

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA DIATOMITA COMO  
ALTERNATIVA DE NUEVO CONGLOMERANTE PARA  
LA FABRICACIÓN DE CONCRETO SOSTENIBLE  
EN TACNA – 2024”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. ANACRISTINA ISABEL ASPIROS VILLANUEVA**

**Bach. ALEJANDRO JOSÉ AGUILAR MAMANI**

**TACNA – PERÚ**

**2024**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA DIATOMITA COMO  
ALTERNATIVA DE NUEVO CONGLOMERANTE PARA  
LA FABRICACIÓN DE CONCRETO SOSTENIBLE  
EN TACNA – 2024”**

Tesis sustentada y aprobada el 15 de noviembre del 2024; estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE : MTRO. GIANCARLOS JAVIER MACHACA FRIAS**

**SECRETARIO : MTRA. ROSALÍ CRISTINA ALANIA COTRADO**

**VOCAL : MTRA. GLENDA MILAGROS LINAJA GARCÍA**

**ASESOR : MTRA. MARÍA ETELVINA DUARTE LIZARZABURU**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Anacristina Isabel Aspiros Villanueva y Alejandro José Aguilar Mamani, egresados, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 71518881 y 70209621 respectivamente, así como María Etelvina Duarte Lizarzaburo con DNI 00490661; declaramos en calidad de autores y asesor que:

1. Somos los autores de la tesis titulada: *“Estudio de la influencia de la diatomita como alternativa de nuevo conglomerante para la fabricación de concreto sostenible en Tacna – 2024”*, la cual presentamos para optar el Título Profesional de *Ingeniero Civil*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a La Universidad toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante a La Universidad y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, 21 de noviembre de 2024

Anacristina Isabel Aspiros Villanueva  
DNI: 71518881

Alejandro José Aguilar Mamani  
DNI: 70209621

María Etelvina Duarte Lizarzaburo  
DNI: 00490661

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, cuyo amor incondicional y sacrificio diario han guiado mi camino. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y por siempre creer en mí, incluso en los momentos de duda. A mi hermana, quien ha compartido risas y lágrimas en este viaje, su apoyo inquebrantable ha sido una fuente constante de motivación y fortaleza.

Y a la pequeña Anacristina, que se sentía preocupada por empezar la universidad, ha sido difícil, pero te has esforzado demasiado. Lo has hecho bien, felicitaciones.

Anacristina Isabel Aspiros Villanueva

## **DEDICATORIA**

A mi madre, quien a pesar de las adversidades en estos últimos años siempre se esforzó por mí, con un apoyo constante tanto económico y emocional, a mi abuela, quien a pesar de su edad siempre me brindo su cariño incondicional, a mis tíos, quienes a pesar de la distancia siempre me apoyaron con sus consejos, a mis docentes en el transcurso de mi carrera, que sin ellos no podría haber adquirido los conocimientos necesarios para ejercer mi carrera de manera eficiente.

Alejandro José Aguilar Mamani

## **AGRADECIMIENTO**

A todas las personas que contribuyeron a la realización de esta tesis. A nuestros docentes, por su valiosa orientación y retroalimentación, que fueron esenciales en cada etapa del proceso, en especial a la Ingeniera María Duarte, cuya dedicación, paciencia y conocimientos han sido fundamentales para la culminación de este trabajo. Gracias por guiarnos en cada etapa, por sus sugerencias y por su constante apoyo y compromiso. También agradecemos a quienes nos apoyaron con recursos y referencias, facilitando el acceso a la información necesaria. Su contribución ha sido fundamental para alcanzar este objetivo.

Anacristina Isabel Aspiros Villanueva

Alejandro José Aguilar Mamani

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS.....	II
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XII
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XIV
RESUMEN .....	XV
ABSTRACT .....	16
INTRODUCCIÓN .....	17
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	18
1.1. Descripción del problema .....	18
1.2. Formulación del problema .....	20
1.2.1. Problema general .....	20
1.2.2. Problemas específicos.....	20
1.3. Justificación e importancia.....	20
1.4. Objetivos .....	22
1.4.1. Objetivo general .....	22
1.4.2. Objetivos específicos.....	22
1.5. Hipótesis.....	22
1.5.1. Hipótesis general.....	22
1.5.2. Hipótesis específicas .....	22
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	24
2.1. Antecedentes.....	24
2.1.1. Internacionales .....	24
2.1.2. Nacionales.....	25
2.2. Bases teóricas .....	27
2.2.1. Marco legal .....	27
2.2.2. Concreto.....	28
2.2.3. Composición y tipos de cemento .....	36
2.2.4. Cemento Portland tipo I .....	39
2.2.5. Cemento Portland puzolánico tipo IP .....	40
2.2.6. Cemento Portland HE .....	42
2.2.7. Conglomerantes alternativos .....	44

2.2.8. Concreto sostenible a base de la implementación de tierra de diatomea.....	45
2.2.9. Tierra de diatomea.....	45
2.3. Definición de términos .....	55
2.3.1. Concreto sostenible .....	55
2.3.2. Conglomerante .....	55
2.3.3. Eficiencia .....	55
2.3.4. Impacto ambiental .....	55
2.3.5. Optimización.....	55
2.3.6. Sostenibilidad .....	56
2.3.7. Tierra de diatomea.....	56
2.3.8. Resistencia .....	56
CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO.....	57
3.1. Diseño de la investigación .....	57
3.2. Acciones y actividades.....	57
3.3. Materiales y/o instrumentos .....	59
3.3.1. Materiales .....	59
3.3.2. Instrumentos.....	63
3.4. Población y/o muestra de estudio .....	65
3.4.1. Población.....	65
3.4.2. Muestra .....	65
3.5. Operacionalización de variables .....	66
3.6. Procesamiento y análisis de datos.....	67
CAPÍTULO V: RESULTADOS.....	68
4.1. Propiedades físicas de la tierra de diatomea .....	68
4.1.1. Análisis granulométrico.....	68
4.1.2. Módulo de fineza .....	69
4.1.3. Peso unitario.....	69
4.1.4. Contenido de humedad.....	70
4.1.5. Peso específico .....	70
4.1.6. Absorción .....	71
4.2. Propiedades químicas de la tierra de diatomea .....	71
4.2.1. Microscopía electrónica de barrido – SEM EDS.....	71
4.2.2. Difracción de rayos X.....	78
4.2.3. Fluorescencia de rayos X .....	79
4.2.4. Contenido de materia orgánica.....	80
4.2.5. Potencial de hidrógeno (pH) .....	81

4.3.	Diseño de mezcla .....	81
4.4.	Muestras elaboradas .....	82
4.5.	Muestra patrón .....	83
4.6.	Muestras de observación con sustitución de tierra de diatomea .....	84
4.7.	Comparación de la muestra patrón con las muestras con sustitución porcentual de tierra de diatomea .....	88
4.7.1.	Asentamiento de concreto .....	88
4.7.2.	Resistencia a la compresión .....	88
4.7.3.	Costo – beneficio del concreto por m3.....	92
4.7.4.	Estimación y análisis de la reducción de emisión de CO2 .....	93
CAPÍTULO VI: DISCUSIONES.....		94
CONCLUSIONES .....		96
RECOMENDACIONES .....		99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		100
ANEXOS .....		105

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características del concreto .....	29
Tabla 2. Relación de las características de los agregados con el concreto .....	30
Tabla 3. Límites granulométricos para el agregado fino .....	32
Tabla 4. Límites granulométricos para el agregado grueso .....	33
Tabla 5. Influencia de la relación agua/cemento en la resistencia del cemento .....	35
Tabla 6. Componentes del cemento Portland.....	36
Tabla 7. Tipos de cemento .....	37
Tabla 8. Identificación de los tipos de cemento según las marcas.....	38
Tabla 9. Especificaciones técnicas cemento Portland tipo IP .....	40
Tabla 10. Cemento Portland tipo IP en el Perú.....	41
Tabla 11. Especificaciones técnicas cemento Portland tipo HE.....	42
Tabla 12. Cemento Portland tipo HE en el Perú .....	44
Tabla 13. Composición química de la tierra de diatomea .....	48
Tabla 14. Plan de acción y actividades.....	57
Tabla 15. Procedimientos experimentales físicos.....	63
Tabla 16. Procedimientos experimentales químicos.....	64
Tabla 17. Ensayos del concreto .....	64
Tabla 18. Cantidad de probetas (muestras) elaboradas .....	66
Tabla 19. Operacionalización de variables de investigación.....	66
Tabla 20. Resultados granulometría.....	68
Tabla 21. Resultados peso unitario suelto.....	69
Tabla 22. Resultados peso unitario compactado .....	69
Tabla 23. Resultados contenido de humedad.....	70
Tabla 24. Resultados peso específico.....	70
Tabla 25. Resultados absorción .....	71
Tabla 26. Resultados SEM EDS.....	71

