillo) y de la textura y el color de la pasta cementante sana (PC). Así mismo, se muestra los ocho sectores (recuadros de color rojo) en donde se realizó el microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX). Vistas con nicoles paralelos y nicoles cruzados, respectivamente (A y B).

En las siguientes imágenes se observa el análisis del primer sector de la muestra 13 (2021), destacando la textura y la composición de la zona estudiada:





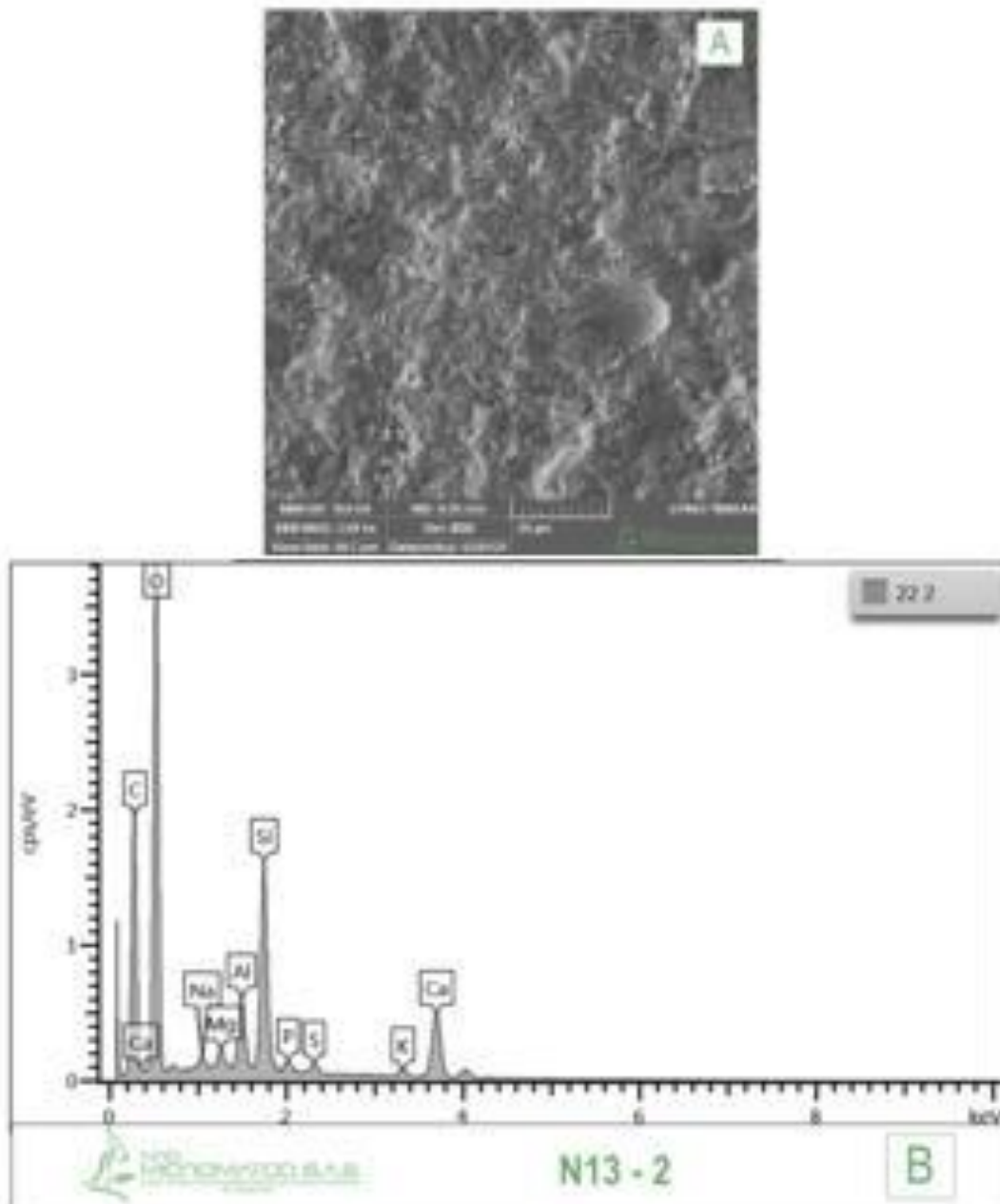
**Figura 52.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del primer sector de la muestra de concreto 13 (2021).  
Fuente: construcción propia.

**Tabla 17.**  
*Composición química sector 1 muestra 13 (2021)*

| Primer<br>sector de la<br>muestra 13 | Composición química |           |      |      |      |      |       |      |      |     |     |      |       |
|--------------------------------------|---------------------|-----------|------|------|------|------|-------|------|------|-----|-----|------|-------|
|                                      | Elemento            | C         | O    | Na   | Mg   | Al   | Si    | P    | S    | K   | Ca  | Fe   | Total |
|                                      | Sector analizado    | % en peso |      |      |      |      |       |      |      |     |     |      |       |
|                                      | 13-1                | 46.92     | 32.3 | 0.48 | 0.56 | 2.78 | 10.24 | 0.42 | 0.67 | 0.7 | 2.2 | 2.73 | 100   |

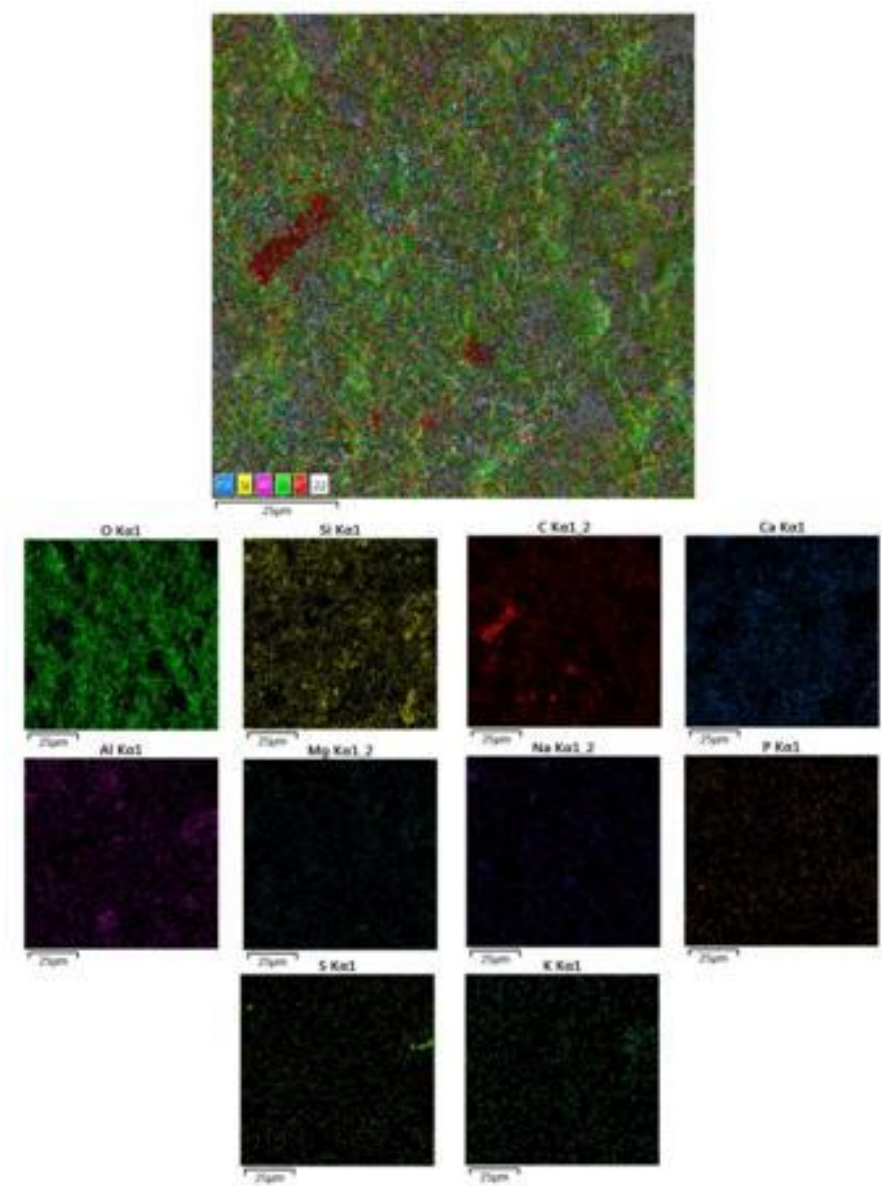
Fuente: Construcción propia

En las siguientes imágenes se observa el análisis del segundo sector de la muestra 13 (2021), destacando la textura y la composición de la zona estudiada:



**Figura 53.** Microfotografías de la muestra de concreto 13 (2021) sector 2.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 53, se muestra lo siguiente: A. Vista del sector 2 de la muestra 13 (2021) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis.



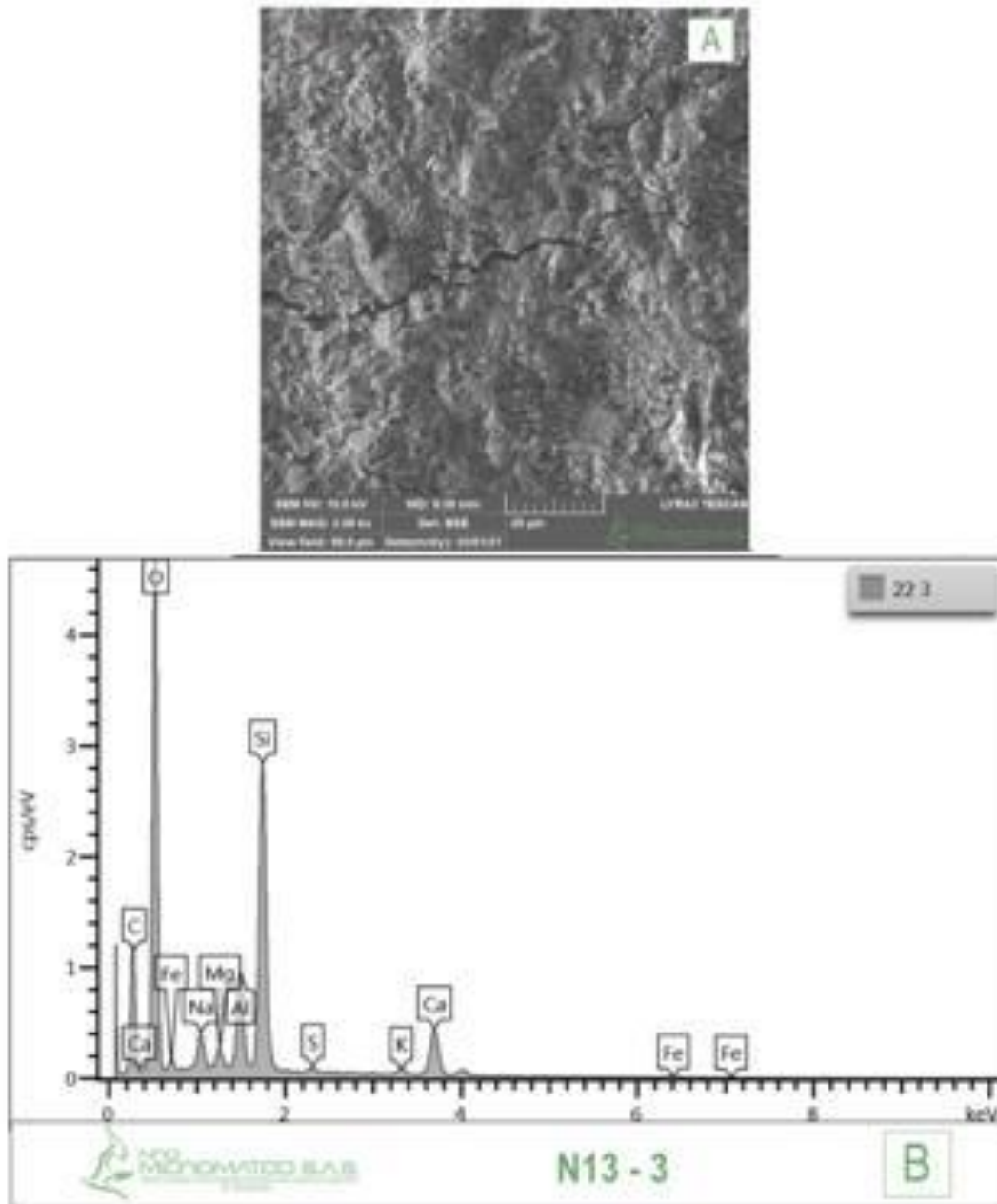
**Figura 54.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del segundo sector de la muestra de concreto 13 (2021).  
Fuente: construcción propia.

**Tabla 18.**  
*Composición química sector 2 muestra 13 (2021)*

| Segundo<br>sector de la<br>muestra 13 | Composición química |           |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|---------------------------------------|---------------------|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|                                       | Elemento            | C         | O     | Na   | Mg   | Al   | Si   | P    | S    | K    | Ca    | Total |
|                                       | Sector analizado    | % en peso |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|                                       | 13-2                | 32.67     | 42.02 | 0.45 | 0.71 | 2.92 | 9.15 | 0.62 | 0.58 | 0.84 | 10.02 | 99.98 |

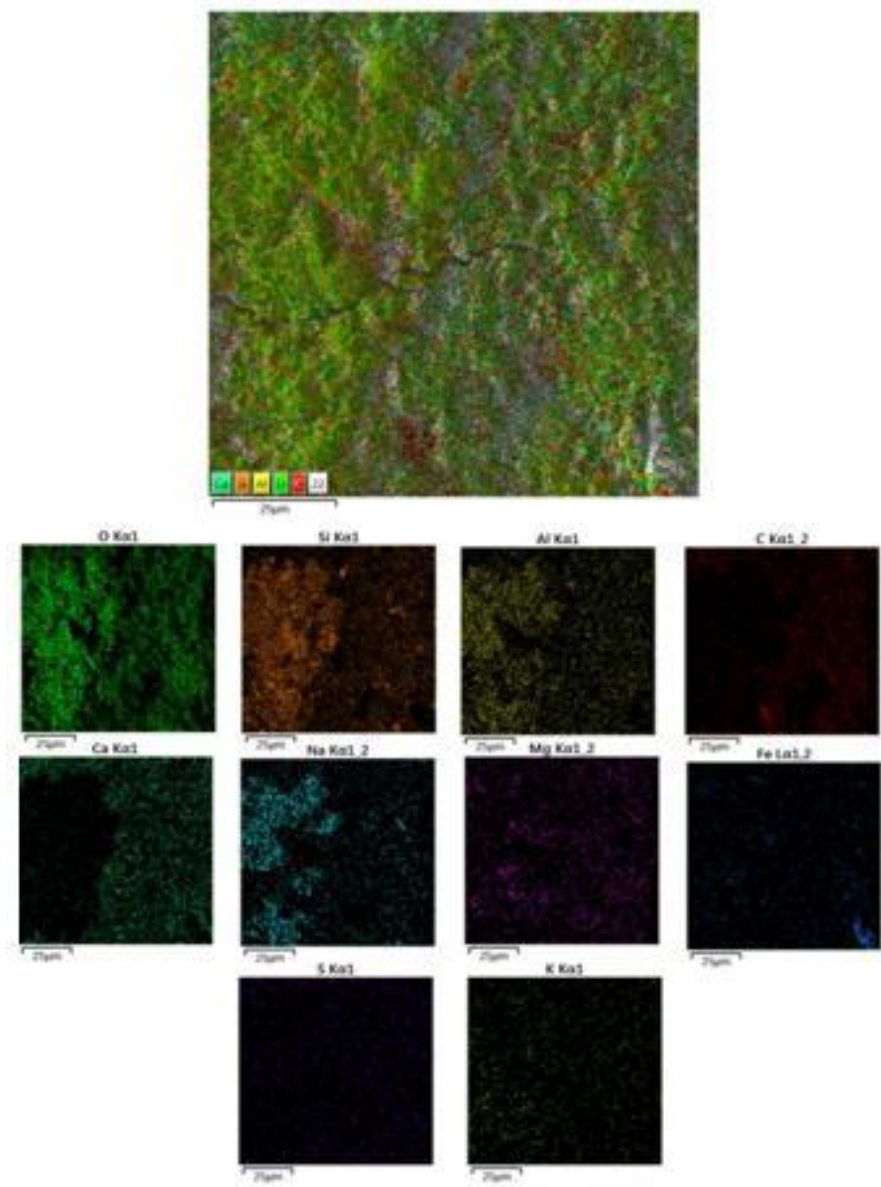
Fuente: Construcción propia

En las siguientes imágenes se observa el análisis del tercer sector de la muestra 13 (2021), destacando la textura y la composición de la zona estudiada:



**Figura 55.** Microfotografías de la muestra de concreto 13 (2021) sector 3.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 55, se muestra lo siguiente: A. Vista del sector 3 de la muestra 13 (2021) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis.



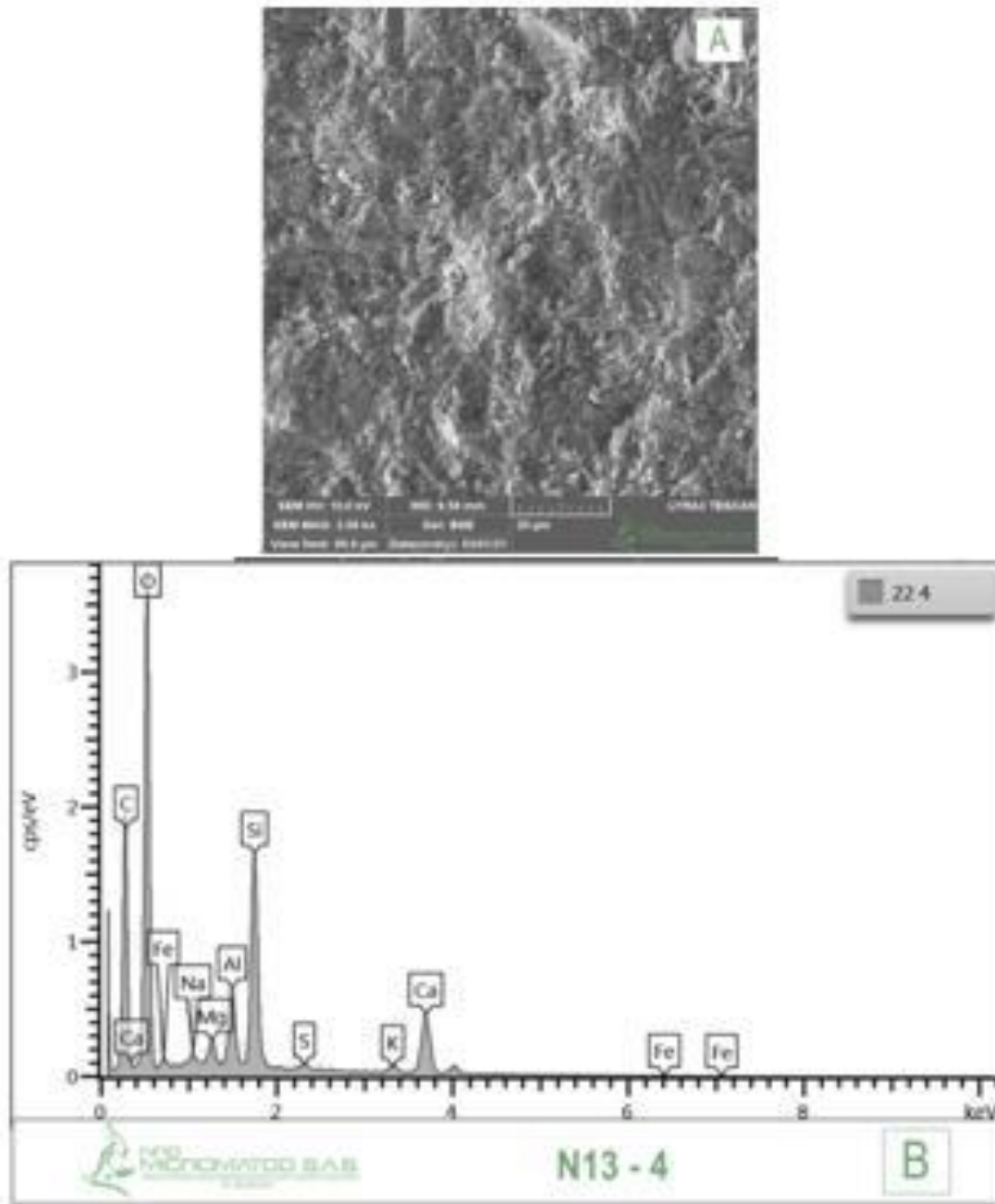
**Figura 56.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del tercer sector de la muestra de concreto 13 (2021).  
Fuente: construcción propia.

**Tabla 19.**  
*Composición química sector 3 muestra 13 (2021)*

| Tercer     | Composición química |           |       |      |      |      |       |      |      |      |     |       |
|------------|---------------------|-----------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|-----|-------|
| sector de  | Elemento            | C         | O     | Na   | Mg   | Al   | Si    | S    | K    | Ca   | Fe  | Total |
| la muestra | Sector analizado    | % en peso |       |      |      |      |       |      |      |      |     |       |
| 13         | 13-3                | 22.59     | 41.37 | 1.71 | 0.76 | 4.24 | 15.64 | 0.34 | 0.79 | 7.85 | 4.7 | 99.99 |

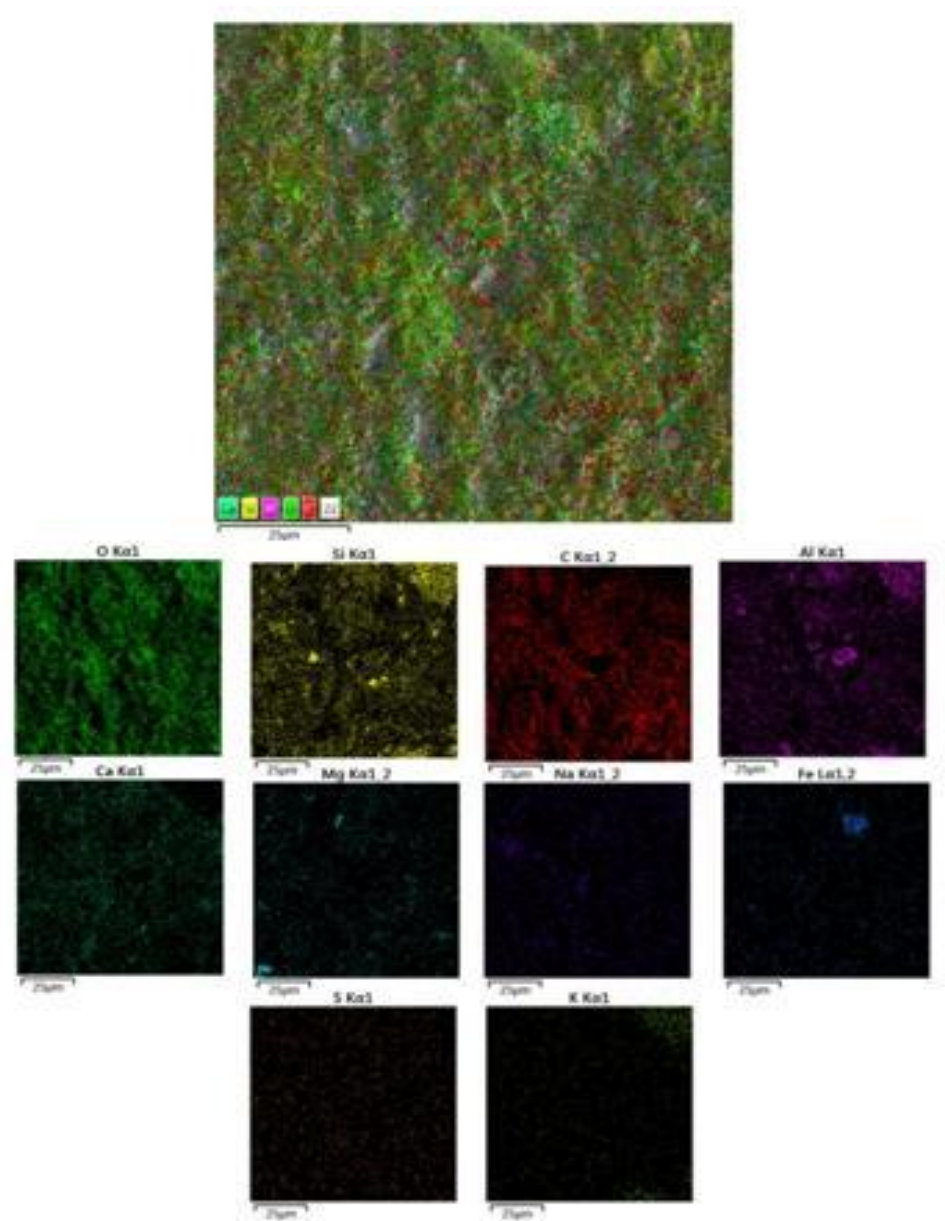
Fuente: Construcción propia

En las siguientes imágenes se observa el análisis del cuarto sector de la muestra 13 (2021), destacando la textura y la composición de la zona estudiada:



**Figura 57.** Microfotografías de la muestra de concreto 13 (2021) sector 4.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 57, se muestra lo siguiente: A. Vista del sector 4 de la muestra 13 (2021) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis.



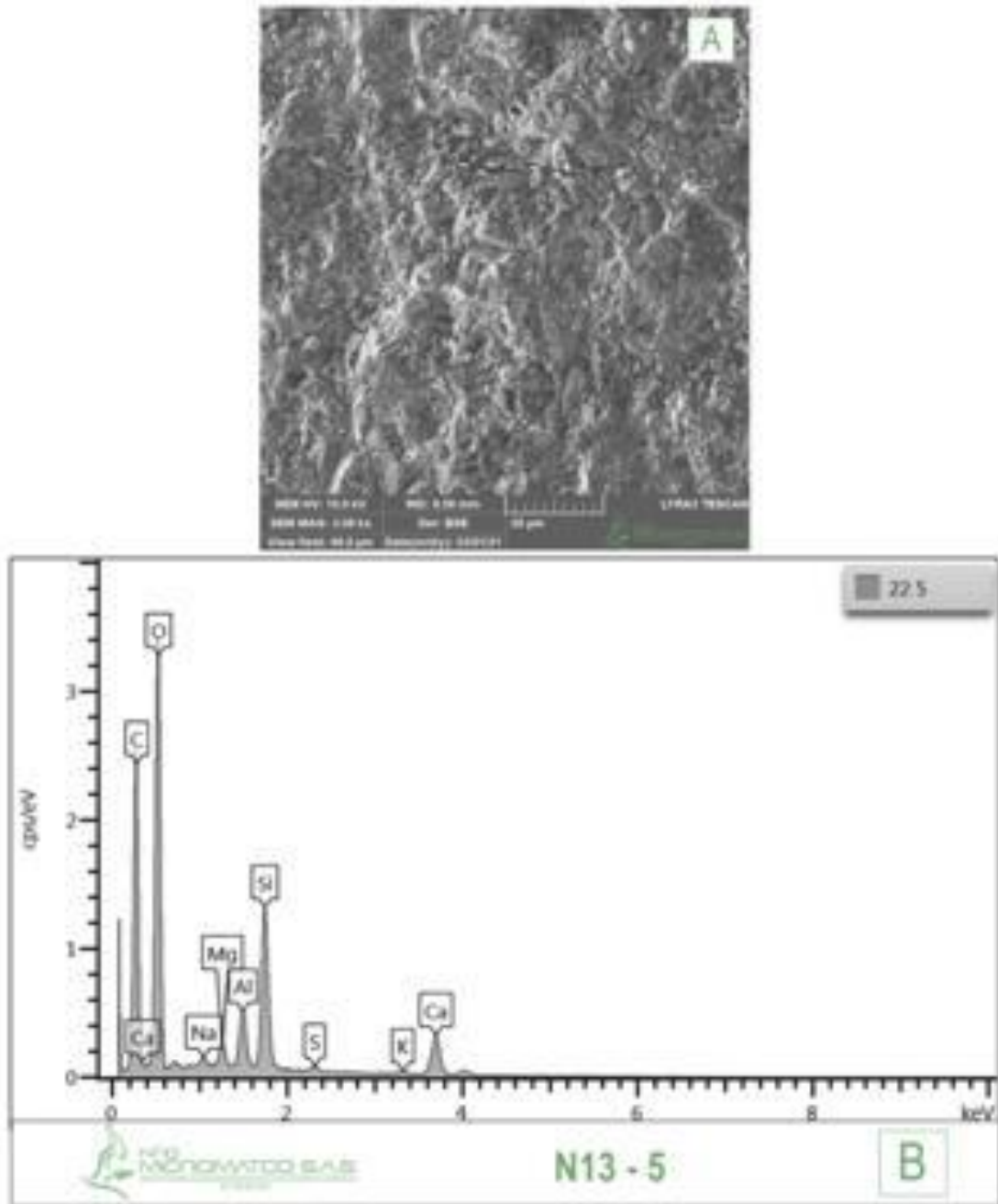
**Figura 58.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del cuarto sector de la muestra de concreto 13 (2021).  
Fuente: construcción propia.

**Tabla 20.**  
*Composición química sector 4 muestra 13 (2021)*

| Cuarto sector de la muestra 13 | Composición química |           |       |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|--------------------------------|---------------------|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|                                | Elemento            | C         | O     | Na   | Mg   | Al   | Si   | S    | K    | Ca   | Fe   | Total |
|                                | Sector analizado    | % en peso |       |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|                                | 13-4                | 31.71     | 40.05 | 0.34 | 0.95 | 3.13 | 9.87 | 0.35 | 0.78 | 9.16 | 3.66 | 100   |

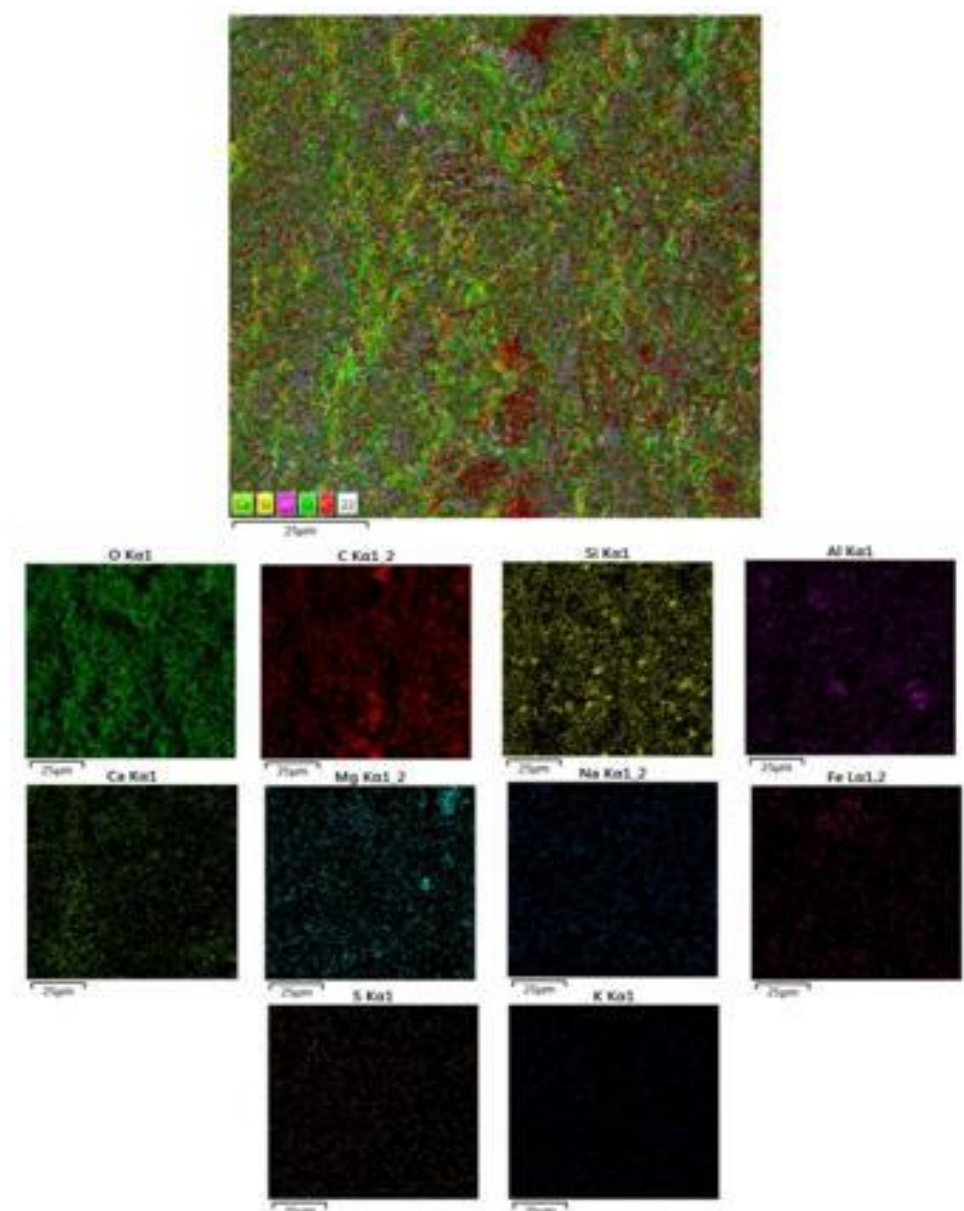
Fuente: Construcción propia

En las siguientes imágenes se observa el análisis del quinto sector de la muestra 13 (2021), destacando la textura y la composición de la zona estudiada:



**Figura 59.** Microfotografías de la muestra de concreto 13 (2021) sector 5.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 59, se muestra lo siguiente: A. Vista del sector 5 de la muestra 13 (2021) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis.



**Figura 60.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del quinto sector de la muestra de concreto 13 (2021).  
Fuente: construcción propia.

**Tabla 21.**

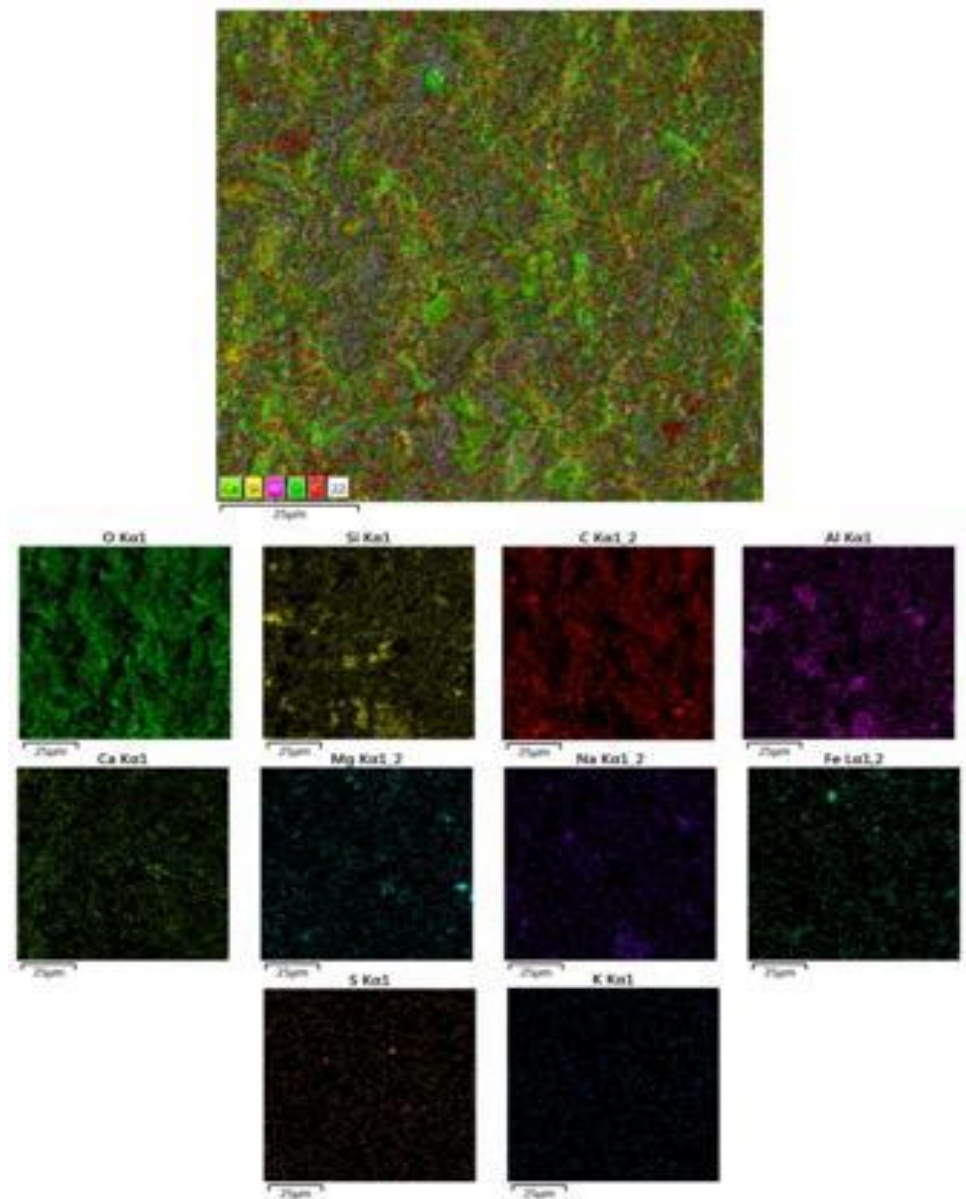
*Composición química sector 5 muestra 13 (2021)*

| Quinto<br>sector de la<br>muestra 13 | Elemento<br>Sector analizado<br>13-5 | Composición química |       |     |      |      |      |     |     |      | Total  |
|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|-------|-----|------|------|------|-----|-----|------|--------|
|                                      |                                      | C                   | O     | Na  | Mg   | Al   | Si   | S   | K   | Ca   |        |
|                                      |                                      | 39.95               | 40.41 | 0.4 | 0.97 | 2.64 | 8.29 | 0.4 | 0.3 | 6.65 | 100.01 |

Fuente: Construcción propia

En las siguientes imágenes se observa el análisis del sexto sector de la muestra 13 (2021), destacando la textura y la composición de la zona estudiada:





**Figura 62.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del sexto sector de la muestra de concreto 13 (2021).  
Fuente: construcción propia.