Tabla 27. Concentración de las fases cristalinas en la muestra.....	78
Tabla 28. Composición química expresada como elementos .....	79
Tabla 29. Composición química expresada como óxidos .....	79
Tabla 30. Resultados contenido de materia orgánica .....	80
Tabla 31. Resultados potencial de hidrógeno (pH).....	81
Tabla 32. Materiales para el diseño de mezcla.....	81
Tabla 33. Parámetros para el diseño de mezcla.....	81
Tabla 34. Volumen y peso de los materiales .....	82
Tabla 35. Diseño de mezcla de concreto ACI.....	82
Tabla 36. Nomenclatura .....	82
Tabla 37. Resultados resistencia a la compresión de la muestra patrón .....	83
Tabla 38. Resultados resistencia a la compresión con una sustitución de 5 % de tierra de diatomea .....	84
Tabla 39. Resultados resistencia a la compresión con una sustitución de 10% de tierra de diatomea .....	85
Tabla 40. Resultados resistencia a la compresión con una sustitución de 15% de tierra de diatomea .....	86
Tabla 41. Resultados resistencia a la compresión con una sustitución de 20 % de tierra de diatomea .....	87
Tabla 42. Resultados asentamiento de concreto.....	88
Tabla 43. Resultados resistencia a la compresión a los 7 días.....	88
Tabla 44. Resultados resistencia a la compresión a los 14 días.....	89
Tabla 45. Resultados resistencia a la compresión a los 21 días.....	90
Tabla 46. Resultados resistencia a la compresión a los 28 días.....	91
Tabla 47. Reducción de emisiones de CO2 por uso de diatomea por bolsa de cemento .....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de mezclas de cemento con tierras de diatomea de Hungría, Rumania y Grecia .....	51
Figura 2. Comparación de mezclas de cemento Portland con diversas tierras de diatomea de Grecia .....	52
Figura 3. Resistencias a compresión de morteros con diatomea original y calcinada .	53
Figura 4. Ubicación del lugar de extracción .....	59
Figura 5. Lugar de extracción .....	60
Figura 6. Muestra de tierra de diatomea .....	60
Figura 7. Ficha técnica del cemento Yura HE .....	61
Figura 8. Ficha técnica del cemento Yura IP .....	62
Figura 9. Zona de análisis N°01, 500X .....	72
Figura 10. Gráfica de energías N°01: Espectro de energía en el área N°01 .....	72
Figura 11. Gráfica de energías N°02: Espectro de energía en el área N°02 .....	73
Figura 12. Gráfica de energías N°03: Espectro de energía en el área N°03 .....	73
Figura 13. Zona de análisis N°02, 1000X .....	74
Figura 14. Gráfica de energías N°04: Espectro de energía en el área N°04 .....	74
Figura 15. Gráfica de energías N°05: Espectro de energía en el área N°05 .....	75
Figura 16. Gráfica de energías N°06: Espectro de energía en el área N°06 .....	75
Figura 17. Zona de análisis N°03, 2000X .....	76
Figura 18. Gráfica de energías N°07: Espectro de energía en el área N°07 .....	76
Figura 19. Gráfica de energías N°08: Espectro de energía en el área N°08 .....	77
Figura 20. Gráfica de energías N°09: Espectro de energía en el área N°09 .....	77
Figura 21. Difractograma de la muestra y fases cristalinas identificadas .....	78
Figura 22. Resistencia a la compresión de la muestra patrón .....	83
Figura 23. Resistencia a la compresión de la muestra de observación con 5 % de TD .....	84

Figura 24. Resistencia a la compresión de la muestra de observación con 10 % de TD .....	85
Figura 25. Resistencia a la compresión de la muestra de observación con 15 % de TD .....	86
Figura 26. Resistencia a la compresión de la muestra de observación con 20 % de TD .....	87
Figura 27. Resistencia a la compresión a los 7 días.....	89
Figura 28. Resistencia a la compresión a los 14 días.....	90
Figura 29. Resistencia a la compresión a los 21 días.....	91
Figura 30. Resistencia a la compresión a los 28 días.....	92
Figura 31. Costo por m <sup>3</sup> de concreto .....	92
Figura 32. Extracción de la muestra de tierra de diatomea.....	138
Figura 33. Ensayo de peso unitario suelto TD.....	139
Figura 34. Ensayo de contenido de humedad TD.....	140
Figura 35. Análisis granulométrico TD.....	142
Figura 36. Ensayo de peso unitario compactado TD .....	142
Figura 37. Ensayo de peso específico y absorción TD .....	143
Figura 38. Ensayo de límite líquido y plástico.....	145
Figura 39. Preparación de moldes y etiquetado .....	146
Figura 40. Preparación de materiales.....	146
Figura 41. Elaboración de concreto.....	147
Figura 42. Prueba de slump concreto patrón.....	147
Figura 43. Vaciado, desencofrado y curado de probetas de concreto .....	148
Figura 44. Preparación y rotura de probetas .....	149

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Matriz de consistencia.....	106
Anexo 2. Reporte de derecho minero – Minera Fénix I.....	108
Anexo 3. Reporte de derecho minero – Minera Fénix II.....	109
Anexo 4. Informe de laboratorio químico .....	110
Anexo 5. Panel Fotográfico Ensayos Químicos.....	122
Anexo 6. Certificado de acreditación del laboratorio.....	124
Anexo 7. Informe propiedades de los agregados .....	125
Anexo 8. Panel fotográfico .....	138

## RESUMEN

El presente estudio titulado “Estudio de la influencia de la diatomita como alternativa de nuevo conglomerante para la fabricación de concreto sostenible en Tacna – 2024”, aborda la creciente necesidad de encontrar materiales de construcción que reduzcan el impacto ambiental del sector. La investigación se enfoca en analizar la viabilidad de la tierra de diatomea como un conglomerante alternativo al cemento convencional en la fabricación de concreto con una resistencia de  $F'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>. El estudio examinó la influencia de la tierra de diatomea en la fabricación de concreto sostenible, evaluando específicamente su resistencia a la compresión comparada con la de un concreto convencional elaborado con cemento puzolánico. Los objetivos incluyeron analizar las propiedades físicas y químicas de la diatomita de la Cantera Minera Fénix, diseñar una mezcla de concreto en la que se puedan sustituir diferentes porcentajes de este material, y comparar sus resultados con los del concreto de cemento puzolánico, considerando factores técnicos, económicos y ambientales. La metodología utilizada consistió en la realización de ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas y químicas del material, así como también la resistencia a la compresión de la muestra patrón como de las muestras de observación, así como un análisis de coste-beneficio que incluía una comparación de ambas opciones de concreto. Los resultados indicaron que el concreto con adición de diatomita hasta en un 15 % logró cumplir con los estándares de resistencia estructural requeridos, revelando así su potencial como sustituto del cemento. Además, se evidenció que la implementación de la diatomita contribuiría a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, un objetivo crucial en el contexto actual de sostenibilidad en la construcción.

**Palabras Clave:** Concreto sostenible; conglomerante; impacto ambiental; tierra de diatomea; resistencia.

## ABSTRACT

The present study entitled “Study of the influence of diatomite as an alternative new binder for the manufacture of sustainable concrete in Tacna - 2024”, addresses the growing need to find construction materials that reduce the environmental impact of the sector. The research focuses on analyzing the viability of diatomaceous earth as an alternative binder to conventional cement in the manufacture of concrete with a strength of F'c 210 kg/cm<sup>2</sup>. The study examined the influence of diatomaceous earth in the manufacture of sustainable concrete, specifically evaluating its compressive strength compared to that of conventional concrete made with pozzolanic cement. The objectives included analyzing the physical and chemical properties of diatomite from the Minera Fénix Quarry, designing a concrete mix in which different percentages of this material can be substituted, and comparing its results with those of pozzolanic cement concrete, considering technical, economic and environmental factors. The methodology used consisted of laboratory tests to determine the physical and chemical properties of the material, as well as the compressive strength of the standard and observation samples, and a cost-benefit analysis that included a comparison of both concrete options. The results indicated that the concrete with diatomite addition of up to 15 % was able to meet the required structural strength standards, thus revealing its potential as a cement substitute. In addition, it was shown that the implementation of diatomite would contribute to reduce CO<sub>2</sub> emissions, a crucial objective in the current context of sustainability in construction.

**Keywords:** Sustainable concrete; conglomerate; environmental impact; diatomaceous earth; resistance.

## INTRODUCCIÓN

La construcción es una de las industrias más significativas a nivel global, sin embargo, también enfrenta importantes retos en términos de sostenibilidad ambiental. En este contexto, el presente estudio se propone explorar la viabilidad de la tierra de diatomea como un nuevo conglomerante en la fabricación de concreto, con miras a reducir el impacto ambiental derivado del uso del cemento convencional. La diatomita, un material natural con propiedades físicas y químicas únicas, se presenta como una alternativa prometedora que podría disminuir la dependencia de recursos no renovables y contribuir a la reducción de emisiones de dióxido de carbono asociadas a la producción de cemento.

Este estudio se llevó a cabo en Tacna, una región que anticipa un crecimiento significativo en la demanda de infraestructura, ejerciendo presión sobre la necesidad de soluciones constructivas más sostenibles. A través de un análisis de las propiedades mecánicas del concreto adicionado con diatomita frente al concreto con cemento puzolánico, se busca establecer una base que no solo favorezca el desarrollo de nuevos materiales de construcción, sino que también impulse prácticas más eficientes y responsables en el sector.

La diatomita, un mineral natural rico en sílice, ha sido objeto de estudio debido a sus propiedades únicas que podrían contribuir a mejorar las características del concreto. Este material, que se encuentra en abundancia en ciertas regiones, incluida Tacna, ha sido poco aprovechado en aplicaciones constructivas, a pesar de ofrecer ventajas potenciales tanto en términos de rendimiento del concreto como en la sostenibilidad del proceso productivo. Estudios previos han demostrado que la incorporación de diatomita puede reducir la demanda de cemento, lo que a su vez disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas durante su producción.

En este sentido, la investigación además de contribuir al avance del conocimiento en el campo de los materiales de construcción aspira a ofrecer soluciones prácticas que promuevan la sostenibilidad en la industria, respaldando así los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) sobre la innovación y la construcción de infraestructuras sostenibles. Por lo tanto, este trabajo se inserta en un contexto de relevancia que aboga por prácticas más responsables y eficientes en el uso de recursos en la construcción.

## CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Descripción del problema

El tema de sostenibilidad en proyectos de construcción es un principio que busca mejorar y reducir, en la medida de lo posible, las consecuencias de su operatividad, mediante modelos y planes que regulen la contaminación y aseguren las condiciones necesarias para realizar construcciones que consideren el uso eficiente de recursos y medios, la viabilidad de materiales alternativos con bajo consumo energético, y la promoción de la relación ambiental, económica y social.

Sin embargo, los factores y limitaciones a los que se ven expuestos los proyectos, y con ello los ejecutores de estos, son innumerables. Estos incluyen barreras sociales, falta de conocimiento e interés en el tema, regulaciones inadecuadas, entre otros, lo que convierte a la sostenibilidad en un tema de interés actual y el motivo de la aprobación del Código Técnico de Construcción Sostenible (CTCS). Este código busca diseñar y ejecutar edificaciones sostenibles. No obstante, a pesar de su aplicación en todo el territorio nacional y su obligatoriedad tanto en obras públicas como privadas, su implementación completa no se ha logrado debido a su complejidad y los costos agregados que supone.

A nivel mundial, la construcción se considera una de las industrias menos sostenibles, puesto que está asociada al uso indiscriminado de recursos no renovables y es responsable del 23 % de la contaminación del aire, el 40% de la contaminación del agua potable, y de la producción del 50 % de los residuos que van a los vertederos. Además, consume el 40 % de la producción mundial de piedra en bruto, grava y arena (Prensa, 2023).

Actualmente, la nueva tecnología en construcción y la gran ambición de la ingeniería en desarrollar obras de gran envergadura han generado un aumento significativo en el uso de materiales de construcción, siendo el concreto el material más utilizado en la industria. Por esta razón, la contaminación asociada a la producción de cemento es preocupante. Además, dado que muchas empresas dedicadas al rubro no cuentan con políticas de sostenibilidad y manejo adecuado de materia prima para mitigar la contaminación y el impacto ambiental generado por la producción de cemento, al considerarse esto insignificante o innecesario, la contaminación causada por su producción es aún mayor. El concreto es el material más usado debido a su solidez, resistencia a lo largo del tiempo, adaptabilidad y otras

características que lo hacen conveniente. Por ello, es importante aprovechar nuevas materias primas para su fabricación y, de ser posible, mejorar sus propiedades físicas y químicas en comparación con los materiales tradicionales. Sin embargo, el reemplazo de dichos materiales suele ser costoso, y muchos de ellos no se encuentran fácilmente en la localidad, ni siquiera en el país, lo que implica que su importación aumentaría los gastos de producción. En consecuencia, es fundamental encontrar un material alternativo que pueda usarse como reemplazo parcial del cemento y que sea de fácil acceso en la localidad.

El uso extensivo de cemento en el sector de la construcción presenta desafíos significativos en términos de sostenibilidad ambiental y desarrollo urbano sostenible. Debido al calentamiento global y al aumento en las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), para el año 2050 se procura reducir a 0 % la emisión de  $\text{CO}_2$ , según lo indicado en el Acuerdo de París. Por lo tanto, los fabricantes de cemento deben considerar cinco aspectos fundamentales, conocidos como las 5C: cemento, concreto, clínker, construcción y carbón (Cement Association of Canada, 2023). En la fabricación del cemento, casi el 40 % de las emisiones de  $\text{CO}_2$  se deben al proceso de formación del Clínter (Sousa y Bogas, 2021), por lo que su reemplazo por puzolanas naturales, como la tierra de diatomea, reduciría las emisiones ligadas a su producción.

En el contexto de Tacna, donde se anticipa un aumento en la demanda de infraestructura y vivienda en los próximos años, la necesidad de reducir la huella ambiental de la industria de la construcción es aún más urgente. Por lo tanto, surge la imperiosa necesidad de explorar alternativas innovadoras y sostenibles al cemento convencional.

En ese sentido, se propone la incorporación de tierra de diatomea en la fabricación de concreto con cemento tipo He. En este trabajo de investigación, se aborda el problema mediante el estudio de la diatomita como un potencial nuevo conglomerante para concreto sostenible. La diatomita, un mineral abundante y poco utilizado localmente, se plantea como una alternativa prometedora al cemento convencional, con el potencial de reducir la dependencia de recursos no renovables y disminuir las emisiones de carbono asociadas. Además, se realiza una comparación con concreto puzolánico, con la finalidad de determinar la viabilidad de su uso como nuevo conglomerante y sus ventajas por sobre el concreto habitual. Es importante destacar que este proyecto pretende ofrecer una visión general de cómo se podría

plantear la dosificación de los distintos componentes mediante una investigación experimental.

Al hacerlo, esta investigación aspira a contribuir al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), específicamente el Objetivo N° 9, promoviendo la innovación en la industria de la construcción, y al Objetivo N° 11, fomentando comunidades y ciudades sostenibles mediante la adopción de prácticas de construcción más respetuosas con el medio ambiente.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es la eficacia comparativa del concreto estructural elaborado con cemento puzolánico frente al concreto adicionado con tierra de diatomea en términos de resistencia?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a. ¿Cuáles son las propiedades físicas y químicas de la tierra de diatomea como materia prima?
- b. ¿Cuál es la dosificación idónea para la fabricación de concreto puzolánico y de concreto adicionado con tierra de diatomea que permita alcanzar la resistencia a la compresión esperada?
- c. ¿Cuáles son las ventajas del concreto adicionado con tierra de diatomea frente al concreto puzolánico, considerando factores técnicos, económicos y ambientales?

## **1.3. Justificación e importancia**

En el aspecto teórico, el conocimiento del aporte de la tierra de diatomeas para la fabricación de concreto estructural permitirá evaluar su influencia, viabilidad como material de construcción y la proporción adecuada para satisfacer los requerimientos mínimos de resistencia. Por consiguiente, generar conciencia sobre su importancia y considerar su aprovechamiento en la práctica constructiva futura.

La metodología aplicada en el presente trabajo puede utilizada tanto a nivel regional como nacional, presentando una solución a una problemática creciente en el país. Además, establece un precedente que puede incluirse en los antecedentes de futuras investigaciones destinadas realizar al desarrollo de nuevas tecnologías.

En el ámbito académico, el presente trabajo de investigación contribuirá al avance del conocimiento científico y tecnológico en el campo de los materiales de construcción, específicamente en las condiciones de la región de Tacna y de la diatomea extraída de la cantera en estudio. Además, se propone investigar su uso como material alternativo sostenible, adoptando un enfoque no solamente experimental y técnico, sino también considerando aspectos ambientales, sociales y económicos. Esto proporcionará una nueva metodología y datos empíricos que podrían utilizarse para futuras investigaciones relacionadas con materiales de construcción sostenibles.

En el ámbito social, la región de Tacna, al igual que muchas otras regiones, enfrenta desafíos relacionados con la sostenibilidad ambiental y el uso eficiente de recursos en la construcción. Esta investigación busca promover la explotación de tierras de diatomea en el territorio nacional para su uso en el campo de la construcción y otros sectores. De este modo, se pretende generar un beneficio para la sociedad mediante la introducción de una nueva materia prima en el mercado como sustituto parcial del cemento, fomentando prácticas de construcción más sostenibles y potencialmente más económicas a largo plazo. Esto mejoraría su calidad de vida, generaría nuevos puestos de trabajo durante su explotación y reduciría el impacto ambiental.

En el ámbito ambiental, el sector de la construcción es uno de los mayores consumidores de recursos naturales y generador de emisiones de carbono. Según Rosenhurt et al. (2019), el uso parcial de tierra de diatomea en la fabricación de concreto permite reducir el requerimiento de cemento, por ende, la contaminación ambiental generada por la emisión de dióxido de carbono en la fabricación del Clinker. Además, se logra reducir los residuos industriales que son generados por su producción.

Finalmente, en el ámbito económico, los costos de materiales y energía en la construcción son significativos. Investigar alternativas sostenibles puede generar beneficios económicos a largo plazo. El uso de tierra de diatomea como conglomerante alternativo añadido al cemento tradicional puede resultar

económicamente beneficioso, puesto que existen canteras en la localidad que permiten su extracción. Si se demuestra su viabilidad, tendría un impacto en el presupuesto de fabricación de cemento, al reducir el gasto de importación de materiales. De igual modo, supondría una fuente económica potencial de explotación para la ciudad de Tacna.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar la influencia de la diatomita como alternativa de nuevo conglomerante para la fabricación de concreto sostenible.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a. Realizar un análisis de las propiedades físicas y químicas de la tierra de diatomea obtenida de la Cantera Minera Fénix, ubicada al norte de Tacna.
- b. Elaborar el diseño de mezcla de concreto  $F'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, incorporando distintos porcentajes de tierra de diatomea.
- c. Comparar las ventajas del concreto adicionado con tierra de diatomea frente al concreto puzolánico, considerando factores técnicos, económicos y ambientales.

#### **1.5. Hipótesis**

##### **1.5.1. Hipótesis general**

El concreto adicionado con tierra de diatomea demostrará una resistencia comparable o superior en comparación con el concreto puzolánico.

##### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- a. Las propiedades físicas y químicas de la tierra de diatomea la hacen adecuada como materia prima adicional en la fabricación de concreto estructural.
- b. La dosificación óptima para la fabricación de concreto puzolánico y adicionado con tierra de diatomea para lograr la resistencia a la compresión esperada será

influenciada por la cantidad de tierra de diatomea utilizada y la relación agua-cemento de la mezcla de concreto.