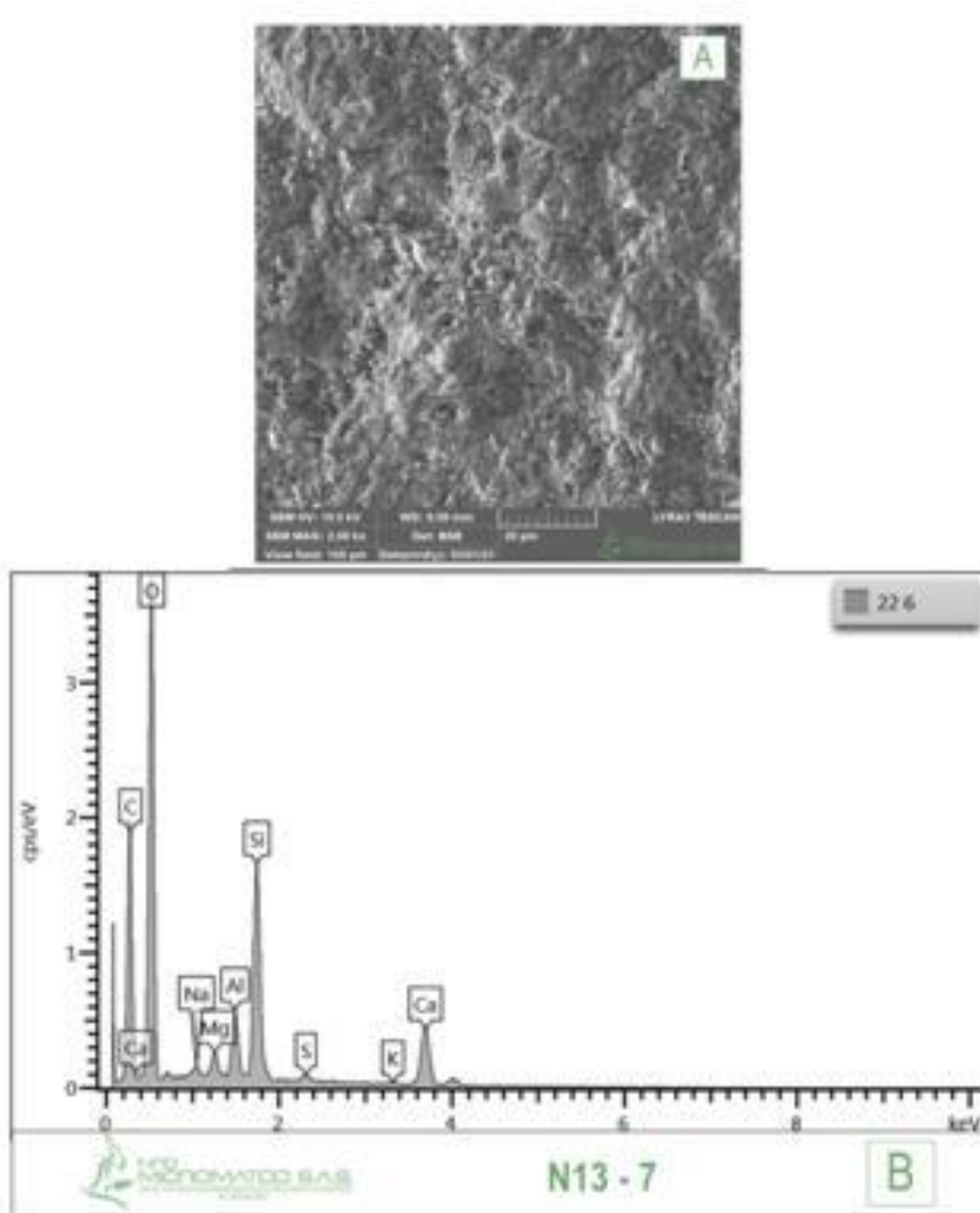
**Tabla 22.**

*Composición química sector 6 muestra 13 (2021)*

| Sexto<br>sector de la<br>muestra 13 | Composición química |           |       |      |      |      |       |      |      |      |      |       |
|-------------------------------------|---------------------|-----------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|
|                                     | Elemento            | C         | O     | Na   | Mg   | Al   | Si    | S    | K    | Ca   | Fe   | Total |
|                                     | Sector analizado    | % en peso |       |      |      |      |       |      |      |      |      |       |
|                                     | 13-6                | 35.45     | 39.47 | 0.52 | 0.92 | 3.11 | 10.28 | 0.37 | 0.37 | 6.41 | 3.09 | 99.99 |

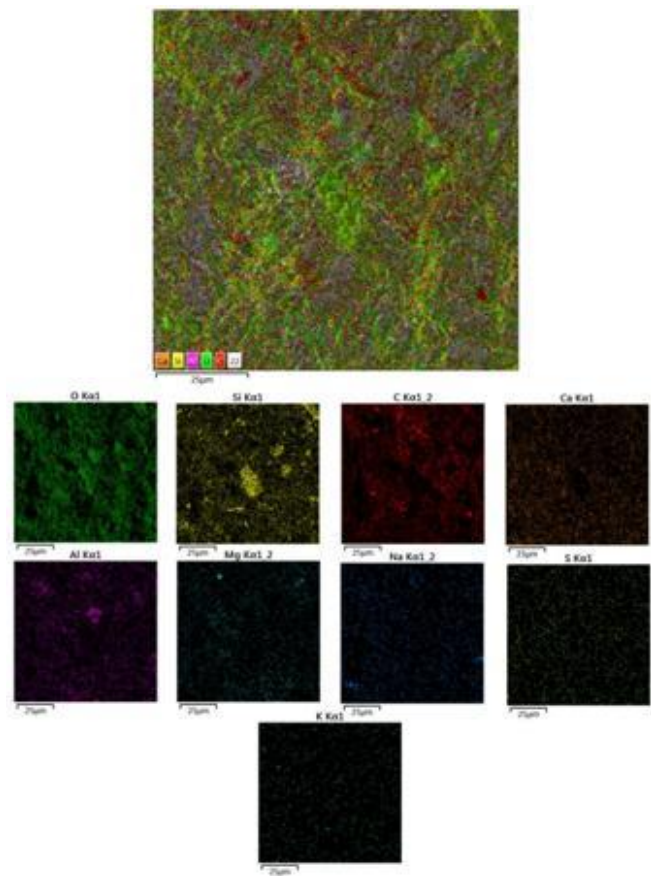
Fuente: Construcción propia

En las siguientes imágenes se observa el análisis del séptimo sector de la muestra 13 (2021), destacando la textura y la composición de la zona estudiada:



**Figura 63.** Microfotografías de la muestra de concreto 13 (2021) sector 7.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 63, se muestra lo siguiente: A. Vista del sector 7 de la muestra 13 (2021) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis.



**Figura 64.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del séptimo sector de la muestra de concreto 13 (2021).  
Fuente: construcción propia.

**Tabla 23.**  
*Composición química sector 7 muestra 13 (2021)*

| Séptimo<br>sector de la<br>muestra 13 | Composición química |           |       |     |      |      |       |      |      |      |       |
|---------------------------------------|---------------------|-----------|-------|-----|------|------|-------|------|------|------|-------|
|                                       | Elemento            | C         | O     | Na  | Mg   | Al   | Si    | S    | K    | Ca   | Total |
|                                       | Sector analizado    | % en peso |       |     |      |      |       |      |      |      |       |
|                                       | 13-7                | 32.75     | 42.94 | 0.4 | 0.87 | 2.76 | 10.14 | 0.38 | 0.27 | 9.49 | 100   |

Fuente: Construcción propia

**Tabla 24.**

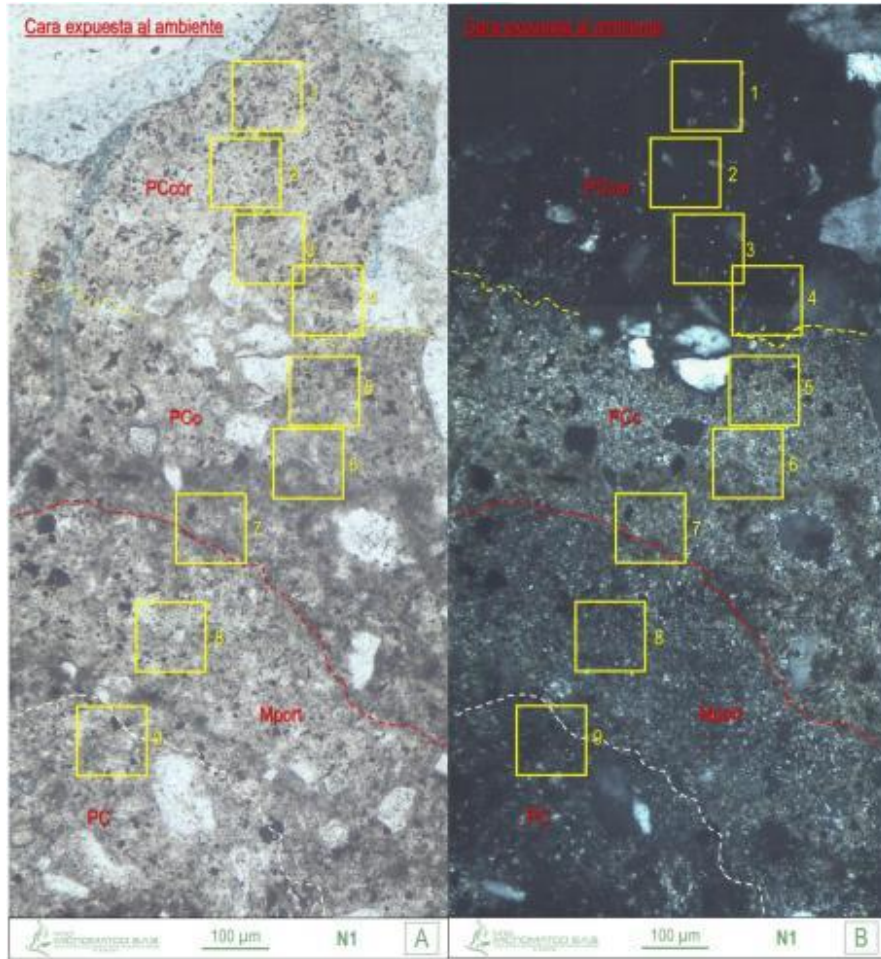
*Composición química de varios sectores en la pasta cementante hacia la parte más superior en la muestra 13 (2021)*

| Sector analizado | % en peso |       |      |      |      |       |      |      |      |       |      | Total  |
|------------------|-----------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|--------|
| Elemento         | C         | O     | Na   | Mg   | Al   | Si    | P    | S    | K    | Ca    | Fe   |        |
| 13-1             | 46.92     | 32.3  | 0.48 | 0.56 | 2.78 | 10.24 | 0.42 | 0.67 | 0.7  | 2.2   | 2.73 | 100    |
| 13-2             | 32.67     | 42.02 | 0.45 | 0.71 | 2.92 | 9.15  | 0.62 | 0.58 | 0.84 | 10.02 |      | 99.98  |
| 13-3             | 22.59     | 41.37 | 1.71 | 0.76 | 4.24 | 15.64 |      | 0.34 | 0.79 | 7.85  | 4.7  | 99.99  |
| 13-4             | 31.71     | 40.05 | 0.34 | 0.95 | 3.13 | 9.87  |      | 0.35 | 0.78 | 9.16  | 3.66 | 100    |
| 13-5             | 39.95     | 40.41 | 0.4  | 0.97 | 2.64 | 8.29  |      | 0.4  | 0.3  | 6.65  |      | 100.01 |
| 13-6             | 35.45     | 39.47 | 0.52 | 0.92 | 3.11 | 10.28 |      | 0.37 | 0.37 | 6.41  | 3.09 | 99.99  |
| 13-7             | 32.75     | 42.94 | 0.4  | 0.87 | 2.76 | 10.14 |      | 0.38 | 0.27 | 9.49  |      | 100    |

Fuente: Construcción propia

Con base en los resultados de los microanálisis cuantitativos con el detector de espectroscopía por dispersión de energía de rayos X (EDX) sobre los diferentes sectores en la pasta cementante hacia la parte más superior en la muestra 13 (2021), se observó un alto contenido de elementos como el Oxígeno, Carbono, Silicio y Calcio, tal cual como se sintetizó en la tabla anterior.

En las siguientes imágenes se observan los análisis de varios sectores con el fin de caracterizar la textura y composición química de la pasta cementante hacia la parte más superior hasta una profundidad de 1 mm, de la muestra 14 (2023), destacándose la textura y composición en cada sector analizado.

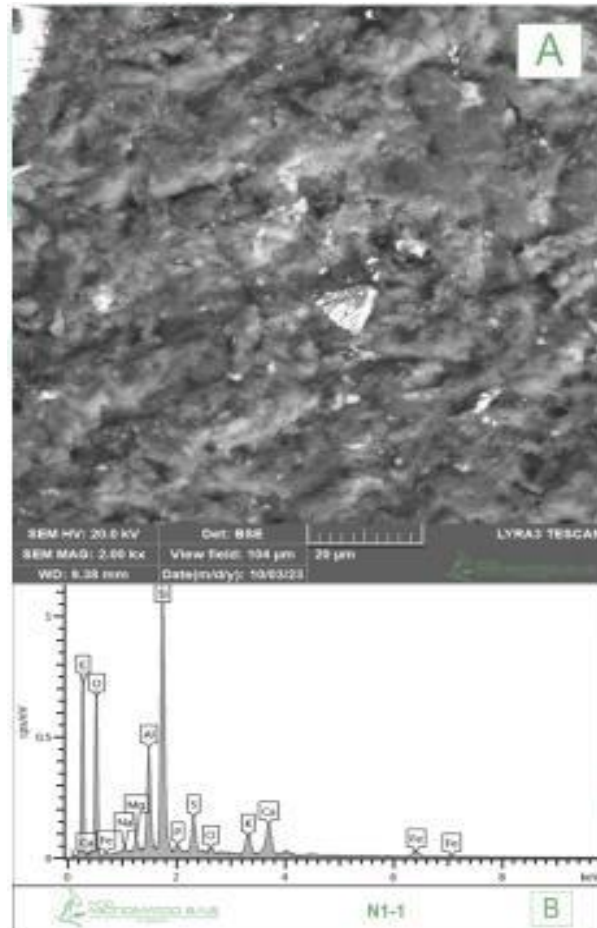


**Figura 65.** Microfotografías bajo el microscopio petrográfico en corte desde la superficie de exposición al ambiente de la muestra de concreto 14 (2023).

Fuente: construcción propia.

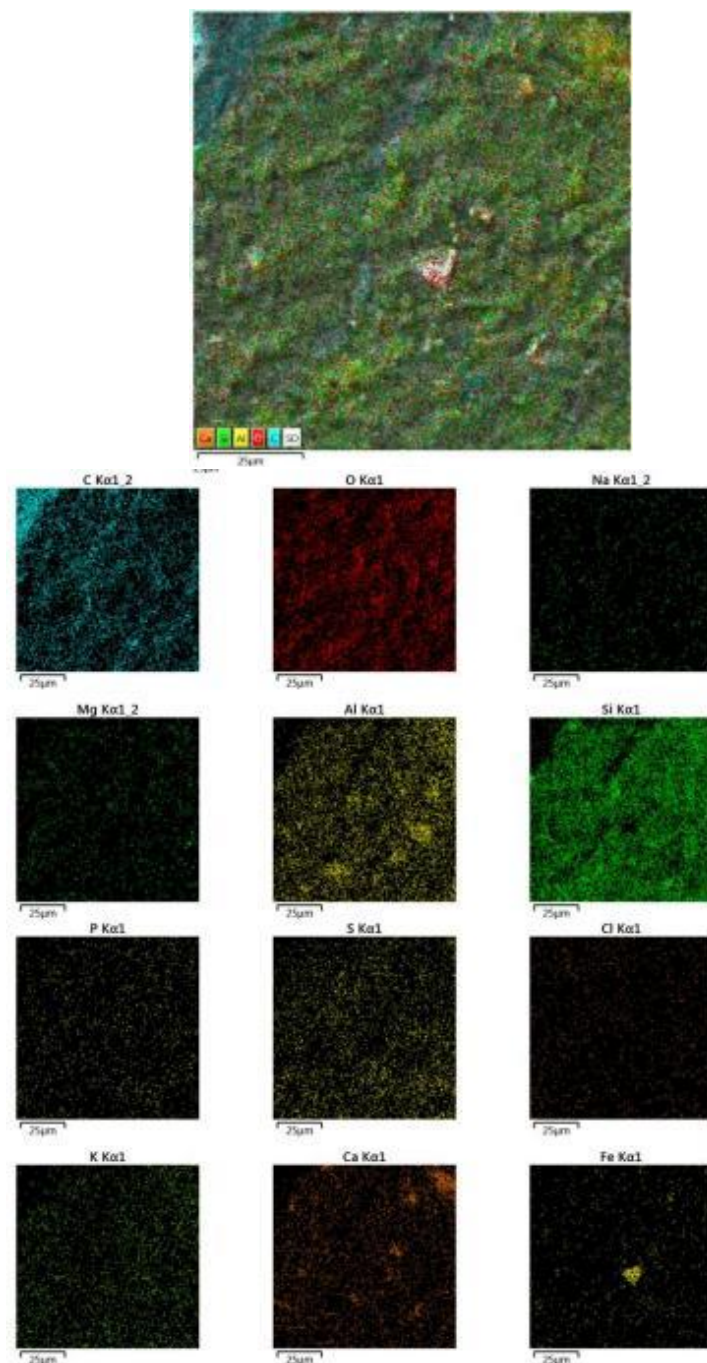
En la figura 65, se resaltó la textura isotrópica y color de la pasta cementante corroída (PCcor) en la parte más superior de la muestra, del avance de la corrosión (línea punteada de color amarillo), la textura y color de la pasta cementante carbonatada (PCc), del frente de carbonatación (línea punteada de color rojo) del sector con una alta concentración de microcristales de portlandita (línea punteada de color blanco) y de la textura y el color de la pasta cementante sana (PC). Asimismo se muestran los nueve sectores (recuadros de color amarillo) en donde se realizó el microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX). Vistas con nicols paralelos y nicols cruzados, respectivamente (A y B).

En las siguientes imágenes se observa el análisis del primer sector, destacándose la textura y la composición de la zona estudiada:



**Figura 66.** Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 1.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 66., se muestra lo siguiente: A. Vista del sector 1 de la muestra 14 (2023) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, a un aumento de 2000 X y un campo visual de 104 µm, microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis.

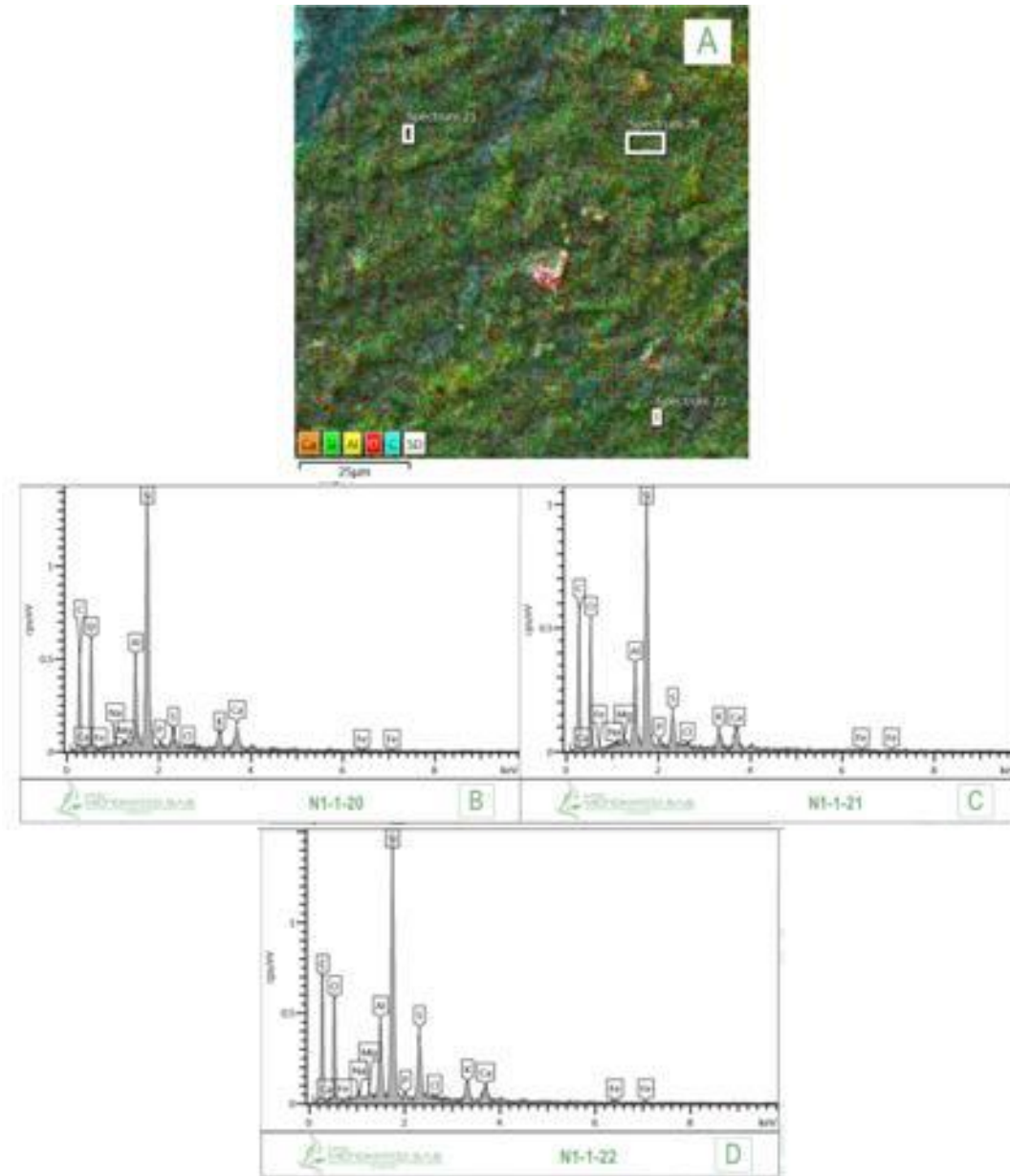


**Figura 67.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del primer sector de la muestra de concreto 14 (2023).  
Fuente: construcción propia.

**Tabla 25.**  
*Composición química sector 1 muestra 14 (2023)*

| Primer sector<br>de la muestra<br>14 | Composición química |           |       |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |       |
|--------------------------------------|---------------------|-----------|-------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
|                                      | Elemento            | C         | O     | Na   | Mg   | Al   | Si  | P    | S    | Cl   | K    | Ca   | Fe   | Total |
|                                      | Sector analizado    | % en peso |       |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |       |
|                                      | 14-1                | 50.14     | 33.11 | 0.21 | 0.42 | 3.05 | 7.9 | 0.23 | 1.29 | 0.22 | 0.99 | 1.62 | 0.81 | 99.99 |

Fuente: construcción propia.



**Figura 68.** Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 1 con tres microanálisis.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 68, se muestra lo siguiente A. Lugares del sector 1 donde se realizó tres microanálisis cuantitativos areales con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX). B. Espectro de emisión de rayos X del primer microanálisis areal. C. Espectro de emisión de rayos X del segundo microanálisis areal. C. Espectro de emisión de rayos X del tercero microanálisis areal.

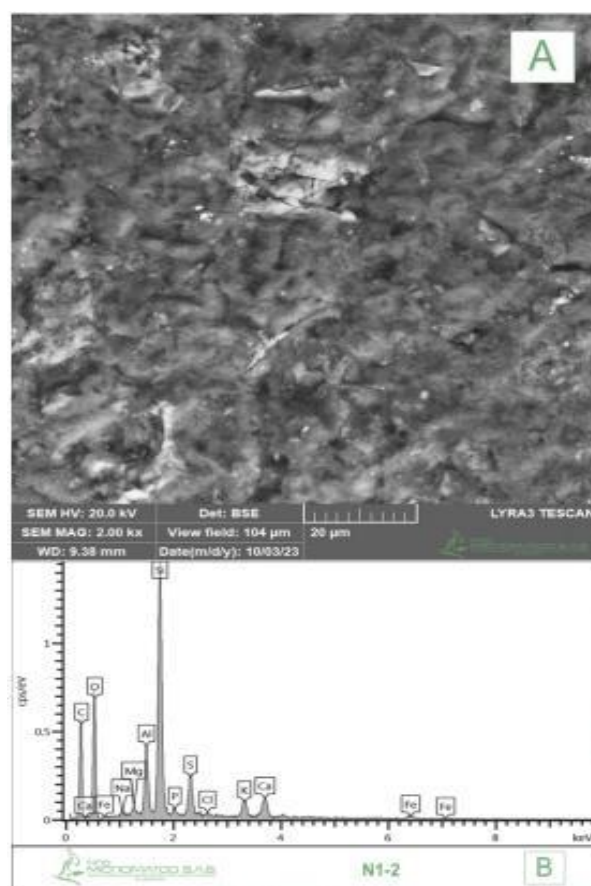
**Tabla 26.***Composición química sector 1' muestra 14 (2023)*

| Primer sector de la muestra | Composición química |           |       |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |       |
|-----------------------------|---------------------|-----------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|
|                             | Elemento            | C         | O     | Na   | Mg   | Al   | Si    | P    | S    | Cl   | K    | Ca   | Fe   | Total |
|                             | Sector analizado    | % en peso |       |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |       |
| 14                          | 14-1'-1             | 46.76     | 33.35 | 0.2  | 0.13 | 3.82 | 11.04 | 0.2  | 1.16 | 0.08 | 1.49 | 1.62 | 0.14 | 99.99 |
|                             | 14-1'-2             | 50.5      | 32.22 | 0.03 | 0.25 | 3    | 9.14  | 0.28 | 1.6  | 0.24 | 1.01 | 1.64 | 0.09 | 100   |
|                             | 14-1'-3             | 52.05     | 29.48 | 0.25 | 0.33 | 2.97 | 9.06  | 0.29 | 2.79 | 0.16 | 1.21 | 1.04 | 0.37 | 100   |

Fuente:

Construcción propia

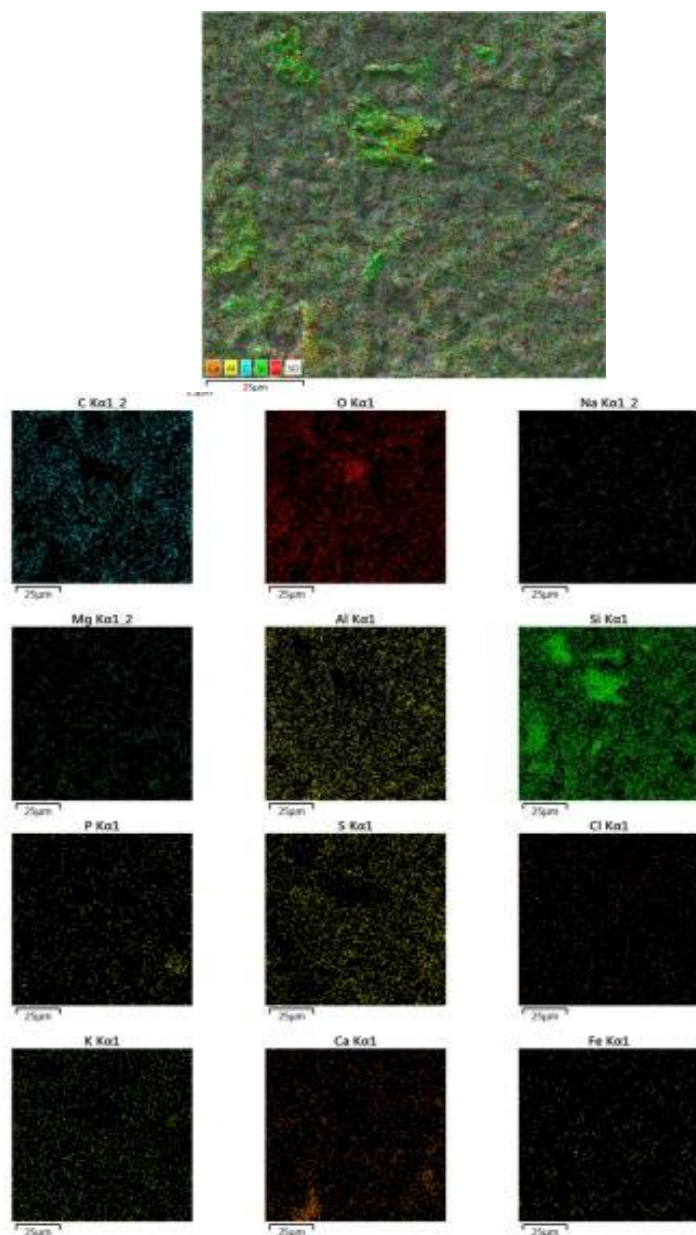
En las siguientes imágenes se observa el análisis del segundo sector, destacándose la textura y la composición de la zona estudiada:

**Figura 69.** Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 2.

Fuente: construcción propia.

En la figura 69, se muestra lo siguiente: A. Vista del sector 2 de la muestra 14 (2023) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, a un aumento de 2000 X y un

campo visual de 104  $\mu\text{m}$ , microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis



**Figura 70.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del segundo sector de la muestra de concreto 14 (2023).  
Fuente: construcción propia.

**Tabla 27.**  
*Composición química sector 2 muestra 14 (2023)*

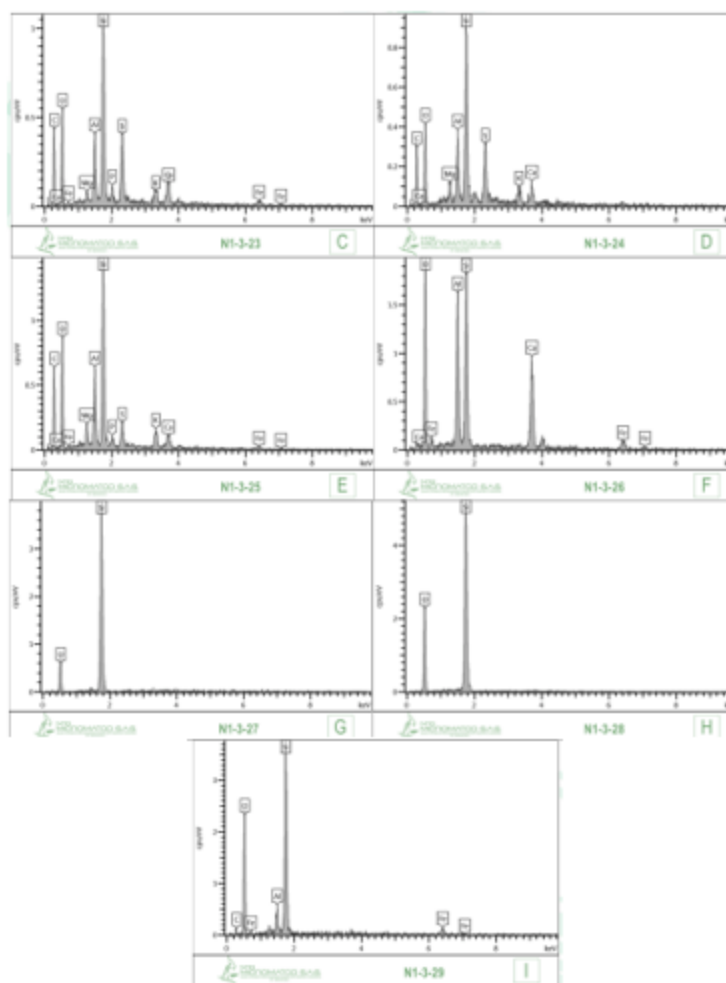
| Composición química sector 2 muestra 14 (2023) |                     |           |       |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |       |       |
|------------------------------------------------|---------------------|-----------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Primer sector<br>de la muestra<br>14           | Composición química |           |       |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |       |       |
|                                                | Elemento            | C         | O     | Na   | Mg   | Al   | Si    | P    | S    | Cl   | K    | Ca   | Fe   | Total |       |
|                                                | Sector analizado    | % en peso |       |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |       |       |
|                                                | 14-2                | 45.14     | 34.62 | 0.32 | 0.39 | 3.02 | 10.52 | 0.36 | 2.14 | 0.18 | 1.16 | 1.48 | 0.66 |       | 99.99 |

Fuente: Construcción propia



**Figura 71.** Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 3.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 71, se muestra lo siguiente: A. Vista del sector 3 y 3' de la muestra 14 (2023) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, a un aumento de 2000 X y un campo visual de 104 µm, microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis.



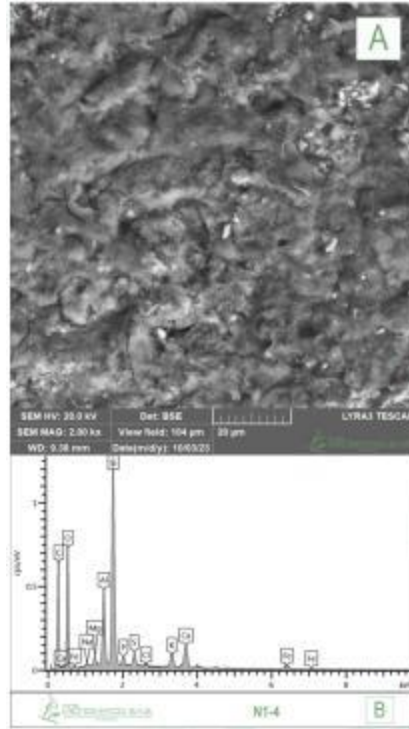
**Figura 72.** Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 3'.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 72, Se muestra el espectro de emisión de rayos X del primer al sexto microanálisis areal desde la C hasta la I respectivamente.

**Tabla 28.**  
*Composición química sector 3 muestra 14 (2023)*

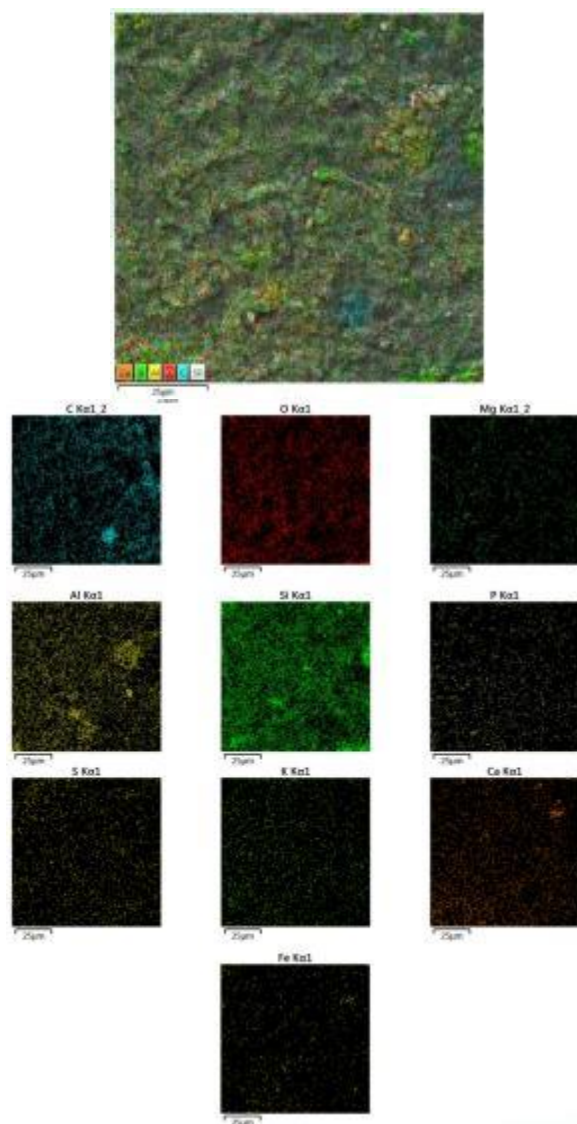
|                                |        | Composición química |       |      |       |       |      |      |      |       |      | Total |
|--------------------------------|--------|---------------------|-------|------|-------|-------|------|------|------|-------|------|-------|
| Elemento                       |        | C                   | O     | Mg   | Al    | Si    | P    | S    | K    | Ca    | Fe   |       |
| Sector analizado               |        | % en peso           |       |      |       |       |      |      |      |       |      |       |
| Cuarto sector de la muestra 14 | 14-3-1 | 45.02               | 32.31 | 0.49 | 3.42  | 9.02  | 0.83 | 4.31 | 1.22 | 2.43  | 0.94 | 99.99 |
|                                | 14-3-2 | 44.93               | 31.86 | 1.36 | 3.76  | 10.32 |      | 4.37 | 1.56 | 1.83  |      | 99.99 |
|                                | 14-3-3 | 43.93               | 35.79 | 1.41 | 3.92  | 9.74  | 0.52 | 1.61 | 1.35 | 1.24  | 0.48 | 99.99 |
|                                | 14-3-4 |                     | 55.95 |      | 12.74 | 16.86 |      |      |      | 11.33 | 3.12 | 100   |
|                                | 14-3-5 |                     | 44.58 |      |       | 55.42 |      |      |      |       |      | 100   |
|                                | 14-3-6 |                     | 59.41 |      |       | 40.59 |      |      |      |       |      | 100   |
|                                | 14-3-7 | 12.58               | 53.89 |      | 3.41  | 26.76 |      |      |      |       | 3.36 | 100   |

Fuente: Construcción propia



**Figura 73.** Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 4.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 73, se muestra lo siguiente: A. Vista del sector 4 de la muestra 14 (2023) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, a un aumento de 2000 X y un campo visual de 104  $\mu\text{m}$ , microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis.



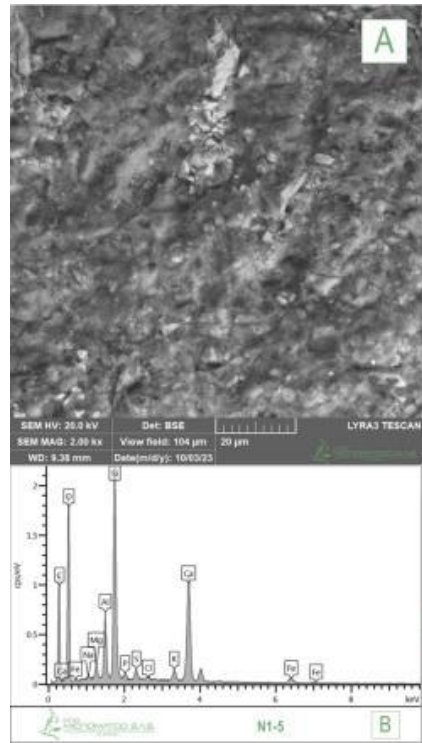
**Figura 74.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del cuarto sector de la muestra de concreto 14 (2023).  
Fuente: construcción propia.