- c. El concreto adicionado con tierra de diatomea demuestra ventajas significativas sobre el concreto puzolánico en términos de resistencia, costo de producción y consideraciones ambientales.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Internacionales

En su trabajo de investigación titulado *Propiedades del concreto de grano fino con mezcla de polvo de diatomeas*, Pokorny et al. (2019) buscaron estudiar las propiedades del concreto de grano fino con adición de polvo de diatomita, y examinar el potencial de este material como sustituto parcial del cemento Portland. Para dicho propósito, formularon diferentes mezclas de concreto donde se reemplazaron el cemento por diatomita en proporciones de 5 %, 10 %, 15 % y 20 %. Se realizaron diversos ensayos, entre ellos el ensayo de conductividad térmica, compresión, flexión, porosidad abierta total, en los cuales se obtuvo una reducción del porcentaje de porosidad en un 11.6 % en el concreto con un reemplazo del 5 % de diatomea. Sin embargo, con un reemplazo de 10 y 20 % se obtuvieron porosidades similares, a razón de la actividad puzolánica y el efecto de relleno de las partículas más grandes de la diatomea, logrando una estructura más compacta. Por otro lado, observaron una reducción de la trabajabilidad de la mezcla, causada por las partículas porosas de alta superficie específica, debido a que requieren mayor cantidad de agua al momento del mezclado. En cuanto a la resistencia a la compresión, el concreto con un 5 % de diatomeas mostró aumento de la resistencia en un 32 % aproximadamente en comparación con el concreto de referencia. Los resultados mostraron que las mezclas con hasta un 10% de diatomita mantienen propiedades mecánicas comparables a las del concreto de referencia, destacando su potencial para contribuir a la sostenibilidad de la construcción. Este contexto resalta la importancia de explorar los beneficios de la diatomita en la mejora del rendimiento del concreto, un aspecto relevante para el eje temático de la presente tesis.

En su trabajo de investigación titulado *Estudio de preparación de ultra-alta resistencia y concreto de alto desempeño de diatomita y sus propiedades mecánicas*, Du (2019) tuvo como objetivo principal la formulación u evaluación de las propiedades mecánicas del concreto de alto rendimiento mediante la incorporación de diatomita triturada calcinada ultrafina como sustituto parcial del cemento. El análisis incluyó pruebas del módulo de la elasticidad y resistencia a la compresión, a lo largo de múltiples intervalos de tiempo, 3, 7, 28, 56 y 90 días. Los hallazgos determinaron que la aplicación de la diatomea en proporciones controladas mejoraba las características

mecánicas del concreto. Esta mejora en sus propiedades se atribuía a la capacidad del material de reaccionar con los componentes del cemento, debido a que su adición conseguía una estructura más densa y resistente.

Los autores Fragoso y Visbal (2021), en su trabajo de investigación denominado *El uso de la puzolana de origen natural en concreto*, realizado en Cartagena, Colombia, tuvieron como objetivo realizar un estudio de la influencia de la puzolana natural en diferentes proporciones como sustituto parcial en el concreto. Para ello, se analizaron tres metodologías diferentes de aplicación en Argelia, Cuba y Ecuador. Los resultados indicaron que un exceso en la sustitución parcial puede reducir considerablemente la resistencia, puesto que no posee las mismas propiedades que un concreto tradicional. Sin embargo, la puzolana puede ser beneficiosa frente al ataque de ácidos y lugares con alta corrosión debido a su permeabilidad. Además, se encontró que la adición del 10 % del peso total mejora el concreto, mientras que la sustitución del 15 % a 20 % de su peso total mejora la resistencia a la compresión y flexión del concreto a los 28 días, incrementando su resistencia hasta en un 10 % respecto al concreto tradicional. Se enfatiza la necesidad de realizar ensayos de laboratorio con el material debido a que su composición puede variar según el lugar de su extracción y, con ello, el planteamiento de dosificaciones óptimas para alcanzar las resistencias requeridas.

### **2.1.2. Nacionales**

En su trabajo de investigación titulado *Evaluación de las propiedades de un concreto f'c 210 kg/cm<sup>2</sup> utilizando diatomeas calcinadas como reemplazo parcial del cemento*, Ciudad de Chiclayo, Pejerrey (2023) tuvo como propósito utilizar la diatomita para reemplazar parcialmente el cemento con el fin de abordar un problema real, ofreciendo un sustituto en la elaboración del concreto y buscando mejorar aspectos técnicos, sociales, económicos y ambientales. Se realizó un estudio cuantitativo, de tipo explicativo, con un diseño experimental, en el cual se determinó que el porcentaje ideal de sustitución por diatomita calcinada para el desarrollo óptimo del hormigón es del 5%. Esto se debe a que la diatomita calcinada produce mejores resultados cuando se aplica en proporciones menores en el hormigón.

En su estudio denominado *Influencia de la adición de tierra de diatomeas en el potencial de corrosión del acero ASTM a-615 dentro del concreto reforzado elaborado con cemento portland tipo i y cemento típico en el distrito de Máncora – Piura*,

Sánchez y Takahashi (2018) abordan la problemática de la corrosión en estructuras de concreto armado. La investigación se centra en evaluar cómo diferentes porcentajes de diatomita (5, 10 y 20%) afectan el potencial de corrosión del acero embebido, buscando determinar la proporción óptima que contribuya a minimizar este fenómeno. La relevancia de este estudio radica en la necesidad de mejorar la durabilidad del concreto y, por consiguiente, la vida útil de las estructuras, considerando que el deterioro por corrosión es uno de los principales factores que afectan la integridad estructural y la seguridad en la ingeniería civil. El análisis incluyó ensayos de resistencia a la compresión y evaluaciones de potencial de corrosión mediante el método de la media celda, siguiendo normativas como ASTM C876 y ASTM C109, lo que proporciona un marco metodológico robusto para validar los resultados obtenidos. Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión del concreto aumentó con el incremento en el porcentaje de tierra de diatomeas, siendo notable a los 56 días. En cuanto a la resistencia a la tracción, se comprobó que la adición de la tierra de diatomeas no alteró esta propiedad. Se concluyó que la mezcla con mejor desempeño contenía entre un 5 % y un 10 % de diatomita. En los ensayos de resistencia a la compresión, se observó que los diferentes reemplazos de cemento por diatomita cumplieron con los resultados esperados. Sin embargo, en el ensayo de tracción por compresión diametral, los resultados fueron similares, indicando que la adición de diatomita o microsílíce no mejora la tracción del concreto.

En investigaciones realizadas a nivel nacional, Velásquez (2019), en su tesis *Producción de concreto con sustitución porcentual de diatomita por cemento Portland Tipo I en Nuevo Chimbote*, realizada en Nuevo Chimbote, Perú, buscó producir concreto mediante la sustitución porcentual de diatomita por cemento Portland Tipo I, utilizando una investigación aplicada-explicativa y un método descriptivo e inferencial. Se prepararon muestras de concreto sustituido con diatomita en proporciones de 0 %, 5 %, 10 % y 15 %, y se realizaron ensayos de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días, así como el ensayo de permeabilidad. Se concluyó que la proporción óptima era la del 5 %, puesto que se observó que concentraciones mayores resultaban en una disminución de la resistencia debido a la absorción de agua por la diatomita, lo que provocó una baja hidratación inicial. Asimismo, la mezcla con 5 % fue la más impermeable, otorgándole durabilidad al concreto y reduciendo la posibilidad de sufrir el ataque de sulfuros y sulfatos.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Marco legal**

#### **2.2.1.1. Constitución Política del Perú**

En el Artículo 67 de la Constitución Política del Perú (1993) se menciona que el uso de recursos naturales debe ser sostenible y que debe estar impulsado por la Política Nacional del Ambiente. Como la Constitución es el escrito más importante del país, se debe cumplir con todo lo establecido de forma obligatoria.

#### **2.2.1.2. Norma Técnica E.060 Concreto Armado**

En el contexto peruano, la Norma Técnica E.060 (2018) establece el estándar mínimo y los criterios obligatorios para el diseño estructural de edificaciones, así como la calidad de los materiales, con el objetivo de garantizar la seguridad y resistencia estructural frente a eventos sísmicos. De acuerdo con dicha normativa, se debe cumplir con los requisitos que establece, lo que asegura la pertinencia de las propuestas de optimización de materiales en relación con la normativa legal vigente, fomentando la construcción de edificaciones seguras y resilientes a nivel nacional.

#### **2.2.1.3. Normas Técnicas Peruanas**

En Perú, la normalización de los materiales de construcción está establecida por las Normas Técnicas Peruanas (NTP), que definen especificaciones técnicas para productos y procesos, en este caso, para materiales de construcción. Estas normas exigen el cumplimiento de estándares técnicos que garanticen la calidad y seguridad de procesos utilizados en la industria de la construcción y son de carácter obligatorio.

Según la NTP 334.009 (2020), se establecen los requisitos mínimos para los diferentes tipos de cemento, incluyendo su clasificación y uso. Las adiciones en el contenido del cemento solo están permitidas si cumplen los requisitos especificados en la NTP 334.085, en las cantidades establecidas o mayores.

Los tipos de cemento se clasifican según sus propiedades químicas y físicas:

- Tipo I: para uso general sin propiedades especiales.
- Tipo II: para uso general, con moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo III: con altas resistencias iniciales.

- Tipo IV: para emplearse cuando se desea bajo calor de hidratación.
- Tipo V: para emplearse cuando se requiere alta resistencia a los sulfatos.

### **2.2.2. Concreto**

Según el American Concrete Institute Committee (ACI, 1985), el concreto es una mezcla compuesta por un aglutinante y partículas de agregado, que generalmente incluyen agregado grueso y agregado fino. Esta mezcla también puede incorporar aditivos que mejoren su comportamiento físico o mecánico, como es el caso de la puzolana, que mejora la resistencia del concreto en el transcurso del fraguado.

#### **2.2.2.1. Tipos de concreto**

De acuerdo con Mehta y Monteiro (2014), el concreto se puede clasificar en función de su peso unitario y su resistencia. En relación con su peso unitario, se puede dividir en tres categorías:

- Concreto de peso normal: con un peso aproximado de  $2400 \text{ kg/m}^3$ , que contiene arena, grava y agregados. Es el más utilizado para propósitos estructurales.
- Concreto ligero: con un peso inferior a  $1800 \text{ kg/m}^3$ , que se consigue a partir del uso de agregados con una densidad baja, ya sean naturales o procesados. Se utiliza en aplicaciones donde se requiere una mayor resistencia en función del peso.
- Concreto pesado: con un peso mayor a  $3200 \text{ kg/cm}^3$ , producido por agregados de alta densidad, y se usa para la fabricación de escudos contra radiación.

En cuanto a la clasificación por su resistencia a la compresión, se divide en concreto de baja resistencia, el cual presenta una resistencia inferior a 20MPa ( $204 \text{ kgf/cm}^2$ ); concreto de resistencia moderada, con una resistencia a la compresión entre 20 MPa a 40 MPa ( $204 \text{ kgf/cm}^2$  a  $408 \text{ kgf/cm}^2$ ) y utilizado en la mayoría de los trabajos estructurales; y concreto de alta resistencia, con una resistencia superior a 40 MPA ( $408 \text{ kgf/cm}^2$ ).

### 2.2.2.2. Características del concreto

En la Tabla 1 se presentan las características principales del concreto, según Gutiérrez de López (2003).

**Tabla 1**

*Características del concreto*

Propiedad	Definición	Factores que influyen	Medida
Manejabilidad	Es una propiedad del concreto fresco que hace referencia a su capacidad de ser colocado, compactado y terminado sin sufrir segregación o exudación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relación agua – cemento.</li> <li>• Contenido de aire.</li> <li>• Contenido de agua.</li> <li>• Gradación de los agregados.</li> <li>• Relación agregado grueso – agregado fino.</li> <li>• Condiciones de clima y temperatura.</li> </ul>	NTP 339.035. El método más asociado a la determinación de la manejabilidad del concreto es el ensayo de asentamiento.
Resistencia	Es la capacidad del concreto de soportar cargas sin experimentar fallas o deformaciones excesivas. Se utiliza normalmente para determinar su calidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenido de cemento.</li> <li>• Relación agua – cemento.</li> <li>• Influencia de los agregados.</li> </ul>	NTP 339.034. Resistencia a la compresión en cilindros generalmente de 28 días, o edades más tempranas como 7 y 14 días. NTP 339.084. Resistencia a la tensión mediante el método de tracción simple.
Durabilidad	Se define como la capacidad del concreto de mantener sus características iniciales de forma, calidad y propiedades del servicio a través del tiempo y las condiciones a las que esté sometido.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condiciones ambientales, tales como aire, agua, suelos, congelación, entre otras.</li> <li>• Características de los materiales para su fabricación.</li> <li>• Grado de permeabilidad.</li> <li>• Condiciones de servicio.</li> <li>• Mantenimiento o conservación de la estructura.</li> </ul>	-

(continúa)

Tabla 1 (continuación)

Propiedad	Definición	Factores que influyen	Medida
Resistencia al fuego	Capacidad de mantener su estabilidad estructural y resistir altas temperaturas bajo la exposición al fuego durante un periodo de tiempo determinado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propiedades del cemento.</li> <li>• Propiedades de los agregados.</li> </ul>	ASTM E 119. Ensayo de resistencia al fuego de elementos estructurales, en el cual se expone una muestra de concreto a temperaturas elevadas durante un tiempo determinado.

*Nota.* Adaptado de El concreto y otros materiales para la construcción, por Gutiérrez de López, 2003, <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9302>

La relación entre las características de los agregados y el comportamiento del concreto fresco y endurecido se describe en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Relación de las características de los agregados con el concreto*

Características de los agregados	Influencia en el concreto	
	Concreto fresco	Concreto endurecido
Granulometría	Manejabilidad.	Resistencia mecánica.
	Requerimiento de agua. Sangrado.	Cambios volumétricos. Economía.
Limpieza (materia orgánica, limo, arcilla y otros finos)	Requerimiento de agua. Contracción plástica.	Durabilidad. Resistencia mecánica.
	Sanidad	Cambios volumétricos.
Absorción y porosidad	Requerimiento de agua.	Durabilidad.
	Pérdida de revenimiento. Contracción plástica.	Durabilidad. Permeabilidad.
Forma de partículas	Manejabilidad.	Resistencia mecánica.
	Requerimiento de agua. Sangrado.	Cambios volumétricos. Economía.

(continúa)

Tabla 2 (continuación)

Características de los agregados	Influencia en el concreto	
	Concreto fresco	Concreto endurecido
Textura superficial	Manejabilidad.	Durabilidad.
	Requerimiento de agua.	Resistencia al desgaste.
Tamaño máximo	Segregación.	Resistencia mecánica.
	Peso unitario.	Cambios volumétricos.
	Requerimiento de agua.	Peso unitario.
Densidad		Permeabilidad.
Reactividad de los álcalis	Peso unitario.	Peso unitario.
Módulo de elasticidad		Durabilidad.
		Módulo de elasticidad.
Resistencia a la abrasión		Cambios volumétricos.
		Resistencia a la abrasión.
Resistencia mecánica (por aplastamiento)		Durabilidad.
		Resistencia mecánica.
Partículas friables y terrones de arcillas	Contracción plástica	Resistencia a la abrasión.
		Durabilidad.
Coeficiente de expansión		Propiedades térmicas.

*Nota.* Elaboración propia, adaptado de Influencia de la adición de fibra de coco en la resistencia del concreto, por N. E. Villanueva, 2016, <https://hdl.handle.net/11537/10491>

### 2.2.2.3. Componentes del concreto

Según Mehta y Monteiro (2014), el concreto es un material compuesto principalmente por un aglutinante en el cual se encuentran agregados naturales o procesados. En el caso del concreto de cemento hidráulico, especialmente el cemento Portland, que es el más utilizado, el aglutinante está compuesto por una mezcla de concreto hidráulico y agua.

## a) Agregado

El agregado es un material granular que forma parte de la mezcla de concreto. Puede ser agregado fino, ya sea arena o piedra natural finamente triturada que pasa por un tamiz de 9.5 mm (3/8”).

Según la norma NTP 400.037, los límites granulométricos que deben presentar los agregados finos se encuentran en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Límites granulométricos para el agregado fino*

<b>Malla</b>	<b>Porcentaje que pasa (%)</b>
3/8”	100
N° 4	95 – 100
N° 8	80 – 100
N° 16	50 – 85
N° 30	25 – 60
N° 50	5 – 30
N° 100	0 – 10

*Nota.* Extraído de NTP 400.037.

De igual modo, el agregado puede grueso, como grava o piedra chancada. Este material es el que queda retenido en un tamiz de 4.75 mm (N° 4) y se origina por la segregación natural o mecánica de las rocas. Según Abanto (2009), debe presentar partículas angulares, resistentes y rugosas, las cuales deben cumplir con lo mencionado en la norma NTP 400.037, detallados en la Tabla 4.

**Tabla 4***Límites granulométricos para el agregado grueso*

Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados														
		100	90	75	63	50	37.5	25.0	19.0	12.5	9.0	4.75	2.36	1.18	300	
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	um
		4	3 ½	3	2 ½	2	1 ½	1	¾	½	⅜	N°	N°	N°	N°	
		pulg	pulg	pulg	pulg	pulg	pulg	pulg	pulg	pulg	pulg	4	8	16	50	
1	90 mm a	3 ½ pulg a	100	90 a	-	25 a	-	0 a	-	0 a	-	-	-	-	-	
	37.5 mm	1 ½ pulg		100		60		15		15						
2	63 mm a	3 ½ pulg a	-	-	100	90 a	35 a	0 a	-	0 a	-	-	-	-	-	
	37.5 mm	1 ½ pulg				100	70	15		5						
3	50 mm a	2 pulg a	-	-	-	100	90 a	35 a	0 a	-	0 a	-	-	-	-	
	250 mm	1 pulg					100	70	15		15					
357	50 mm a	2 pulg a	-	-	-	100	95 a	-	35 a	-	10 a	-	0 a	-	-	
	4.75 mm	N° 4					100		70		30		5			
4	37.5 mm a	1 ½ pulg a	-	-	-	-	100	90 a	20 a	0 a	-	0 a	-	-	-	
	19.0 mm	¼ pulg						100	55	5		5				
467	37.5 mm a	1 ½ pulg a	-	-	-	-	100	95 a	-	35 a	-	10 a	0 a	-	-	
	4.75 mm	N° 4						100		70		30	5			
5	25 mm a	1 pulg a ½	-	-	-	-	-	100	90 a	20 a	0 a	0 a	-	-	-	
	9.5 mm	pulg							100	55	10	5				
56	25 mm a	1 pulg a	-	-	-	-	-	100	90 a	40 a	10 a	0 a	0 a	-	-	
	9.5 mm	3/8 pulg							100	85	40	15	5			

(continúa)

Tabla 4 (continuación)

Huso	Tamaño máximo nominal		Porcentaje que pasa por los tamices normalizados														
			100	90	75	63	50	37.5	25.0	19.0	12.5	9.0	4.75	2.36	1.18	300	
			mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	um
			4	3 ½	3	2 ½	2	1 ½	1	¾	½	¾	N°	N°	N°	N°	
			pulg	pulg	pulg	pulg	pulg	pulg	pulg	pulg	pulg	4	8	16	50		
57	25 mm a	1 pulg a	-	-	-	-	-	100	95 a	-	25 a	-	0 a	0 a	-	-	
	4.75 mm	N° 4							100		60		10	5			
6	19 mm a	¾ pulg a	-	-	-	-	-	-	100	90 a	20 a	0 a	0 a	-	-	-	
	9.5 mm	3/8 pulg								100	55	10	5				
67	19 mm a	¾ pulg a	-	-	-	-	-	-	100	90 a	-	20 a	0 a	0 a	-	-	
	4.75 mm	N° 4								100		55	10	5			
7	12.5 mm a	½ pulg a	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a	40 a	0 a	0 a	-	-	
	4.75 mm	N° 4									100	70	15	15			
8	9.5 mm a	3/8 pulg a	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a	10 a	0 a	0 a 5	-	
	2.36 mm	N° 8										100	30	10			
89	9.5 mm a	3/8 pulg a	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a	25 a	5 a	0 a	0 a 5	
	1.18 mm	N° 16										100	55	30	10		
9	4.75 mm a	N° 4 a N°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a	10 a	0 a	0 a 5	
	1.18 mm	16											100	40	10		

Nota. Extraído de NTP 400.037.