**Tabla 29.**

*Composición química sector 4 muestra 14 (2023)*

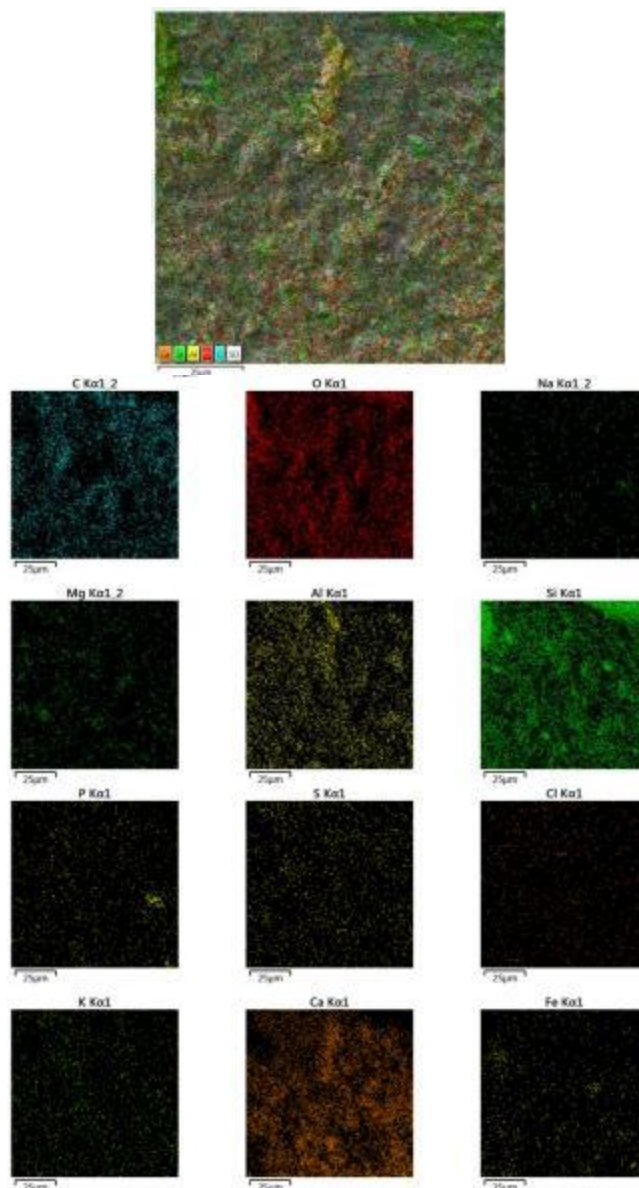
| Composición química sector 14 muestra 14 (2023) |                     |           |       |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |       |     |
|-------------------------------------------------|---------------------|-----------|-------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-------|-----|
| Cuarto sector<br>de la muestra<br>14            | Composición química |           |       |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |       |     |
|                                                 | Elemento            | C         | O     | Na   | Mg   | Al   | Si  | P    | S    | Cl   | K    | Ca   | Fe   | Total |     |
|                                                 | Sector analizado    | % en peso |       |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |       |     |
|                                                 | 14-4                | 45.55     | 35.75 | 0.22 | 0.48 | 3.55 | 9.3 | 0.51 | 0.72 | 0.17 | 1.03 | 1.84 | 0.88 |       | 100 |

Fuente: construcción propia.



**Figura 75.** Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 5.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 75, se muestra lo siguiente: A. Vista del sector 5 de la muestra 14 (2023) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, a un aumento de 2000 X y un campo visual de 104 µm, microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis.

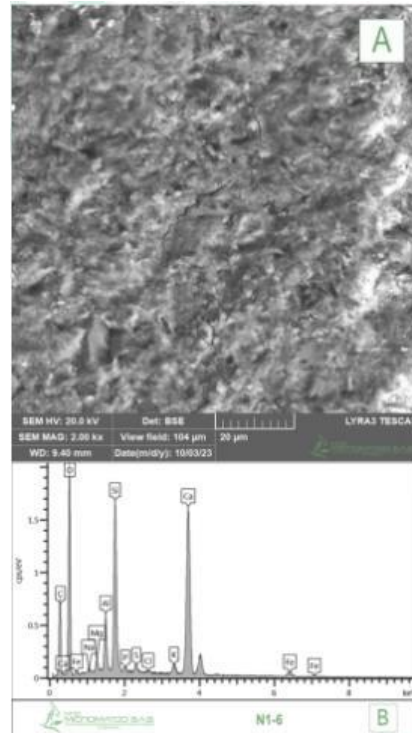


**Figura 76.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del quinto sector de la muestra de concreto 14 (2023).  
Fuente: construcción propia.

**Tabla 30.**  
*Composición química sector 5 muestra 14 (2023)*

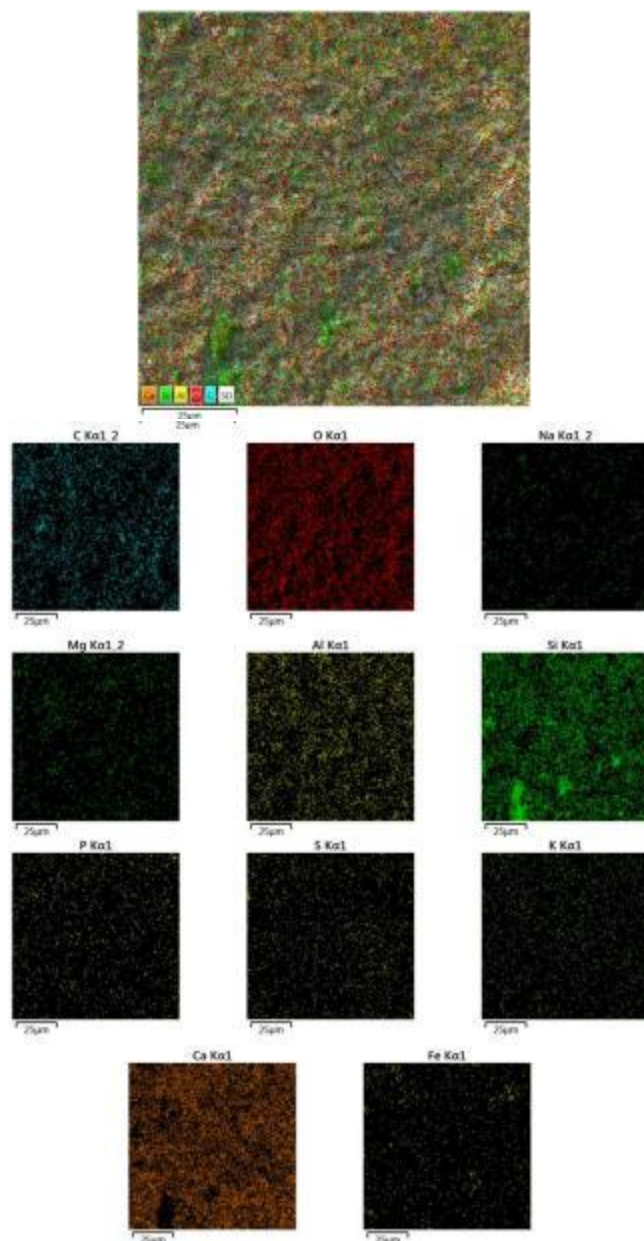
| Quinto<br>sector de<br>la muestra<br>14 | Elemento<br>Sector analizado | Composición química |       |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      | Total  |
|-----------------------------------------|------------------------------|---------------------|-------|------|------|-----|------|-----|------|------|------|------|------|--------|
|                                         |                              | C                   | O     | Na   | Mg   | Al  | Si   | P   | S    | Cl   | K    | Ca   | Fe   |        |
|                                         |                              | % en peso           |       |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |        |
|                                         | 14-5                         | 35.73               | 42.82 | 0.24 | 0.62 | 2.6 | 8.48 | 0.3 | 0.45 | 0.18 | 0.62 | 7.03 | 0.94 | 100.01 |

Fuente: Construcción propia



**Figura 77.** Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 6.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 77, se muestra lo siguiente: A. Vista del sector 6 de la muestra 14 (2023) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, a un aumento de 2000 X y un campo visual de 104  $\mu\text{m}$ , microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis.

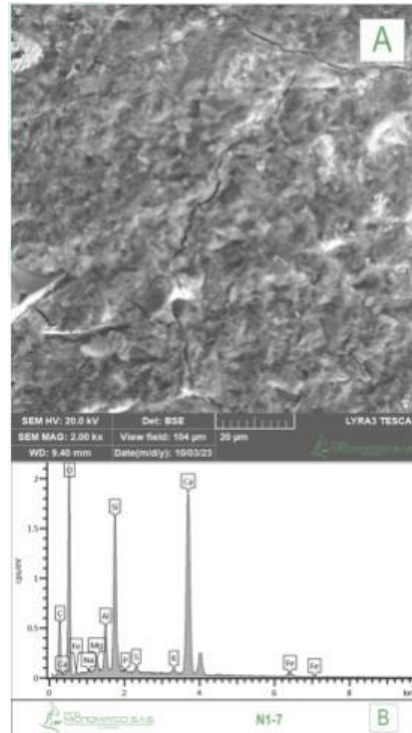


**Figura 78.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del sexto sector de la muestra de concreto 14 (2023).  
Fuente: construcción propia.

**Tabla 31.**  
*Composición química sector 6 muestra 14 (2023)*

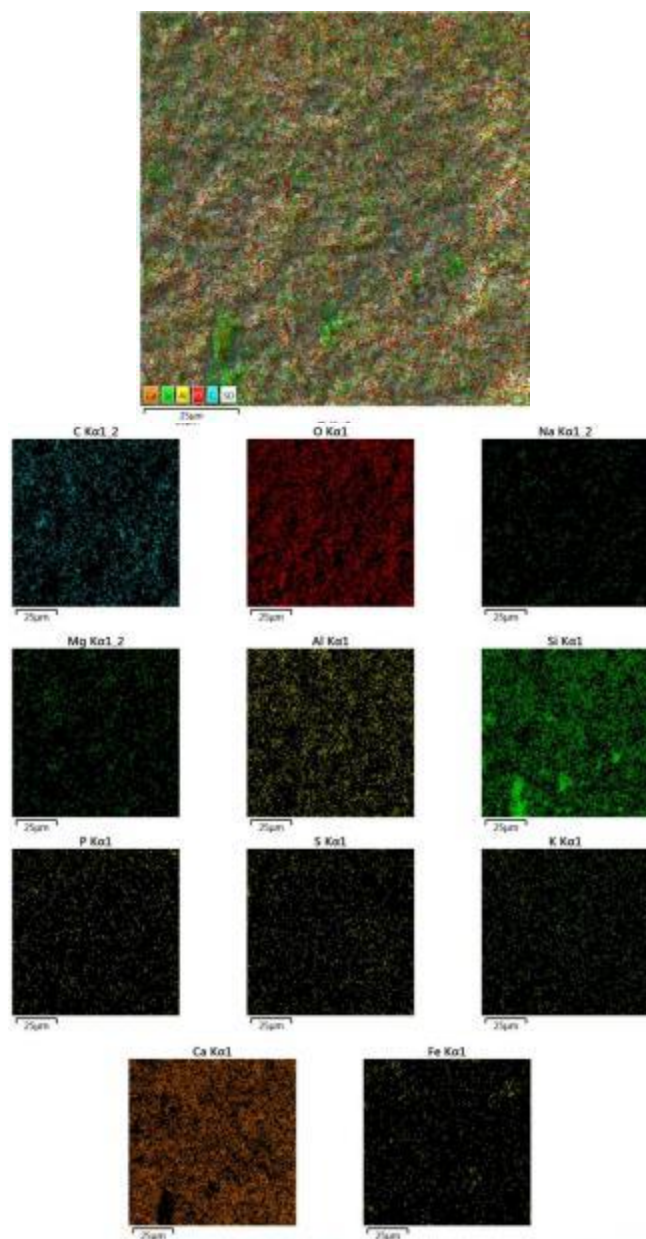
| Sexto<br>sector de<br>la<br>muestra<br>14 | Elemento         | Composición química |       |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      | Total |
|-------------------------------------------|------------------|---------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|
|                                           |                  | C                   | O     | Na   | Mg   | Al   | Si   | P    | S    | Cl   | K    | Ca    | Fe   |       |
|                                           | Sector analizado | % en peso           |       |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |
|                                           | 14-6             | 26.64               | 48.81 | 0.27 | 0.65 | 2.52 | 7.05 | 0.27 | 0.36 | 0.07 | 0.58 | 11.79 | 0.99 | 100   |

Fuente: Construcción propia



**Figura 79.** Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 7.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 79, se muestra lo siguiente: A. Vista del sector 7 de la muestra 14 (2023) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, a un aumento de 2000 X y un campo visual de 104 µm, microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis.

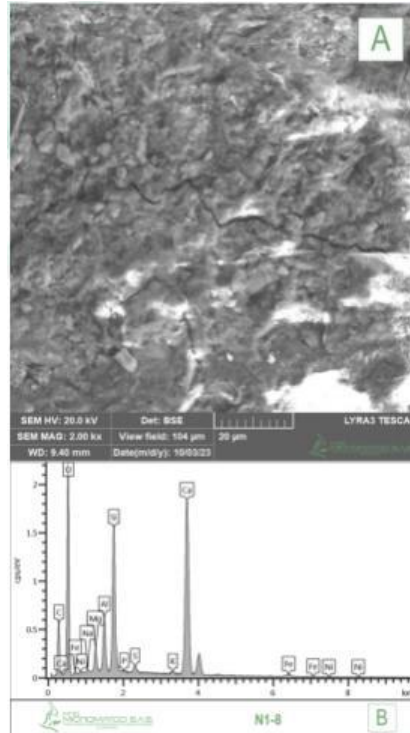


**Figura 80.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del séptimo sector de la muestra de concreto 14 (2023).  
Fuente: construcción propia.

**Tabla 32.**  
*Composición química sector 7 muestra 14 (2023)*

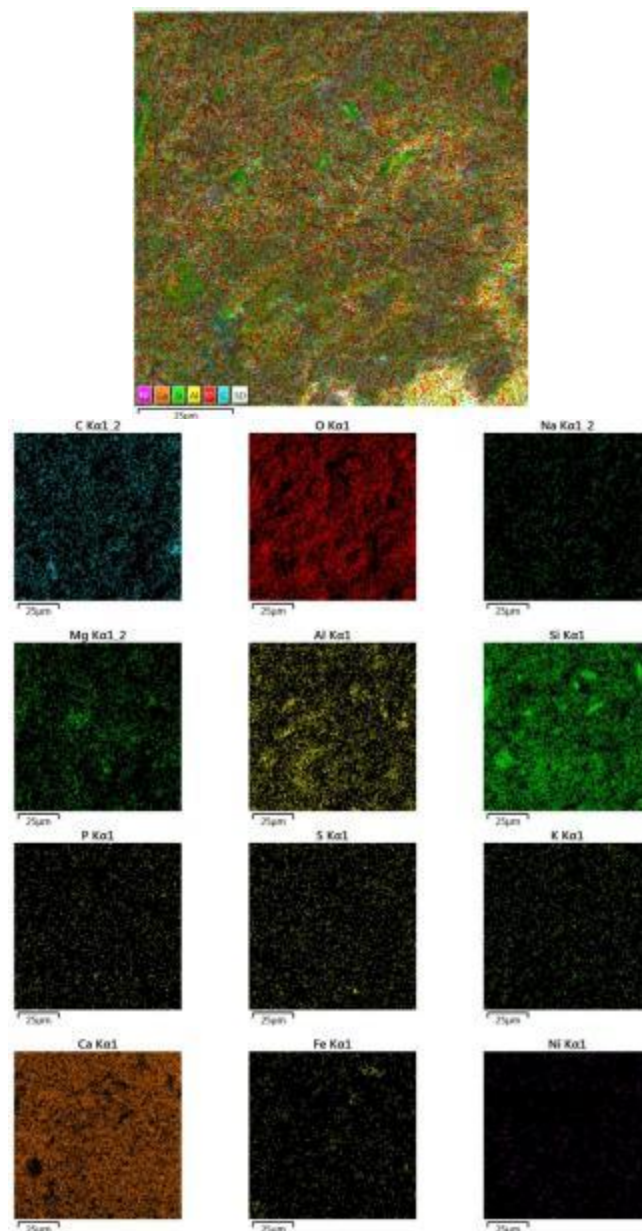
| Séptimo<br>sector de la<br>muestra 14 | Composición química |           |       |      |      |      |      |      |     |      |       |      |
|---------------------------------------|---------------------|-----------|-------|------|------|------|------|------|-----|------|-------|------|
|                                       | Elemento            | C         | O     | Na   | Mg   | Al   | Si   | P    | S   | K    | Ca    | Fe   |
|                                       | Sector analizado    | % en peso |       |      |      |      |      |      |     |      |       |      |
|                                       | 14-7                | 21.04     | 52.41 | 0.19 | 0.85 | 2.39 | 7.31 | 0.06 | 0.3 | 0.29 | 14.33 | 0.84 |
|                                       |                     | Total     |       |      |      |      |      |      |     |      |       |      |

Fuente: Construcción propia



**Figura 81.** Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 8.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 81, se muestra lo siguiente: A. Vista del sector 8 de la muestra 14 (2023) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, a un aumento de 2000 X y un campo visual de 104 µm, microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis.



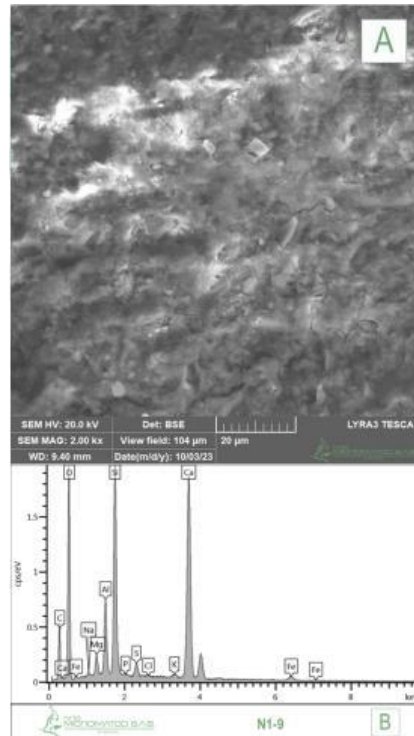
**Figura 82.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del octavo sector de la muestra de concreto 14 (2023).  
Fuente: construcción propia.

**Tabla 33.**

*Composición química sector 8 muestra 14 (2023)*

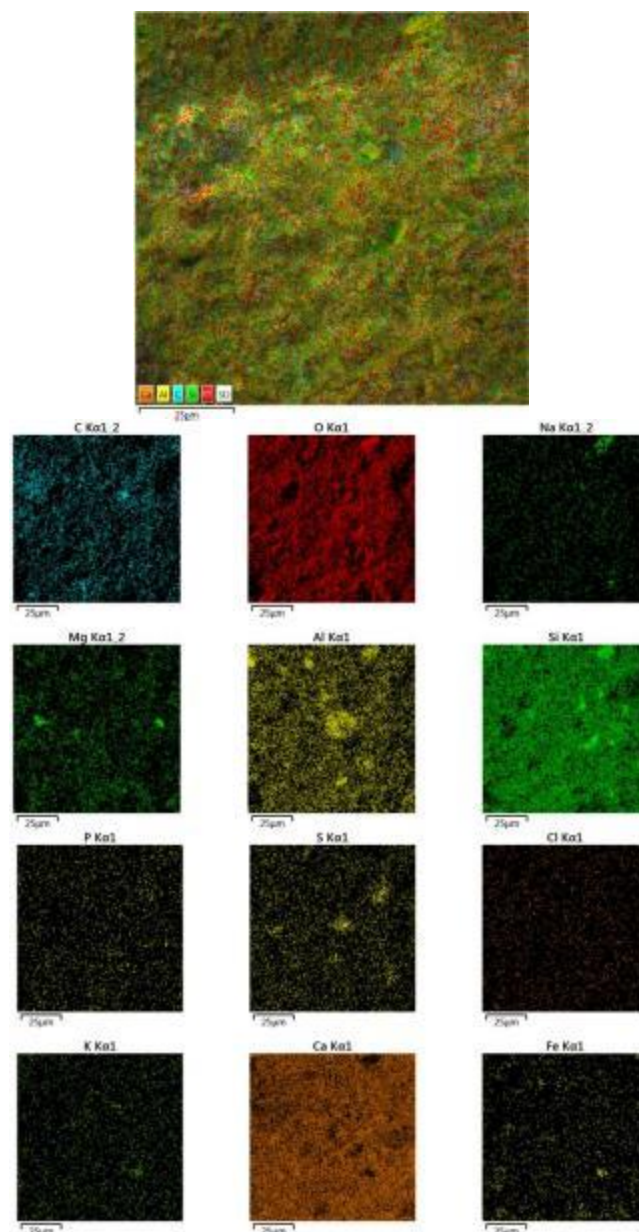
| Octavo<br>sector de<br>la muestra<br>14 | Composición química |           |       |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |        |
|-----------------------------------------|---------------------|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|--------|
|                                         | Elemento            | C         | O     | Na   | Mg   | Al   | Si   | P    | S    | K    | Ca    | Fe   | Ni   | Total  |
|                                         | Sector analizado    | % en peso |       |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |        |
|                                         | 14-8                | 21.37     | 52.41 | 0.23 | 1.47 | 2.72 | 6.99 | 0.06 | 0.34 | 0.17 | 13.71 | 0.48 | 0.06 | 100.01 |

Fuente: Construcción propia



**Figura 83.** Microfotografías de la muestra de concreto 14 (2023) sector 9.  
Fuente: construcción propia.

En la figura 83, se muestra lo siguiente: A. Vista del sector 9 de la muestra 14 (2023) a través del microscopio electrónico de barrido mostrando su textura, a un aumento de 2000 X y un campo visual de 104 µm, microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) B. Espectro de emisión de rayos X del microanálisis.