## b) Cemento

De acuerdo con Novoa (2005), el cemento es un material con la notable capacidad de adherirse y cohesionar otros materiales, uniéndolos para formar una estructura sólida y compacta. Izaguirre (1976) denominó “cemento” a los conglomerantes que, al mezclarse con agua, adquieren propiedades cementantes, fraguan y endurecen, ya sea por su exposición al aire o sumergidos en agua.

## c) Agua

El agua es el material que permite hidratar el cemento; debe de ser potable, sin sabor u olor pronunciado (Carrillo, 2012). Debe cumplir con lo establecido en la norma NTP 339.088:

- El contenido de materia orgánica será de 3 Mg/1 (3 ppm) como máximo.
- El contenido de residuo sólido no será mayor a 5000 ppm.
- El contenido de sulfatos, expresado en ion  $SO_4$ , será menor de 600 ppm.
- El contenido de cloruros, expresado en ion  $Cl$ , será menor de 1000 ppm.

La relevancia del agua es fundamental en la relación agua-cemento y las propiedades del concreto que resulten de su mezcla con los agregados. Fallas et al. (2012) afirmaron que la relación por peso entre el agua y el cemento es directamente proporcional a la resistencia a la compresión que puede alcanzar el concreto. A mayor cantidad de agua en la mezcla, se mejora su trabajabilidad, pero se reduce su resistencia. En la Tabla 5 se establece la relación mencionada.

**Tabla 5**

*Influencia de la relación agua/cemento en la resistencia del cemento*

Relación a/c	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )
0.40	370
0.45	340
0.50	295
0.55	275
0.60	230
0.65	220
0.70	185

*Nota.* Adaptado de Efecto de la variación agua/cemento en el concreto, por Fallas et al., 2012, Tecnología en marcha, 25(2).

#### d) Aditivos

Los aditivos son materiales que se añaden a la mezcla de concreto para complementar sus propiedades, tanto en estado fresco como en estado endurecido. Actualmente, se utilizan con mayor frecuencia debido a los beneficios que ofrecen (Metha y Monteiro, 2014).

### 2.2.3. Composición y tipos de cemento

Según Velásquez (2019), el cemento está compuesto esencialmente por los compuestos químicos detallados en la Tabla 6, establecida por Guzmán (2001).

**Tabla 6**

*Componentes del cemento Portland*

<b>Compuesto</b>	<b>Composición del óxido</b>	<b>Nomenclatura simplificada</b>	<b>Porcentaje aproximado</b>
Silicato tricálcico	3CaOSiO <sub>2</sub> C	C3 S	60-65 %
Silicato dicálcico	2CaOSiO	C2S	10-20 %
Aluminio tricálcico	3CaOAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C3A	<8 %
Ferroaluminato tetracálcico	4CaOFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C4AF	0-15 %

*Nota.* Se muestran los compuestos del cemento Portland.

Dicha composición está sujeta a constantes cambios con el tiempo debido a las necesidades fluctuantes en la construcción, lo que da lugar a nuevas adiciones al cemento.

La norma NTP 334.009 CEMENTOS. Cementos Portland. Requisitos (2020), equivalente a la norma ASTM C150, clasifica el cemento Portland y su uso respectivo considerando cinco tipos: Tipo I: de uso general; Tipo II: de uso general con moderada resistencia a los sulfatos; Tipo III: de uso cuando se solicite alta resistencia inicial; Tipo IV: para usarse cuando se requiera bajo calor de hidratación; y Tipo V: con alta resistencia a los sulfatos.

La norma NTP 334.090 CEMENTOS. Cementos Portland Adicionados. Requisitos (2020), que cumple con los estándares establecidos en la ASTM C595,

considera dos tipos de adiciones al cemento: cemento adicionado binario, que es la mezcla entre un cemento hidráulico con una puzolana; y cemento adicionado ternario, que es un cemento hidráulico mezclado con dos tipos de puzolana. Dicha variación depende de las piedras utilizadas en su producción.

Finalmente, la norma NTP 334.082. CEMENTOS. Cementos PORTLAND. Especificación de la Performance (2020), la cual se alinea con las especificaciones de la norma ASTM C1157, clasifica el cemento según las características especiales y el comportamiento a través del uso sufijos: MS: moderada resistencia a los sulfatos; HS: alta resistencia a los sulfatos; MH: moderado calor de hidratación; y LH: bajo calor de hidratación. En la Tabla 7 se realiza un resumen de lo mencionado.

**Tabla 7**

*Tipos de cemento*

<b>Cemento Portland estándar NTP 334.009</b>	<b>Cemento Portland con adiciones NTP 334.090</b>	<b>Cemento Portland según su desempeño NTP 334.082</b>
Cemento Portland TIPO I	Cemento Portland TIPO IS	Cemento Portland TIPO GU
Cemento Portland TIPO II	Cemento Portland TIPO IP	Cemento Portland TIPO MS
Cemento Portland TIPO III	Cemento Portland TIPO I (PM)	Cemento Portland TIPO HS
Cemento Portland TIPO IV	Cemento Portland TIPO IL	Cemento Portland TIPO HE
Cemento Portland TIPO V	Cemento Portland TIPO ICO	Cemento Portland TIPO MH
	Cemento Portland TERNARIO IT	Cemento Portland TIPO LH

De acuerdo con datos recopilados de fabricantes en Perú, se identificaron 16 marcas y 13 tipos de cemento, comercializándose un total de 43 variantes de cemento. Entre ellos, el cemento Tipo I estaba disponible en 10 marcas y el Tipo IP en seis marcas (Resolución Ministerial N.º 175-2020-PRODUCE, 2020). Los datos obtenidos se evidencian en la Tabla 8.

**Tabla 8***Identificación de los tipos de cemento según las marcas*

Empresa	Marca	ASTM C-150 NTP 334.009					ASTM C-595 NTP 334.090					ASTM C-1157 NTP 334.082					Total		
		I	II	III	IV	V	IS	IP	I(PM)	IL	IT	Ico	GU	HE	MS	HS		MH	LH
Unacem S.A.A.	Andino	X				X		X	X							X*	X*	6	
	Sol	X																1	
	Apu											X						1	
	Atlas							X										1	
Yura S.A.	Yura	X	X			X		X	X					X		X		X	8
	Frontera											X						1	
	Rumi							X										1	
Cementos Pacasmayo S.A.A.	Pacasmayo	X				X				X		X			X			5	
	Mochica												X		X			2	
	Amazónico												X					1	
Caliza Cemento Inca S.A.	Inka	X									X	X			X		4		
Direpsur S.C.R.LTDA.	Wari	X						X										2	
Rocatech S.A.C	Mishky	X						X						X				3	
Mixercon S.A.	Cemento Nacional	X										X				X		3	
Cemex Perú S.A.	Cemex	X				X												2	
	Quisqueya	X											X					2	
<b>Total marcas</b>		<b>10</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>43</b>

*Nota.* Adaptado de Resolución Ministerial N.° 175-2020-PRODUCE, por Ministerio de la Producción, 2020, <https://www.gob.pe/institucion/produce/normas-legales/675184-175-2020-produce>

### **2.2.3.1. Compuestos químicos del cemento Portland**

El Clinker, que es el componente más importante para la fabricación de cemento, está compuesto por diferentes compuestos, de los cuales los más significativos son la alita (silicato tricálcico, C3S) responsable de la velocidad de fraguado, resistencia inicial y la resistencia en el paso del tiempo, y la belita (silicato bicálcico, C2S), que establece las propiedades de resistencia a edades mayores a los 7 días, así como la durabilidad del cemento y su resistencia mecánica (Velásquez, 2019). Para la reacción de estos compuestos, es necesaria la presencia de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), que se considera uno de los componentes más cruciales en la construcción ya que proporciona resistencia, fluides y durabilidad al concreto. Por otro lado, dado que es un producto que se desecharía en el medio ambiente, contribuye a que un proyecto sea respetuoso con el entorno (Connect Americas, 2019).

### **2.2.4. Cemento Portland tipo I**

El cemento Portland es un material con propiedades aglomerantes hidráulicas que se obtiene mediante la calcinación a altas temperaturas de una mezcla de materiales calcáreos y arcillosos. Tras este proceso, el material resultante, denominado “clínker”, se muele finamente y se le añade una pequeña cantidad de yeso (menos del 1 % del peso total) (Carrión, 2012). La principal característica del cemento es su capacidad para formar una pasta aglutinante al mezclarse con agua. Esta pasta, combinada con agregados (como arena y grava), endurece y aumenta su resistencia con el paso del tiempo, convirtiéndose en un material esencial para la construcción.

La empresa Yura, una de las más grandes cementeras a nivel nacional, dejó de producir cemento Tipo I en comparación con 2020. Según la comunicación con uno de los encargados de la sucursal en Tacna, “se dejó de fabricar cemento puro por un tema ambiental” (Carlos Orihuela, comunicación personal, 24 de julio de 2024). Este cambio cumple con los requisitos del CTCS y posiciona a Yura como la primera cementera a nivel nacional en implementar esta medida antes de 2030, plazo establecido en el código mencionado.

Asimismo, en Tacna, el cemento Tipo I ya no se comercializa localmente y no está disponible en las tiendas de materiales de construcción de la ciudad. Para adquirirlo, es necesario importarlo desde Lima en grandes volúmenes, dado que allí aún se encuentra disponible. Esta situación resalta un cambio significativo en las preferencias en la construcción, así como la necesidad de adaptarse a nuevas opciones y estándares en la industria de la construcción en Tacna.

### 2.2.5. Cemento Portland puzolánico tipo IP

La Central de Compras Públicas – Perú Compras (2023) denominó al cemento Portland Puzolánico Tipo IP como un cemento hidráulico adicionado, constituido por un 40 % de puzolana. Según la ficha técnica aprobada para su obtención por el estado, debe cumplir con las especificaciones detalladas en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Especificaciones técnicas cemento Portland tipo IP*

Característica	Especificación	Referencia
<b>Requisitos químicos</b>		
Óxido de magnesio (MgO), máx., %	6.0	NTP 334.090:2020
Azufre como trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ), máx., %	4.0	CEMENTOS. Cementos hidráulicos adicionados.
Pérdida por ignición, máx., %	5.0	Requisitos. 8ª Edición
<b>Requisitos físicos</b>		
Expansión en autoclave, máx., %	0.80	
Contracción en autoclave, máx., %	0.20	
Tiempo de fraguado inicial, ensayo Vicat:		
- Fraguado, minutos, no menos que:	45	NTP 334.090:2020
- Fraguado, horas, no más que:	7	CEMENTOS. Cementos hidráulicos adicionados.
Contenido de aire del mortero, máx., % volumen	12	Requisitos. 8ª Edición
Resistencia a la compresión, mín., MPa (psi):		
- 3 días.	13.0 (1890)	
- 7 días.	20.0 (2900)	
- 28 días.	25.0 (3620)	

*Nota.* Adaptado de Ficha Técnica del Cemento Portland, por la Central de Compras Públicas – Perú Compras (2023) y NTP 400.037.

El cemento Portland Tipo IP es el cemento más utilizado en el sur del Perú debido a sus propiedades de fraguado, resistencia y durabilidad, que se adaptan a

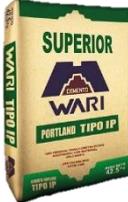
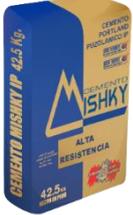
distintos climas. Es especialmente adecuado para las regiones más cálidas, como Moquegua y Madre de Dios, dado que produce menos calor y no sufre dilatación. También es eficaz en zonas con gran altitud, como Cusco, en las que no se ve comprometida su integridad estructural y alcanza la resistencia deseada.

Entre los beneficios asociados destacan su impermeabilidad, alta resistencia a los sulfatos, mayor protección del acero de refuerzo frente a los cloruros y su capacidad de seguir adquiriendo resistencia.

La Tabla 10 presenta una comparativa de los tipos de cemento actualmente disponibles en el mercado. Esta información es crucial para entender las opciones disponibles, facilitando así la selección del tipo de cemento y su disponibilidad para su adquisición en diferentes proyectos de construcción.

**Tabla 10**

*Cemento Portland tipo IP en el Perú*

<b>Cementos Portland Tipo IP en el Perú</b>		
Cumple con la Norma Técnica NTP 334.090 – ASTM C595		
NACIONAL	YURA	CEMEX
		
WARI	RUMI	MISHKY
		

*Nota.* Se muestran las marcas de cemento tipo IP disponibles en el Perú.

En la ciudad de Tacna, el cemento más comercializado es el de la marca Yura, disponible en casi la totalidad de ferreterías y almacenes de materiales de

construcción. Otros cementos, como Cemento Andino y Atlas, ya no se encuentran disponibles en el mercado, a diferencia de lo que ocurría en 2020.

### 2.2.6. Cemento Portland HE

El cemento Portland HE, según la NTP 334.082, se clasifica como un cemento diseñado para ofrecer una resistencia superior en comparación con los otros tipos de cemento, alcanzando una resistencia significativa en sus primeras etapas de fraguado. Generalmente es usado en proyectos en los que se requiere una alta resistencia estructural en un corto periodo de tiempo, por lo que es útil en construcciones donde se necesitan tiempos de fraguado rápidos para avanzar en el proceso de construcción o para enfrentar condiciones ambientales adversas. Este tipo de cemento debe cumplir con las condiciones especificadas en la Tabla 11.

**Tabla 11**

*Especificaciones técnicas cemento Portland tipo HE*

<b>Característica</b>	<b>Método de Ensayo Aplicable</b>	<b>Especificación</b>
<b>Requisitos físicos estándar</b>		
Finura, máx., %	NTP 334.002	A
	NTP 334.045	
Expansión en Autoclave, máx., %	NTP 334.004	0.80
Tiempo de fraguado inicial, ensayo de Vicat <sup>B</sup> :		
- Fraguado, minutos, no menor que:	NTP 334.006	45
- Fraguado, minutos, no mayor que:		420
Contenido de aire del mortero, % volumen <sup>C</sup>	NTP 334.048	12

(continúa)

Tabla 11 (continuación)

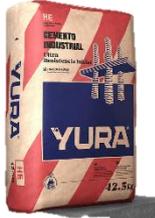
<b>Característica</b>	<b>Método de Ensayo Aplicable</b>	<b>Especificación</b>
Resistencia a la compresión, mín., MPa (psi) <sup>D</sup> :		
- 1 día.		12 (1740)
- 3 días.	NTP 334.051	24 (3480)
- 7 días.		-
- 28 días.		-
Calor de hidratación:		
- 3 días, máx, kJ/kg (kcal/kg)		-
- 7 días, máx, kJ/kg (kcal/kg)	NTP 334.171	-
Expansión de la barra del mortero 14 días, máx., %	NTP 334.093	0.020
Expansión por sulfato (Resistencia a los sulfatos):		
- 6 meses, % máx	NTP 334.094	-
- 1 año, % máx		-
<b>Requisitos físicos opcionales</b>		
Opción R – Baja reactividad con agregados álcali-silice reactivos <sup>E</sup>		
Expansión a:	NTP 334.067	
- 14 días, % máx		0.020
- 56 días, % máx		0.060
Falso Fraguado Penetración Final, % min:	NTP 334.052	50
Resistencia a la compresión <sup>F</sup> :		
- 28 días, min, MPa	NTP 334.051	-

*Nota.* <sup>A</sup>: tanto la cantidad de retenido sobre malla 45 µm (N° 325) como la superficie específica mediante el aparato de Permeabilidad de Aire, se reportarán en todos los certificados de resultados de ensayos solicitados al fabricante. <sup>B</sup>: los tiempos de fraguado se refieren al tiempo de fraguado inicial de la NTP 334.006. <sup>C</sup>: el contenido de aire se reportará con todos los certificados de resultados de ensayos solicitados al fabricante. Un valor obtenido en el mortero, no necesariamente asegura que un contenido de aire deseado se obtendrá en el concreto. <sup>D</sup>: los cementos pueden ser embarcados antes que datos de ensayo de edad posteriores estén disponibles. En tales casos, el valor de ensayo puede ser dejado en blanco. Alternativamente, el fabricante puede generalmente proporcionar estimaciones basadas en datos de producción histórica. El informe indicará si tales estimaciones son proporcionadas. <sup>E</sup>: la sujeción a este

requisito no debe solicitarse, a no ser que el cemento sea utilizado con agregados álcali reactivos. <sup>F</sup>: la sujeción a este requisito no debe solicitarse, a no ser que el cemento sea utilizado con agregados álcali reactivos. Adaptado de NTP 334.082.

**Tabla 12**

*Cemento Portland tipo HE en el Perú*

<b>Cementos Portland Tipo GU en el Perú</b>		
Cumple con la Norma Técnica NTP 334.082 – ASTM C1157		
CEMEX	Cbb Cementos	YURA
		

*Nota.* Se muestran las marcas de cemento tipo HE disponibles en el Perú.

En la investigación realizada por Peralta (2016) al compararse las resistencias del cemento IP y HE, el cemento IP alcanzó la resistencia de diseño, mientras que el cemento HE mostró una resistencia superior en un 50 %. Igualmente, Carlos (2019) comparó las propiedades físicas y mecánicas de los cementos comerciales HE, IP y HS, y concluyó que el cemento HE adquiere una resistencia adicional del 30% en comparación con el cemento tipo IP. Esta información es crucial porque proporciona una base sólida para comparar el comportamiento de ambos tipos de cemento en términos de resistencia.

### **2.2.7. Conglomerantes alternativos**

La búsqueda de la reducción de CO<sub>2</sub> ha impulsado el estudio de nuevos tipos de cementos que sustituyan al cemento Portland con el objetivo de reducir sustancialmente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En este contexto, el uso de puzolanas naturales representa la mejor alternativa.