**Figura 84.** Mapas de puntos (mapping) del microanálisis del noveno sector de la muestra de concreto 14 (2023).  
Fuente: construcción propia.

**Tabla 34.**  
*Composición química sector 9 muestra 14 (2023)*

| Noveno<br>sector de la<br>muestra 14 | Composición química |           |       |     |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
|--------------------------------------|---------------------|-----------|-------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
|                                      | Elemento            | C         | O     | Na  | Mg   | Al   | Si   | P    | S    | Cl   | K    | Ca    | Fe   |
|                                      | Sector analizado    | % en peso |       |     |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
|                                      | 14-9                | 22.28     | 50.03 | 0.3 | 1.11 | 3.39 | 9.01 | 0.07 | 0.64 | 0.07 | 0.19 | 12.14 | 0.77 |
|                                      |                     | Total     |       |     |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
|                                      |                     | 100       |       |     |      |      |      |      |      |      |      |       |      |

Fuente: Construcción propia.

**Tabla 35.**

*Composición química de varios sectores en la pasta cementante hacia la parte más superior en la muestra 14 (2023)*

| Elemento         | C         | O     | Na   | Mg   | Al    | Si    | P    | S    | Cl   | K    | Ca    | Fe   | Ni   | Total  |
|------------------|-----------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|--------|
| Sector analizado | % en peso |       |      |      |       |       |      |      |      |      |       |      |      |        |
| 14-1             | 50.14     | 33.11 | 0.21 | 0.42 | 3.05  | 7.9   | 0.23 | 1.29 | 0.22 | 0.99 | 1.62  | 0.81 |      | 99.99  |
| 14-1-1           | 46.76     | 33.35 | 0.2  | 0.13 | 3.82  | 11.04 | 0.2  | 1.16 | 0.08 | 1.49 | 1.62  | 0.14 |      | 99.99  |
| 14-1-2           | 50.5      | 32.22 | 0.03 | 0.25 | 3     | 9.14  | 0.28 | 1.6  | 0.24 | 1.01 | 1.64  | 0.09 |      | 100    |
| 14-1-3           | 52.05     | 29.48 | 0.25 | 0.33 | 2.97  | 9.06  | 0.29 | 2.79 | 0.16 | 1.21 | 1.04  | 0.37 |      | 100    |
| 14-2             | 45.14     | 34.62 | 0.32 | 0.39 | 3.02  | 10.52 | 0.36 | 2.14 | 0.18 | 1.16 | 1.48  | 0.66 |      | 99.99  |
| 14-3-1           | 45.02     | 32.31 |      | 0.49 | 3.42  | 9.02  | 0.83 | 4.31 |      | 1.22 | 2.43  | 0.94 |      | 99.99  |
| 14-3-2           | 44.93     | 31.86 |      | 1.36 | 3.76  | 10.32 |      | 4.37 |      | 1.56 | 1.83  |      |      | 99.99  |
| 14-3-3           | 43.93     | 35.79 |      | 1.41 | 3.92  | 9.74  | 0.52 | 1.61 |      | 1.35 | 1.24  | 0.48 |      | 99.99  |
| 14-3-4           |           | 55.95 |      |      | 12.74 | 16.86 |      |      |      |      | 11.33 | 3.12 |      | 100    |
| 14-3-5           |           | 44.58 |      |      |       | 55.42 |      |      |      |      |       |      |      | 100    |
| 14-3-6           |           | 59.41 |      |      |       | 40.59 |      |      |      |      |       |      |      | 100    |
| 14-3-7           | 12.58     | 53.89 |      |      | 3.41  | 26.76 |      |      |      |      |       | 3.36 |      | 100    |
| 14-4             | 45.55     | 35.75 | 0.22 | 0.48 | 3.55  | 9.3   | 0.51 | 0.72 | 0.17 | 1.03 | 1.84  | 0.88 |      | 100    |
| 14-5             | 35.73     | 42.82 | 0.24 | 0.62 | 2.6   | 8.48  | 0.3  | 0.45 | 0.18 | 0.62 | 7.03  | 0.94 |      | 100.01 |
| 14-6             | 26.64     | 48.81 | 0.27 | 0.65 | 2.52  | 7.05  | 0.27 | 0.36 | 0.07 | 0.58 | 11.79 | 0.99 |      | 100    |
| 14-7             | 21.04     | 52.41 | 0.19 | 0.85 | 2.39  | 7.31  | 0.06 | 0.3  |      | 0.29 | 14.33 | 0.84 |      | 100.01 |
| 14-8             | 21.37     | 52.41 | 0.23 | 1.47 | 2.72  | 6.99  | 0.06 | 0.34 |      | 0.17 | 13.71 | 0.48 | 0.06 | 100.01 |
| 14-9             | 22.28     | 50.03 | 0.3  | 1.11 | 3.39  | 9.01  | 0.07 | 0.64 | 0.07 | 0.19 | 12.14 | 0.77 |      | 100    |

Fuente: Construcción propia

Con base en los resultados de los microanálisis cuantitativos con el detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX) sobre los diferentes sectores en la pasta cementante hacia la parte más superior en la muestra 14 (2023), se observó un alto contenido de elementos como el Oxígeno, Carbono, Silicio y Calcio.

En resumen, mediante el análisis de microscopia electrónica de barrido (SEM) y espectroscopia de dispersión de energía de rayos X (EDX) se identificó que en la composición química de la pasta cementante hacia la parte más superior de la muestra presenta cambios en el contenido del Calcio respecto a la cercanía de la superficie de exposición al ambiente.

Lo anterior corrobora lo determinado en el análisis petrográfico mediante el uso de estereomicroscopio y microscopio de luz transmitida.

Para la muestra 12 (2017), la zona se encontró afectada por el fenómeno de carbonatación, localizada hacia la parte más superior, pues la composición química de la pasta cementante en los sectores 2, 3 y 4 muestran un mayor contenido de Calcio (20%, 17% y 16%) comparado con los sectores 7 y 8 (9% y 14%) respectivamente.

En lo relacionado con la muestra 13 (2021), presentó una pasta cementante corroída, localizada hacia la parte más superior (sector 1) con una composición química empobrecida en calcio (0,7%) y rica en Silicio (11%). El sector 2 muestra una pasta cementante carbonatada con una composición química enriquecida en calcio (10%). Para los sectores subsiguientes no hay presencia de ataque químico.

Para la muestra 14 (2023), presenta una pasta cementante corroída, localizada hacia la parte más superior (sectores 1, 2, 3 y 4) con una composición química pobre en calcio (1,75%) y relativamente rica en silicio (10,22%). Seguido por una zona con una pasta cementante carbonatada (sectores 5, 6 y 7) la cual presenta un aumento en el contenido de calcio (11,38%) y una disminución en el contenido de silicio (7,85%). Después se observó una pasta cementante con una alta concentración de microcristales (sector 8) de portlandita con un contenido de calcio de 14,10% y un contenido de silicio de 7,19%. Finalmente, se observó una pasta cementante sana (sector 9) con un contenido de calcio de 12,53% y de silicio de 9,30%.

#### ***4.1.3 Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto NTC 673.***

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por la sección transversal de área del espécimen.



**Figura 85.** Núcleos en concreto tipo MR-45 sin afectación  
Fuente: construcción propia.



**Figura 86.** Ensayo de compresión núcleo en concreto tipo MR-45  
Fuente: construcción propia.



**Figura 87.** Núcleos en concreto tipo MR-45 con afectación  
Fuente: construcción propia.



**Figura 88.** Ensayo de compresión núcleo en concreto tipo MR-45  
Fuente: construcción propia.

**Tabla 36.**  
**Resistencia a la compresión de núcleos en concreto**

| Núcleo | Fecha de extracción | Diámetro del Núcleo | Dimensiones de la losa |       | Resistencia a la compresión | Categoría           |
|--------|---------------------|---------------------|------------------------|-------|-----------------------------|---------------------|
|        |                     |                     | Largo                  | Ancho |                             |                     |
| 1      | 26/01/2021          | 4"                  | 3.4                    | 3.3   | 3420                        | Losa efectada       |
| 2      | 26/01/2021          | 4"                  | 3.5                    | 3.4   | 4442                        | Losa efectada       |
| 3      | 26/01/2021          | 4"                  | 3.4                    | 3.3   | 3465                        | Losa efectada       |
| 4      | 26/01/2021          | 4"                  | 3.6                    | 3.3   | 3639                        | Losa efectada       |
| 5      | 27/01/2021          | 4"                  | 3.5                    | 3.2   | 5551                        | Losa en buen estado |
| 6      | 27/01/2021          | 4"                  | 3.4                    | 3.2   | 5642                        | Losa en buen estado |
| 7      | 27/01/2021          | 4"                  | 3.5                    | 3.2   | 5236                        | Losa en buen estado |
| 8      | 27/01/2021          | 4"                  | 3.6                    | 3.1   | 5136                        | Losa en buen estado |

Fuente: Construcción propia

En resumen, se identificó que las muestras falladas con afectación de ataque químico presentan una pérdida de resistencia a la compresión en contraste con las muestras falladas de las losas en buen estado.

#### **4.1.4 Caracterización del Lixiviado.**

El pH es un parámetro que mide la concentración de iones hidronio presentes en una muestra de agua o lixiviado. El pHmetro consta de un electrodo de vidrio que genera una corriente eléctrica proporcional a la concentración de protones de la solución y que se mide en un galvanómetro.

La corriente puede transformarse fácilmente en unidades de pH o mV por diferentes procedimientos de calibrado. El pHmetro se calibra potencio métricamente, con un electrodo indicador de vidrio y uno de referencia, utilizando patrones trazables.

El análisis se realizó bajo PHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, método 4500-H+B.

En general, un líquido con un pH menor a 7 se considera ácido y con un pH mayor a 7 se considera básico o alcalino. El rango normal de pH en agua superficial es de 6,5 a 8,5 y para las

aguas subterráneas de 6 a 8,5. La alcalinidad es una medida de la capacidad del agua para resistir un cambio de pH que tendría que hacerse más ácida.

Se tomó 4 muestras de lixiviados, las cuales se encuentran identificadas como Sector Cebolla, Sector Tomate, Sector del camión (mezcla de residuos) y Sector de la Naranja y que de aquí en adelante se nombrarán como M1, M2, M3 y M4.

**Tabla 37.**

*pH de muestras de lixiviado año 2021*

| Muestra | Sector  | Fecha      | pH   |
|---------|---------|------------|------|
| M1      | Cebolla | 26/04/2021 | 4.98 |
| M2      | Tomate  | 26/04/2021 | 3.86 |
| M3      | Camión  | 26/04/2021 | 3.85 |
| M4      | Naranja | 26/04/2021 | 4.31 |

Fuente: Construcción propia

**Tabla 38.**

*pH de muestras de lixiviado año 2023*

| Muestra | Sector  | Fecha      | pH   |
|---------|---------|------------|------|
| M1      | Cebolla | 12/05/2023 | 4.4  |
| M2      | Tomate  | 12/05/2023 | 4.2  |
| M3      | Camión  | 12/05/2023 | 3.89 |
| M4      | Naranja | 12/05/2023 | 4.31 |

Fuente: Construcción propia



**Figura 89.** Caracterización del lixiviado.  
Fuente: construcción propia.



**Figura 90.** Caracterización del lixiviado.  
Fuente: <https://www.buddhagenetics.com/wp-content/uploads/2015/03/escaladelph.jpg>

De acuerdo con los resultados del año 2021 y la escala de pH se observó que la muestra M1 es ligeramente ácida, mientras que las muestras M2, M3 y M4 son moderadamente ácidas. Para el año 2023 las 4 muestras son moderadamente ácidas en un rango de 3.89 a 4.4, así pues, el lixiviado es una sustancia ácida lo cual genera la degradación de la pasta cementante del concreto tipo MR-45 de la malla interna de Corabastos.

#### **4.2 Requerimientos Normativos del Diseño de Mezcla con Respecto al Implementado en la Central de Abastos de Bogotá – Corabastos S.A.**

Los pavimentos de la central de abastos fueron diseñados bajo la normatividad invias en específico la INV-500 (Pavimentos en concreto hidráulico), sin embargo, esta especificación no contempla criterios de diseño de mezclas para ataques químicos. Por lo que es necesario abordar la norma técnica colombiana NTC 5551 durabilidad del concreto, la cual, establece criterios para diseño de mezclas con ataques químicos según lo dispuesto en las siguientes tablas así:

**Tabla 39.**  
Clasificación de la agresividad química

| Tipo de medio | Parámetros                                                      | Subclase                                                        |                                                                                                                         |                                                                                                                                             |
|---------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|               |                                                                 | 6,1                                                             | 6,2                                                                                                                     | 6,3                                                                                                                                         |
|               |                                                                 | Ataque débil                                                    | Ataque medio                                                                                                            | Ataque fuerte                                                                                                                               |
| AGUA          | Valor del pH                                                    | 6,5 - 5,5                                                       | 5,5 - 4,5                                                                                                               | < 4,5                                                                                                                                       |
| AGUA          | CO <sub>2</sub> disuelto (mg/L)                                 | 15 - 40                                                         | 40 - 100                                                                                                                | > 100                                                                                                                                       |
| AGUA          | IÓN AMONIO, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)                 | 15 - 30                                                         | 30 - 60                                                                                                                 | > 60                                                                                                                                        |
| AGUA          | IÓN MAGNESIO Mg <sup>2+</sup> (mg/L)                            | 300 - 1 000                                                     | 1 000 - 3 000                                                                                                           | > 3 000                                                                                                                                     |
| AGUA          | IÓN SULFATO SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)                | 200 - 600                                                       | 600 - 3 000                                                                                                             | > 3 000                                                                                                                                     |
| AGUA          | RESIDUO SECO (mg/L)                                             | 75 - 150                                                        | 50 - 75                                                                                                                 | < 50                                                                                                                                        |
| SUELO         | GRADO DE ACIDEZ BAUMANN-GULLY                                   | > 20                                                            |                                                                                                                         |                                                                                                                                             |
| SUELO         | IÓN SULFATO SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/kg de suelo seco) | 2 000 - 3 000                                                   | 3 000 - 12 000                                                                                                          | > 12 000                                                                                                                                    |
| EJEMPLOS      |                                                                 | Instalaciones industriales con sustancias débilmente agresivas. | Estructuras marinas, instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales con sustancias de agresividad media. | Instalaciones de tratamiento de agua con sustancias de agresividad media e instalaciones industriales con sustancias fuertemente agresivas. |

Fuente: NTC – 5551 Durabilidad de estructuras de concreto, 2007

La tabla 39 presenta los valores límite de las características químicas del ambiente (agua o suelo) que tienen especial influencia sobre la durabilidad del concreto sujeto a las distintas subclases de exposición ambiental definidas en la tabla 1. Clases generales de exposición como la clase 6 (ataque químico).

**Tabla 40.**  
**Valores límite para composición y propiedades del concreto**

|                                                  |                       | Clase |     |      |     |     |      |     |      |      |      |      |      |      |      |     |
|--------------------------------------------------|-----------------------|-------|-----|------|-----|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|
|                                                  |                       | 1     |     | 2    |     | 3   |      | 4   |      | 5    |      | 6    |      | 7    |      |     |
| Parámetro                                        | Subclases             | 1     | 2,1 | 2,1  | 2,3 | 3,1 | 3,2  | 3,3 | 4,1  | 4,2  | 4,3  |      | 6,1  | 6,2  | 6,3  |     |
| Máxima relación a/m.c.                           | Concreto no reforzado | 0,65  | --- | ---  | --- | --- | ---  | --- | ---  | ---  | ---  | 0,45 | 0,5  | 0,5  | 0,45 | 0,5 |
| Máxima relación a/m.c.                           | Concreto reforzado    | 0,65  | 0,6 | 0,55 | 0,5 | 0,5 | 0,45 | 0,4 | 0,55 | 0,55 | 0,45 | 0,45 | 0,5  | 0,45 | 0,45 | 0,5 |
| Máxima relación a/m.c.                           | Concreto preesforzado | 0,6   | 0,6 | 0,55 | 0,5 | 0,5 | 0,45 | 0,4 | 0,5  | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,5 |
| Resistencia especificada mínima a compresión Mpa |                       | ---   | 24  | 28   | 28  | 28  | 35   | 35  | 28   | 28   | 35   | 31   | 31   | 35   | 35   | 28  |
| Contenido mínimo de material cementante (kg/m³)  | Concreto no reforzado | 200   | --- | ---  | --- | --- | ---  | --- | ---  | ---  | ---  | 275  | 275  | 300  | 325  | 275 |
| Contenido mínimo de material cementante (kg/m³)  | Concreto reforzado    | 250   | 300 | 300  | 300 | 300 | 325  | 350 | 300  | 320  | 340  | 300  | 325  | 350  | 350  | 300 |
| Contenido mínimo de material cementante (kg/m³)  | Concreto preesforzado | 275   | 300 | 300  | 300 | 300 | 325  | 350 | 300  | 320  | 340  | 300  | 325  | 350  | 350  | 300 |
| Contenido de aire incorporado mínimo (%)         |                       |       |     |      |     |     |      |     | **   | **   | **   | **   | **   | **   | **   | **  |
| Otros requerimientos                             |                       |       |     |      |     |     |      |     |      |      |      |      | *    | *    | *    |     |

\* Cemento resistente a sulfatos (Tipo II, Tipo V) o una adecuada dosis de microsilica o cemento adicionado que cumpla con las normas.

\*\* Según Tabla 4 relación a/m.c. = relación agua / material cementante

Fuente: NTC – 5551 Durabilidad de estructuras de concreto, 2007

Para que los elementos de concreto estructural tengan una expectativa de durabilidad adecuada, se deben definir las acciones para contrarrestar en forma práctica y eficiente los mecanismos específicos de deterioro que pueden presentarse sobre la estructura de concreto. En la tabla 40. Se relacionan los requisitos de durabilidad en términos de máximas relaciones agua –

material cementante, contenidos mínimos de material cementante y resistencia especificada mínima a la compresión para las diferentes condiciones de exposición. Para el cálculo de la relación agua – material cementante debe hacer utilizando el peso del cemento que cumpla las normas NTC121, NTC 321 o ASTM C595, más el peso de las cenizas volantes u otras puzolanas que cumplan la NTC 3493, la escoria siderúrgica que cumpla la NTC4018 y el humo de sílice (microsílica) que cumpla la NTC 4637, si se utiliza cualquiera de estas adiciones.

Considerando los criterios en las tablas 39 y 40, se realizó un análisis de los componentes del diseño de mezcla para los concretos rígidos tipo MR-45 empleados en la construcción de la malla vial interna de Corabastos con el fin de poder contrastar el cumplimiento de la NTC5551 en especial en lo referente a la subclase 6.3 ataque fuerte.

**Tabla 41.**

*Diseño de mezcla para el concreto tipo MR-45 para la centra de abastos.*

| Descripción      | Diseño | Unidad | Utilizado | Unidad | Humedad  | Actual |
|------------------|--------|--------|-----------|--------|----------|--------|
| Cemento gris B   | 405    | Kg     | 2830      | Kg     |          |        |
| Escoria molida   | 71     | Kg     | 497       | Kg     |          |        |
| Grava Saldaña TM | 1091   | Kg     | 7770      | Kg     | 1.50% M  | 115    |
| Arena Saldaña    | 670    | Kg     | 5160      | Kg     | 10.00% M | 469    |
| AGUA             | 180    | L      | 677       | L      |          | 677    |
| POZOLITH 901 N   | 3808   | mL     | 26670     | mL     |          |        |
| POLYHEED GL      | 1904   | mL     | 13300     | mL     |          |        |

Fuente: Construcción propia

En resumen, se evidenció que los requerimientos de la NTC5551 fueron cumplidos con el diseño de mezcla para la construcción de la malla vial de Corabastos. Sin embargo, el cumplimiento de esta norma no garantiza la durabilidad del concreto pese a que establece criterios de ataque fuerte ( $\text{pH} < 4.5$ ) lo que motiva su revisión habida cuenta que el pavimento tipo MR-45 presentó deterioro como se demostró por medio de los resultados de análisis petrográfico de

núcleos de concreto en bloque semipulido y sección delgada, microscopia electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía por dispersión de rayos (EDX).

#### 4.3 Políticas y Reglamentación Para la Prevención y/o Mitigación en el Manejo de Residuos Orgánicos en la Central de Abastos de Bogotá D.C Promoviendo Cultura Ambiental y Social.

Con el fin de promover la cultura ambiental y social en el manejo de residuos orgánicos es necesario hacer una revisión del marco legal colombiano existente que conceptúa sobre las disposiciones, obligaciones, medidas tendientes de obligatorio cumplimiento que permita controlar el inadecuado manejo de residuos en la central de abastos de Bogotá.

**Tabla 42.**

*Revisión marco legal colombiano para manejo de residuos orgánicos*

| Componente      | Normativa           | Artículo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | Decreto 397 de 1995 | Artículo 3°. Los mercados mayoristas deben contemplar dentro de sus estatutos, aspectos relacionados con: [...] f) cumplimiento de las normas sobre salubridad, higiene y saneamiento básico, y g) protección del medio ambiente.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                 | Ley 9 1979          | Artículo 98°.- En todo lugar de trabajo en que se empleen procedimientos, equipos, máquinas, materiales o sustancias que den origen a condiciones ambientales que puedan afectar la salud y seguridad de los trabajadores o su capacidad normal de trabajo, deberán adoptarse las medidas de higiene y seguridad necesarias para controlar en forma efectiva los agentes nocivos, y aplicarse los procedimientos de prevención y control correspondientes.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Ambiente</b> | Acuerdo 79 de 2003  | Artículo 55. El ambiente es patrimonio de todas las personas.<br><br>El aire, el agua, el suelo, el subsuelo, los cerros y los bosques, los ríos y las quebradas, los canales, las chucuas, los humedales y las zonas de ronda hidráulica y zonas de manejo y preservación ambiental del sistema hídrico, los parques, las zonas verdes y los jardines, los árboles, las alamedas, los cementerios, la flora y la fauna silvestre, el paisaje natural y el paisaje modificado, las edificaciones, los espacios interiores y públicos son recursos ambientales y del paisaje del Distrito Capital de Bogotá y fuentes de alegría, salud y vida. Estos recursos son patrimonio colectivo y, por tanto, su preservación y conservación es de primordial interés para toda la comunidad. La biodiversidad de la ciudad deberá ser protegida prioritariamente y aprovechada en forma sostenible. |

| Componente   | Normativa                        | Artículo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|              | Reglamento interno de la central | <p>Función social y ecológica de la propiedad.</p> <p>El Reglamento deberá respetar la función social y ecológica de la propiedad, y por ende, deberá ajustarse a lo dispuesto en las normas urbanísticas, ecológicas y sanitarias vigentes, tendientes a la conservación del ecosistema.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Vertimientos |                                  | <p>Artículo 24. Prohibiciones. No se admite vertimientos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. En las cabeceras de las fuentes de agua.</li> <li>2. En acuíferos.</li> <li>3. En cuerpos de agua que la autoridad ambiental competente declare total o parcialmente protegidos, de acuerdo con los artículos 70 y 137 del Decreto-ley 2811 de 1974.</li> <li>4. En calles, calzadas y canales o sistemas de alcantarillados para aguas lluvias, cuando quiera que existan en forma separada o tengan esta única destinación.</li> <li>5. Sin tratar, provenientes del lavado de vehículos aéreos y terrestres, del lavado de aplicadores manuales y aéreos, de recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas.</li> <li>6. Que alteren las características existentes en un cuerpo de agua que lo hacen apto para todos los usos determinados.</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|              | Decreto 3930 de 2010             | <p>Que ocasionen altos riesgos para la salud o para los recursos hidrobiológicos.</p> <p>Artículo 25. Actividades no permitidas.</p> <p>Disponer en cuerpos de aguas superficiales, subterráneas, marinas, y sistemas de alcantarillado, los sedimentos, lodos, y sustancias sólidas provenientes de sistemas de tratamiento de agua o equipos de control ambiental y otras tales como cenizas, cachaza y bagazo. Para su disposición deberá cumplirse con las normas legales en materia de residuos sólidos.</p> <p>Artículo 62. Del Plan de Reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos. Mecanismo que promueve la reconversión tecnológica de los procesos productivos de los generadores de vertimientos que desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios, y que además de dar cumplimiento a la norma de vertimiento, debe dar cumplimiento a los siguientes objetivos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reducir y minimizar la carga contaminante por unidad de producción, antes del sistema de tratamiento o antes de ser mezclada con aguas residuales domésticas.</li> <li>2. Reutilizar o reciclar subproductos o materias primas, por unidad de producción o incorporar a los procesos de producción</li> </ol> |

| Componente              | Normativa        | Artículo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Residuos sólidos</b> | Ley 1259 de 2008 | materiales reciclados, relacionados con la generación de vertimientos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                         |                  | Artículo 41. Requerimiento de permiso de vertimiento. Toda persona natural o jurídica cuya actividad o servicio genere vertimientos a las aguas superficiales, marinas, o al suelo, deberá solicitar y tramitar ante la autoridad ambiental competente, el respectivo permiso de vertimientos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                         |                  | Artículo 43. Evaluación ambiental del vertimiento. Para efectos de lo dispuesto en el numeral 19 del artículo 42 del presente decreto, la evaluación ambiental del vertimiento solo deberá ser presentada por los generadores de vertimientos a cuerpos de agua o al suelo que desarrollen actividades industriales, comerciales y de servicio, así como los provenientes de conjuntos residenciales                                                                                                                                                                                             |
|                         |                  | Artículo 44. Plan de gestión del riesgo para el manejo de vertimientos. Las personas naturales o jurídicas de derecho público o privado que desarrollen actividades industriales, comerciales y de servicios que generen vertimientos a un cuerpo de agua o al suelo deberán elaborar un Plan de Gestión del Riesgo para el Manejo de Vertimientos en situaciones que limiten o impidan el tratamiento del vertimiento. Dicho plan debe incluir el análisis del riesgo, medidas de prevención y mitigación, protocolos de emergencia y contingencia y programa de rehabilitación y recuperación. |
|                         |                  | Artículo 8. Dispondrán de sistemas sanitarios adecuados para la recolección, el tratamiento y la disposición de aguas residuales, aprobadas por la autoridad competente;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Residuos sólidos</b> | Ley 1259 de 2008 | Artículo 6. De las Infracciones.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                         |                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponer residuos sólidos y escombros en sitios de uso público no acordados ni autorizados por autoridad competente</li> <li>• Disponer basura, residuos y escombros en bienes inmuebles de carácter público o privado, como colegios, centros de atención de salud, expendios de alimentos, droguerías, entre otros.</li> <li>• Lavar y hacer limpieza de cualquier objeto en vías y áreas públicas, actividades estas que causen acumulación o esparcimiento de basura.</li> </ul>                                                                    |
|                         |                  | Darle mal manejo a sitios donde se clasifica, comercializa, recicla o se transforman residuos sólidos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Residuos sólidos</b> | Ley 1259 de 2008 | Artículo 9. Responsable de la aplicación del comparendo ambiental. El responsable de la aplicación de la sanción por Comparendo Ambiental en cada circunscripción municipal será su respectivo alcalde, quien podrá delegar en su secretario de Gobierno o en quien haga sus veces. En cuanto a las infracciones ambientales en vías o espacios públicos causadas desde vehículos automotores o de tracción humana o animal, el responsable será el respectivo alcalde,                                                                                                                          |

| Componente         | Normativa | Artículo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    |           | quien podrá delegar en su secretario de Tránsito o en la autoridad que haga sus veces.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                    |           | Parágrafo. La Policía Nacional, los Agentes de Tránsito, los Inspectores de Policía y Corregidores serán los encargados de imponer directamente el Comparendo Ambiental a los infractores.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Ley 9 de 1979      |           | Artículo 198. Toda edificación estará dotada de un sistema de almacenamiento de basuras que impida el acceso y la proliferación de insectos, roedores y otras plagas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                    |           | Artículo 61. Comportamientos que favorecen la conservación y protección de los suelos y subsuelos <ul style="list-style-type: none"> <li>No permitir el derrame de hidrocarburos y de materiales químicos, sólidos y líquidos que puedan representar un riesgo para la calidad de los suelos o aguas subterráneas, e informar inmediatamente a las autoridades si llegaren a ocurrir, a fin de que se puedan tomar medidas oportunas de corrección del daño y se eviten efectos nocivos para la salud e integridad de los seres vivos y de los bienes, y Comunicar de inmediato a las autoridades de Policía cualquier práctica contraria a los comportamientos descritos en este artículo.</li> </ul> <p>Cuidar y velar por la conservación y el mejoramiento permanente de las calidades ambientales del espacio público y evitar todas aquellas acciones que tiendan a degradarlo, tales como los ruidos innecesarios, la ocupación y la contaminación con propaganda visual, con residuos sólidos y desperdicios y con materiales de construcción en procesos de obra pública o privada.</p> |
| Acuerdo 79 de 2003 |           | Artículo 83. Comportamientos en relación con la contaminación por residuos sólidos o líquidos <ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizar los recipientes y bolsas adecuados para la entrega y recolección de los residuos sólidos, de acuerdo con su naturaleza y lo ordenado por la reglamentación pertinente</li> </ul> <p>Almacenar, recolectar, transportar, aprovechar o disponer tanto los residuos aprovechables como los no aprovechables de acuerdo con las normas vigentes de seguridad, sanidad y ambientales, y con el plan Maestro de Residuos Sólidos que se adopte para el Distrito Capital de Bogotá</p> <p>Artículo 32. Comportamiento de los propietarios, tenedores, administradores, concesionarios o dependientes en el manejo de los residuos sólidos en plazas de mercado o galerías comerciales.</p> <p>Los propietarios, tenedores, administradores, concesionarios o dependientes de una plaza de mercado o galería comercial deben observar los siguientes comportamientos que favorecen la convivencia:</p>                                                     |

| Componente                 | Normativa                        | Artículo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            |                                  | <p>.. Obtener los permisos correspondientes de la autoridad Distrital competente y cumplir con los requisitos y las condiciones exigidas para el efecto, de conformidad con la normatividad vigente en la materia</p> <p>2. Efectuar la disposición y recolección de residuos sólidos en el interior del inmueble destinado para ese fin con sujeción a los horarios y sistemas establecidos por los reglamentos sobre la prestación del servicio de aseo.</p> <p>Artículo 33. Comportamiento de los comerciantes en las plazas de mercado y galerías comerciales.</p> <p>3. Separar y depositar los residuos sólidos en la fuente y su disponerlos selectivamente en un lugar destinado para tal efecto por la administración de la plaza de mercado o galería comercial; de conformidad con la reglamentación expedida por la autoridad competente</p> <p>No arrojar basura o cualquier tipo de desperdicio fuera de las canecas, depósitos, recipientes o bolsas destinadas para tal fin o ubicarlas en sitios que no correspondan para su adecuada disposición o reciclaje;</p> |
|                            | Decreto 3075 de 1997             | <p>Artículo 8. Los residuos sólidos deben ser removidos frecuentemente de las áreas de producción y disponerse de manera que se elimine la generación de malos olores, el refugio y alimento de animales y plagas y que no contribuya de otra forma al deterioro ambiental;</p> <p>El establecimiento debe disponer de recipientes, locales e instalaciones apropiadas para la recolección y almacenamiento de los residuos sólidos, conforme a lo estipulado en las normas sanitarias vigentes. Cuando se generen residuos orgánicos de fácil descomposición se debe disponer de cuartos refrigerados para el manejo previo a su disposición final.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                            | Reglamento interno de la central | <p>Artículo 41. Los comerciantes y usuarios de Corabastos deben efectuar la recolección de residuos sólidos, separándolos en orgánicos e inorgánicos. Para tal efecto utilizarán canecas y bolsas plásticas de diferentes colores, debidamente diferenciadas que se deberán mantener en el local o puesto con esta finalidad.</p> <p>Artículo 42. Una vez separados los residuos sólidos en la fuente, su disposición se hará selectivamente en los contenedores dispuestos por Corabastos para tal fin; con sujeción a los horarios y sistemas establecidos en el plan de gestión integral de residuos sólidos de la corporación – pgirs - y por las normas legales vigentes sobre prestación del servicio de aseo.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Residuos peligrosos</b> | Decreto 4741 de 2005             | Artículo 10. Obligaciones del Generador. De conformidad con lo establecido en la ley, en el marco de la gestión integral de los residuos o desechos peligrosos, el generador debe:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

| Componente | Normativa | Artículo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            |           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Garantizar la gestión y manejo integral de los residuos o desechos peligrosos que genera;</li> <li>- Elaborar un plan de gestión integral de los residuos o desechos peligrosos que genere tendiente a prevenir la generación y reducción en la fuente, así como, minimizar la cantidad y peligrosidad de estos. En este plan deberá igualmente documentarse el origen, cantidad, características de peligrosidad y manejo que se dé a los residuos o desechos peligrosos. Este plan no requiere ser presentado a la autoridad ambiental, no obstante, lo anterior, deberá estar disponible para cuando esta realice actividades propias de control y seguimiento ambiental;</li> <li>- Identificar las características de peligrosidad de cada uno de los residuos o desechos peligrosos que genere,</li> <li>- Garantizar que el envasado o empacado, embalado y etiquetado de sus residuos o desechos peligrosos se realice conforme a la normatividad vigente;</li> <li>- Dar cumplimiento a lo establecido en el Decreto 1609 de 2002 o aquella norma que la modifique o sustituya, cuando remita residuos o desechos peligrosos para ser transportados. Igualmente, suministrar al transportista de los residuos o desechos peligrosos las respectivas Hojas de Seguridad;</li> <li>- Registrarse ante la autoridad ambiental competente por una sola vez y mantener actualizada la información de su registro anualmente, de acuerdo con lo establecido en el artículo 27 del presente decreto;</li> <li>- Capacitar al personal encargado de la gestión y el manejo de los residuos o desechos peligrosos en sus instalaciones, con el fin de divulgar el riesgo que estos residuos representan para la salud y el ambiente, además, brindar el equipo para el manejo de estos y la protección personal necesaria para ello;</li> <li>- Contar con un plan de contingencia actualizado para atender cualquier accidente o eventualidad que se presente y contar con personal preparado para su implementación.</li> <li>- Conservar las certificaciones de almacenamiento, aprovechamiento, tratamiento o disposición final que emitan los respectivos receptores, hasta por un tiempo de cinco (5) años;</li> <li>- Tomar todas las medidas de carácter preventivo o de control previas al cese, cierre, clausura o desmantelamiento de su actividad con el fin de evitar cualquier episodio de contaminación que pueda representar un riesgo a la salud y al ambiente, relacionado con sus residuos o desechos peligrosos.</li> <li>- Contratar los servicios de almacenamiento, aprovechamiento, recuperación, tratamiento y/o disposición final, con instalaciones que cuenten con las licencias, permisos, autorizaciones o demás</li> </ul> |

| Componente               | Normativa            | Artículo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          |                      | instrumentos de manejo y control ambiental a que haya lugar, de conformidad con la normatividad ambiental vigente.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                          | Ley 9 de 1979        | Artículo 102. Los riesgos que se deriven de la producción, manejo o almacenamiento de sustancias peligrosas serán objeto de divulgación entre el personal potencialmente expuesto, incluyendo una clara titulación de los productos y demarcación de las áreas donde se opere con ellos, con la información sobre las medidas preventivas y de emergencia para casos de contaminación del ambiente o de intoxicación.                                                                                                                                                 |
|                          |                      | Artículo 42. Recolección en plazas de mercado, mataderos y cementerios. Para la recolección de los residuos generados en las plazas de mercado, mataderos y cementerios del Municipio o Distrito, se utilizarán cajas de almacenamiento ubicadas estratégicamente.                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                          |                      | Artículo 47. Almacenamiento y recolección de residuos generados en puntos de ventas en áreas públicas. Los vendedores estacionarios localizados en áreas públicas, debidamente autorizados, deberán mantener limpios los alrededores de sus puestos, tener recipientes accesibles al público para el almacenamiento de los residuos generados en su actividad y presentarlos para su recolección. El control y vigilancia de estas obligaciones estará a cargo de las autoridades de policía, los vendedores estacionarios serán considerados usuarios no residuales. |
|                          |                      | Artículo 48. Responsabilidad por los residuos sólidos generados en el cargue y descargue de mercancías y materiales.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Servicios de recolección | Decreto 1713 de 2002 | Los responsables de cargue, descargue y transporte de cualquier tipo de mercancías o materiales, deberán recoger los residuos sólidos originados por esas actividades y entregarlos a la persona prestadora del servicio público de aseo. El control y vigilancia de esta obligación estará a cargo de las autoridades de policía.                                                                                                                                                                                                                                    |
|                          |                      | Artículo 67. Propósitos de la recuperación y aprovechamiento.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                          |                      | La recuperación y aprovechamiento de los materiales contenidos en los residuos sólidos tiene como propósitos fundamentales:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                          |                      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Racionalizar el uso y consumo de las materias primas provenientes de los recursos naturales.</li> <li>2. Recuperar valores económicos y energéticos que hayan sido utilizados en los diferentes procesos productivos.</li> <li>3. Reducir la cantidad de residuos a disponer finalmente en forma adecuada.</li> <li>4. Disminuir los impactos ambientales, tanto por demanda y uso de materias primas como por los procesos de disposición final.</li> </ol>                                                                |
|                          |                      | Artículo 75. Diseño de edificaciones para el aprovechamiento. En el diseño de edificaciones destinadas al aprovechamiento de residuos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

| Componente       | Normativa                    | Artículo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  |                              | <p>sólidos deben considerarse como mínimo los siguientes aspectos constructivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El diseño arquitectónico de la zona operativa debe ser cerrado a fin de mitigarlos impactos sobre el área de influencia.</li> <li>- Contar con un área mínima para la recepción de los residuos a recuperar y prever la capacidad de almacenamiento del material recuperado, teniendo en cuenta las situaciones de contingencia y comportamiento del mercado.</li> <li>- Tener vías de acceso de acuerdo con el tipo de equipos de transporte a utilizar en el servicio ordinario de aseo.</li> <li>- Contar con un sistema de ventilación adecuado.</li> <li>- Contar con sistema de prevención y control de incendios.</li> <li>- Contar con el sistema de drenaje para el control de las aguas lluvias infiltración y sistema de recolección y tratamiento de lixiviados.</li> <li>- Contar con sistemas tendientes a la minimización y control de ruido, generación de olores, emisión de partículas, esparcimiento de materiales y control de vectores.</li> </ul> |
| Salubridad       | Ley 9 de 1979                | Artículo 207. Toda edificación deberá mantenerse en buen estado de presentación y limpieza, para evitar problemas higiénico-sanitarios.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                  |                              | Artículo 8. Sus accesos y alrededores se mantendrán limpios, libres de acumulación de basuras y deberán tener superficies pavimentadas o recubiertas con materiales que faciliten el mantenimiento sanitario e impidan la generación de polvo, el estacionamiento de aguas o la presencia de otras fuentes de contaminación para el alimento.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                  | Decreto 3075 de 1997         | <p>Artículo 17. La recepción de materias primas debe realizarse en condiciones que eviten su contaminación, alteración y daños físicos;</p> <p>Artículo 30. Las operaciones y condiciones de almacenamiento, distribución, transporte y comercialización de alimentos deben evitar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La contaminación y alteración del alimento;</li> <li>- La proliferación de microorganismos indeseables en el alimento.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Plaza de mercado | Ley 9 de 1979                | Artículo 237. En todo diseño y construcción de plazas de mercado se dejarán sitios específicos adecuadamente dotados para el almacenamiento de las basuras que se produzcan.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                  | Decreto 315 de 2006 (PMASAB) | 1. Artículo 8. Estrategias ambientales: Con el propósito de articular los elementos de gestión de carácter ambiental, el Plan Maestro se articula a las estrategias del Plan Distrital de Gestión Ambiental en los siguientes componentes:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

| Componente | Normativa          | Artículo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            |                    | <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Investigación. Se adelantarán los estudios ambientales asociados a cada uno de los eslabones de la cadena de abastecimiento, buscando la incorporación de tecnologías más limpias.</li> <li>3. Educación. Se promoverán cambios en el comportamiento de los distintos actores involucrados en los eslabones de la cadena de abastecimiento de alimentos, partiendo del conocimiento y responsabilidades sobre los impactos ambientales asociados a cada uno de los procesos.</li> <li>4. Participación. Se fomentará la participación - acción de los distintos actores involucrados en los eslabones de la cadena de abastecimiento de alimentos, en la formulación de alternativas de manejo ambiental y en los mecanismos de autocontrol de su aplicación.</li> <li>5. Fortalecimiento. Se propenderá por el fortalecimiento de la capacidad de los distintos actores involucrados en los eslabones de la cadena de abastecimiento de alimentos, en mejorar su desempeño ambiental y al mismo tiempo en cumplir la normatividad y exigencias ambientales.</li> <li>6. Coordinación. Se coordinarán y articularán de manera permanente las acciones entre los actores de oferta, demanda y de los soportes institucional y logístico.</li> <li>7. Control y vigilancia. Se propenderá por el desarrollo de mecanismos de autocontrol en los actores de la cadena de abastecimiento de alimentos frente a los impactos ambientales de los procesos, para cumplir con la normatividad y exigencias ambientales.</li> <li>8. Ubicación de la infraestructura. La ubicación espacial y funcional de la infraestructura y equipamiento de los eslabones de la cadena de abastecimiento de alimentos, se orienta bajo el direccionamiento de los criterios ambientales del POT y del PGA Distrital, así como también del Plan de Gestión Ambiental Regional de Cundinamarca.</li> </ol> |
|            | Acuerdo 79 de 2003 | <p>Artículo 31. Definición: Se consideran plazas de mercado y galerías comerciales los lugares abiertos al público, estatales o privados, destinados a la prestación de un servicio público para garantizar el proceso de oferta y demanda de productos básicos para el consumo doméstico de todas las personas en el distrito capital.</p> <p>Están integrados por espacios, locales internos y externos, baños, zonas de aseo, circulación y parqueo.</p> <p>Deben operar en condiciones óptimas de carácter ambiental y sanitario, de seguridad, calidad, eficiencia y economía dentro de los principios del libre mercado. Estos establecimientos comerciales deben cumplir con las normas legales.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Agua       | Acuerdo 79 de 2003 | Artículo 59. Comportamientos que favorecen la conservación y protección del agua                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

| Componente | Normativa | Artículo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            |           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuidar y velar por la conservación de la calidad de las aguas y controlar las actividades que generen vertimientos, evitando todas aquellas acciones que puedan causar su contaminación tales como arrojar en ríos y quebradas materiales de desecho y residuos sólidos, aguas residuales y efluentes de la industria sin tratamiento y demás actividades que generen vertimientos sin el respectivo permiso, con grave peligro para la salud y la vida de las personas que necesitan hacer uso de esas aguas</li> <li>- Cuidar, velar y no arrojar en las redes de alcantarillado sanitario y de aguas lluvias, residuos sólidos, residuos de construcción, lodos, combustibles y lubricantes, fungicidas y cualesquier sustancia tóxica o peligrosa, contaminante o no contaminante para la salud humana, animal y vegetal</li> </ul> |

Fuente: Construcción propia

Con base en la Tabla 42, se recomienda la implementación de los artículos, decretos y acuerdos citados con el propósito de mitigar y/o evitar la disposición de residuos de manera directa sobre las losas de concreto.

Con la aplicación de las anteriores disposiciones legales cuyo objeto establecer obligaciones y/o deberes para el control de la conducta social y evitar que se viertan de manera incorrecta los residuos orgánicos, entre ellos frutas y verduras con algún grado de descomposición el cual se agudiza sobre las placas de concreto, generando el ataque químico motivo del caso de estudio.

Estos desechos pueden ser aprovechados por medio de procesos de compostaje como generadores de abonos orgánicos realizando la adecuada separación de residuos, actividad que está directamente relacionada con la educación de la comunidad. Para ello, es necesario dar a conocer el correcto manejo de los residuos con acciones pedagógicas que logren sensibilizar sobre el efecto que se produce en el ambiente.

Así las cosas, se debe generar una serie de socializaciones con el propósito de capacitar a la comunidad y comerciantes en general, donde se plantean acciones desde la educación ambiental. La propuesta pedagógica estará enmarcada en las siguientes etapas:



**Figura 91.** Propuesta pedagógica  
Fuente: construcción propia.

La socialización como un proceso información sobre el proyecto para mejorar el comportamiento y el correcto manejo de los residuos , luego el proceso de sensibilización se llevará a cabo una segunda acción por medio de una estrategia pedagógica que permita que la comunidad identifique las acciones de mejora, lo tercero es capacitar sobre la importación del correcto manejo de los residuos que fomenten la sostenibilidad ambiental con el ánimo de evitar recurrir a sanciones que están establecidas en el reglamento interno de Corabastos S.A. el cual establece en el artículo 43. “A los comerciantes y usuarios de Corabastos les está prohibido arrojar basura o cualquier tipo de desperdicio fuera de las canecas, depósitos, recipientes o bolsas destinadas para tal fin o ubicarlas en sitios que no correspondan para su adecuada disposición o reciclaje.

Parágrafo primero. Constituye falta grave la introducción de residuos, desechos, basuras, o materiales inertes desde afuera, a las instalaciones de Corabastos, estando obligado el usuario o persona que los introduzca, a su recogida y extracción, independiente de las sanciones que conforme al presente reglamento se impongan.”

Si bien es cierto, están establecidas las regulaciones para la disposición correcta de residuos, en la actualidad no se atiende de manera correcta dichas disposiciones, se recomienda la adecuada y constante sensibilización sobre el manejo de los residuos acompañada de mecanismos de seguimiento y control con el apoyo de la policía ambiental en tanto la comunidad no atienda las debidas acciones en el marco de las capacitaciones desarrolladas.

## 4.4 Estimación de Costos Para la Reparación de la Malla Vial Afectada por el Ataque Químico del Concreto.

| Análisis de precios unitarios                           |                  |              | LIXIVIADO                  |                 |                 |
|---------------------------------------------------------|------------------|--------------|----------------------------|-----------------|-----------------|
|                                                         |                  |              | UNIDAD: LOSA DE 3,60 * 3,5 |                 |                 |
| I. EQUIPO                                               |                  |              |                            |                 |                 |
| Descripción                                             | Tipo             | Tarifa/Hora  | Rendimiento                | Valor-Unit.     |                 |
| Retroexcavadora con martillo                            | h/m <sup>3</sup> | \$           | 160 000.00                 | 0.25            | \$ 640 000.00   |
| Minicargador                                            | h/m <sup>3</sup> | \$           | 55 201                     | 0.25            | \$ 220 804.00   |
| Cortadora con disco de 0.26m                            | h/m <sup>3</sup> | \$           | 63 900                     | 7.2             | \$ 460 080.00   |
| Taladro, planta eléctrica y broca para perforaciones    | Und/losa         | \$           | 15 600                     | 22              | \$ 343 200.00   |
| Rodillo vibratorio/compactador                          | h/m <sup>3</sup> | \$           | 111 231                    | 7               | \$ 15 890.14    |
| Fmalleta metálica con accesorios                        | m <sup>2</sup>   | \$           | 927                        | 6               | \$ 5 562.00     |
| Zuncho para puntillas con amarre                        | Und/losa         | \$           | 600                        | 1               | \$ 600.00       |
| Carpas para protección de lluvia y viento               | Und/losa         | \$           | 4 326                      | 1               | \$ 4 326.00     |
| Pulidora                                                | h/m <sup>3</sup> | \$           | 1 862                      | 3.402           | \$ 6 334.52     |
| Herramienta menor                                       | ( 5% MDO )       |              |                            |                 | \$ 19 564.80    |
| Sub-Total                                               |                  |              |                            |                 | \$ 1 716 361.47 |
| II. MATERIALES EN OBRA                                  |                  |              |                            |                 |                 |
| Descripción                                             | Unidad           | Precio-Unit. | Cantidad                   | Valor-Unit.     |                 |
| Concreto MR-45                                          | m <sup>3</sup>   | \$           | 815 004                    | 3.402           | \$ 2 772 643.61 |
| Acero de refuerzo 60000 PSI                             | Kg               | \$           | 5 871.00                   | 80.55           | \$ 472 909.05   |
| Antisol                                                 | gal              |              |                            |                 | \$ 15 200.00    |
| Sub-Total                                               |                  |              |                            |                 | \$ 3 260 752.66 |
| III. TRANSPORTES                                        |                  |              |                            |                 |                 |
| Material                                                | Vol-peso ó Cant. | Distancia    | M <sup>3</sup> -Km         | Tarifa          | Valor-Unit.     |
| Transporte ESCOMBRO (demolición)                        | 3.402            | 15           | 71.442                     | 960             | \$ 68 584.32    |
| Sub-Total                                               |                  |              |                            |                 | \$ 68 584.32    |
| IV. MANO DE OBRA                                        |                  |              |                            |                 |                 |
| Trabajador                                              | Jomal            | Prestaciones | Jomal Total                | Rendimiento     | Valor-Unit.     |
| Oficial (3)                                             | \$ 75 400.00     | \$ 45 240.00 | \$ 361 920.00              | 2.5             | \$ 144 768.00   |
| Ayudnate (6)                                            | \$ 64 200.00     | \$ 38 520.00 | \$ 616 320.00              | 2.5             | \$ 246 528.00   |
| Sub-Total                                               |                  |              |                            |                 | \$ 391 296.00   |
| Total Costo Directo                                     |                  |              |                            |                 | \$ 5 436 994.44 |
| V. COSTOS INDIRECTOS                                    |                  |              |                            |                 |                 |
| Descripción                                             |                  |              | Porcentaje                 | Valor Total     |                 |
| A                                                       |                  |              | 20%                        | \$ 1 087 398.89 |                 |
| I                                                       |                  |              | 5%                         | \$ 271 849.72   |                 |
| U                                                       |                  |              | 5%                         | \$ 271 849.72   |                 |
| Sub-Total                                               |                  |              |                            |                 | \$ 1 631 098.33 |
| Precio unitario por losa de concreto tipo MR-45         |                  |              |                            |                 | \$ 7 068 092.78 |
| Precio unitario x m <sup>2</sup> de concreto tipo MR-45 |                  |              |                            |                 | \$ 560 960      |

## 5. Conclusiones y Recomendaciones

- Teniendo en cuenta las características petrográficas observadas en las muestras y de acuerdo con Poole & Sims (2014), los productos finales por un ataque de ácidos a una muestra de concreto es la generación de una pasta cementante empobrecida y afectada por procesos de descalcificación con formas gelatinosas de sílice hidratada, alúmina e hidróxidos de hierro que se extiende sobre una zona de carbonatación. Esta pasta cementante residual suele ser un gel de sílice con textura isotrópica sin ninguna capacidad de cementación significativa, de ahí la naturaleza débil y friable del producto final y su potencial para corroerse y desgastarse. Así mismo, también puede formarse la textura de un depósito de calcita en forma de rosetas o “palomitas de maíz”, la cual es un patrón residual de grupos de cristales de calcita que se desarrollan de manera relativamente uniforme dentro de la matriz de la pasta cementante descalcificada y residual.

- De acuerdo con los núcleos extraídos, se observó en la parte superior una superficie irregular y en la parte inferior presenta una terminación lisa en contacto con una capa de mezcla asfáltica. La longitud mínima y máxima del concreto es de 244 mm y 256 mm. Teniendo en cuenta que el espesor de diseño de la losa de pavimento es de 260 mm y con las medidas obtenidas en la muestra recibida, ésta tiene una pérdida de material por la acción del agente agresivo (lixiviado) entre 5 mm y 16 mm.

- Para las muestras de concreto tipo MR-45 12 (2017), 13 (2021) y 14 (2023) de la malla vial interna de Corabastos se identificó mediante el análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía de dispersión de energía de rayos X (EDX) que en la composición química de la pasta cementante hacia la parte más superior de la muestra presentan cambios en el contenido del calcio respecto a la cercanía de la superficie de exposición al ambiente.

- Por medio del ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto NTC 673, se observó la pérdida de resistencia en la losa de concreto tipo MR-45 afectada por el ataque químico variando en un 33 % en comparación con la resistencia de diseño 5000 psi de la losa en concreto tipo MR-45 en buen estado.

- En la caracterización del lixiviado se determinó el pH para los sectores de abastecimiento de la cebolla, tomate, naranja y otro que es la mezcla de residuos, clasificando el lixiviado como una sustancia ácida con un pH entre 3.89 – 4.4, el cual afecta la pasta cementante del concreto tipo MR-45 de la malla vial interna de Corabastos.

- El objetivo del caso de estudio se cumplió empleando la investigación aplicada tocando los límites de las ciencias puras, a través de la experimentación para la recolección de datos por medio del instrumento de la observación (auscultación) y los ensayos de laboratorio realizados al concreto atacado en la central de abastecimiento de alimentos Corabastos en Bogotá, que a su vez confirmaron la hipótesis planteada “los pavimentos rígidos sometidos a ataques químicos por lixiviados presentan degradación, corrosión y descalcificación tal como se demostró con los ensayos de laboratorio explicados en los resultados.

- De acuerdo con la norma NTC 5551 durabilidad del concreto, establece la formulación mínima del concreto para procesos de ataque químico fuerte definido en la subclase 6.3, dicho requerimiento normativo está diseñado para garantizar la durabilidad del concreto al ser expuesto a ataques químicos fuertes con  $\text{pH} < 4.5$ . Con los ensayos de laboratorio realizados, se demostró que la norma presenta vacíos en términos de durabilidad frente a la agresividad química, habida cuenta que el concreto a pesar de cumplir con los requisitos citados en esta norma presentó deterioro por la exposición de ataques químicos, en este sentido la investigación recomienda

modificar la tabla 3. valores límite para composición y propiedades del concreto, de tal forma que se ajuste a lo requerimientos y necesidades para que el concreto soporte ataques químicos.

- Con base en la normativa (leyes, decretos, acuerdos, resoluciones, entre otras.) se elaboró un procedimiento con el objeto de socializar, sensibilizar y capacitar a los usuarios de la Central de Abastecimiento de Alimentos Abastos a fin de lograr una adecuada disposición de residuos que permita mitigar la afectación de la malla vial interna de Corabastos.

- La reparación del concreto a noviembre de 2023 a precios unitarios tiene un valor de \$560.960 COP por m<sup>2</sup> con un costo total de \$ 25.988.542.616 COP para atender 46.328 m<sup>2</sup> de área afectada en la Central de Abastecimiento de Alimentos de Bogotá, por la degradación del concreto, valor que incluye la demolición, corte, dilatación de losas adjuntas, perforación de nuevos pasadores y fundida de la nueva losa en las especificaciones del diseño MR-45 INV-500.

- Para mitigar la degradación del concreto tipo MR-45 de la malla vial interna de Corabastos se recomienda evitar la disposición directa de residuos orgánicos sobre el pavimento del corredor vial.

- Sensibilizar la comunidad comercial de Corabastos en el contexto ambiental que genere consciencia de responsabilidad en la correcta disposición de los residuos.

- Capacitar al operador logístico de residuos para el aprovechamiento de los residuos orgánicos en procesos de compostaje y generación de abonos.

- Dar cumplimiento a lo establecido en el reglamento interno de Corabastos con el adecuado seguimiento y control por parte de seguridad y convivencia e implementar los comparendos ambientales que haya lugar.

## 6. Lista de Referencias

- Álvarez & Suarez, (2006). Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario “El Guayabal” de la ciudad San José de Cúcuta, Ingeniería y desarrollo, 20, 2006.
- ASTM C856-20 2020-03-03 Standard practice for petrographic examination of hardened concrete.
- ASTM C1723-16 2016-12-27 Standard guide for examination of hardened concrete using scanning electron microscopy.
- Caijun Shia, \*, J.A. (2000) Stegemann, Acid corrosion resistance of different cementing materials, Cement and concrete research.
- Creswell, J. (2013). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. (4a ed.). EE. UU.: Sage publications.
- Estokova, A. (2019). Analyzing the Relationship between Chemical and Biological-Based Degradation of Concrete with Sulfate-Resisting Cement Pol J Environ Stud, 28(4), 2121.
- García, N. A. (2020). Primordiales problemas de la durabilidad del concreto: una revisión general. Recuperado de: [repository.usta.edu.co](https://repository.usta.edu.co)
- Glasser, FP. (2008). Durability of concrete - Degradation phenomena involving detrimental chemical reactions Cement Concrete Res, 38(2), 226.
- Hernández, R. & Mendoza, C. (2018) Metodología de la investigación. las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Editorial Mc Graw Hill. México. p. 714.
- Norma Técnica Colombiana NTC 5551 (2007) Concretos, durabilidad de estructuras de concreto
- OUYANG CS. (1988). Internal and external sources of sulfate ions in portland cement mortar: two types of chemical attack. Cement Concrete Res, 18, 699.
- Pole, A. & Sims, L., (2014) Concrete petrography a handbook of investigative techniques. Segunda Edición. CRC Press Taylor & Francis Group.

Robin E. Beddoe\*, Horst W., (2005). Dorner, Modelling acid attack on concrete: Part I. The essential mechanisms, Cement and concrete research

Terminología del cemento y del concreto ACI116R-0. (2000) México D.F.

Zhao GW. (2020). The influence of multiple combined chemical attack on cast-in-situ concrete: Deformation, mechanical development and mechanisms Constr Build Mater, 251.