En la actualidad, los materiales no cementantes que, al mezclarse con agua y cal, forman un compuesto similar al cemento Portland, se llaman “puzolanas” (De Rojas, 2013). Las puzolanas más utilizadas hoy en día son sometidas a procesos de calcinación para mejorar su reactividad frente a la cal y, con ello, sus propiedades.

Estas sustancias consisten en tierra de diatomea, metacaolín, arcillas y pizarras calcinadas.

Las puzolanas naturales pueden tener un origen orgánico, como la tierra de diatomea, que procede de la fosilización de las algas del mismo nombre que se conservan en el fondo de los océanos, o un origen mineral, que puede encontrarse cerca de los volcanes. Según las investigaciones actuales, no hay diferencias perceptibles en la composición química de las distintas puzolanas; sin embargo, puede haber variaciones en su composición mineralógica, lo que podría repercutir en la actividad del material (De rojas, 2013)

En el estudio realizado por De Rojas (2013), donde se evaluaron puzolanas no volcánicas, la tierra de diatomea se clasificó como una puzolana activamente reactiva, solo superada por la opalina.

### **2.2.8. Concreto sostenible a base de la implementación de tierra de diatomea**

Según Rosenhurt et al. (2019), la tierra de diatomea, al ser clasificada como una puzolana en la fabricación de concreto de alta resistencia, se considera un ecocemento. Esto se debe a que su principal finalidad es la reducción de la contaminación ambiental que se genera en la fabricación del clínker y aprovechar un material descartado en industrias especializadas. La tierra de diatomea se caracteriza por ser un material permeable, con un alto porcentaje de porosidad, una buena resistencia a los productos químicos, elevada superficie específica y buena adsorción de aceites y microorganismos.

Sin embargo, para que este material sea apto para la fabricación de concreto, es necesario realizar su calcinación. Según Husqvarna (2017), se desaconseja la manipulación continua de las tierras de diatomea calcinadas debido a que el proceso convierte la sílice amorfa del material, lo cual puede ser tóxico a largo plazo. Por esta razón, sus usos se limitan principalmente a aplicaciones industriales.

### **2.2.9. Tierra de diatomea**

#### **2.2.9.1. Definición**

La diatomita es una roca sedimentaria biogénica, silíceas y de grado de consolidación variable. Se compone principalmente de esqueletos de las frústulas de diatomeas fosilizadas (Berry et al., 1983).

Según Monsalve Díaz (2023), la diatomita se clasifica como un producto con alto contenido de sílice y tiene una variedad de nombres comerciales. El esqueleto de pequeñas diatomeas de animales marinos constituye esta forma comercial de sílice. Debido a la enorme cantidad de pequeños poros en su composición, que constituye alrededor del 96% de la misma, este material es un aislante térmico especialmente eficaz y popular. Los mayores yacimientos de Estados Unidos se encuentran en California, pero también pueden descubrirse cantidades significativas en Rusia, Canadá, Argelia y Alemania.

Los restos fosilizados de diminutas criaturas conocidas como diatomeas son los que dan origen a la TD. Estas algas son unicelulares y poseen una capa exterior formada por el compuesto mineral sílice. Con el tiempo, los caparazones de sílice de estas TD muertas se amontonan en los fondos acuáticos y se compactan, generando depósitos de diatomita.

Los restos óseos de animales acuáticos microscópicos que se depositaron en muchos lugares de la Tierra hace millones de años están representados por el mineral no metálico conocido como tierra de diatomea. Lo más notable es que sus huesos estaban hechos de sílice en lugar de carbono. Había muchos tipos, y la sílice en trazas puede aparecer de forma natural en estos depósitos de sílice amorfa. Pueden contener trazas de óxidos de calcio, magnesio, hierro y aluminio, así como algunos restos orgánicos, dependiendo de dónde se encuentren. Tras la extracción, los yacimientos se someten a diversas etapas de procesamiento, como el secado, la molienda, la calcinación, el calibrado, etc., en función de la aplicación final.

Se utiliza para mucho más que procesar aceites y grasas. Conseguir un nivel específico de uniformidad en la distribución del tamaño de las partículas mejora su aplicación y puede determinar su aplicación como material de filtración, insecticida mecánico, entre otros usos industriales.

#### **2.2.9.2. Características**

Según Huaraca (2010) la sílice opalina o hídrica forma la diatomita pura; también puede incluir trazas de otros ingredientes menores y elementos inorgánicos como

hierro, alúmina, tierras y metales alcalinos. La diatomita también contiene niveles inusuales de agua libre, que oscilan entre el 10% y el 60%. La mayoría de los yacimientos del mundo se clasifican como yacimientos de tipo seco, en los que la diatomita se encuentra como una sustancia ligera. In situ, la densidad aparente, o base seca, oscila entre 0,32 y 0,64 toneladas/m<sup>3</sup>.

#### **2.2.9.3. Propiedades físicas**

- Aspecto macroscópico.
- Color por lo regular blanco o brillante.
- Alta porosidad.
- Volumen de muy baja densidad.
- Alta resistencia a la temperatura.
- Dureza.
- Índice de refracción.

#### **2.2.9.4. Propiedades físico – químicas**

De acuerdo con Carrión (2012), entre las principales características de la diatomita destaca su alta porosidad y resistencia a la temperatura. Además:

- Densidad: 250 - 300 g/l
- Humedad: 2 % respecto al peso.
- Absorción: 98 % respecto al peso.
- Tamaño nominal: 53  $\mu\text{m}$ .
- Sedimentación:
  - Por encima a 10  $\mu\text{m}$ : 20 % respecto al peso.
  - Por encima a 5  $\mu\text{m}$ : 35 % respecto al peso.
  - Por debajo a 1  $\mu\text{m}$ : 15 % respecto al peso.

#### **2.2.9.5. Composición química**

La tierra de diatomea extraída en el Perú presenta la siguiente composición química (ver Tabla 13):

**Tabla 13***Composición química de la tierra de diatomea*

Tipo de yacimiento	Lacustre			Marino	
	Región	Arequipa	Ayacucho	Tacna	Piura
SiO <sub>2</sub>	84.89	85.78	68.00	65.50	73.80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.62	2.71	8.15	2.00	9.70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.04	1.22	3.00	1.30	3.00
CaO	0.94	0.64	2.00	9.60	2.90
MnO	0.03	0.01	0.56	-	-
MgO	0.50	0.55	2.57	3.30	1.20
TiO <sub>2</sub>	-	0.14	0.31	-	-
NA <sub>2</sub> O	0.92	0.26	1.38	1.90	1.80
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.02	0.33	-	-
K <sub>2</sub> O	0.58	0.39	1.45	0.50	1.30
PXC	7.34	8.29	11.20	14.75	4.66

*Nota.* Se muestra la composición química de la tierra de diatomea de algunos yacimientos peruanos. Adaptado de Diatomitas en el Perú: características y aplicaciones, por Carrión, 2012, Dirección de Recursos Minerales y Energéticos DRME. INGEMMET.

En Perú, lo mayor cantidad de yacimientos de diatomea se encuentra en zonas con actividad volcánica, lo que origina diatomea de origen lacustre, caracterizada por su mayor pureza en la composición. Sin embargo, también existen depósitos de origen marino, formados a partir del ascenso de agua fría a la superficie, un fenómeno conocido como “*Upwelling*”. Las propiedades de la diatomea pueden variar en función de su depósito de origen, por lo que caracterizar su yacimiento podría determinar su aprovechamiento en diferentes industrias para obtener mejores beneficios de su uso.

#### **2.2.9.6. Principales usos**

Según Carrión (2012), en Perú, el principal uso que se le da a la diatomea se centra en la industria cervecera. Para este sector, se importa materia prima procesada, especialmente de Chile, además de la producción de papel, plásticos, aceites y otros. Otras aplicaciones del material incluyen:

- Filtración para la clarificación y purificación.

- Abrasivo natural.
- Relleno.
- Aislador de calor y el sonido.
- En la fabricación de fertilizantes, pesticidas, pinturas, tamices, cauchos, abonos, plásticos.
- Agente de carga en la fabricación de papel, tintes, jabones, sedantes, calcio sintético, entre otros.
- Materiales estructurales.

#### **2.2.9.7. Reactividad puzolánica**

En un estudio realizado por Stamatakis et al. (2003), en el que se analizaron muestras de concreto con un 10 %, 15 % y 20 % de diatomea, sometidas a ensayos de resistencia a la compresión, se obtuvo mayor resistencia en comparación con el concreto de cemento Portland sin adición alguna. Además, se evidenció que, a mayor contenido de sílice, mayor resistencia alcanzada. En un estudio posterior, se reafirmó que la tierra de diatomea, debido a su alto contenido de sílice, es sumamente reactiva con la cal, por lo que su uso como puzolana natural es efectivo. Sin embargo, debido al tamaño de sus partículas, presenta mayor absorción de agua (Carranza, 2017).

#### **2.2.9.8. Tierra de diatomea calcinada**

Según Pejerrey (2023), la diatomea calcinada es un sedimento compuesto principalmente por capas externas de diatomeas. El esqueleto de estos seres unicelulares es la fuente de este material extremadamente fino, es rico en sílice y tiene una gran superficie y elevada porosidad. Suele tratarse térmicamente antes de su venta para eliminar cualquier posible materia orgánica. Además, por sus características, puede utilizarse como sustituto parcial del cemento. Normalmente se utiliza entre un 10 y un 20% del peso del cemento. Macedo et al. utilizaron el método Chappelle, que implica el consumo de hidróxido de calcio, para determinar la actividad puzolánica de la diatomita. Con su estudio comprobó que la diatomita consumía 650 mg de hidróxido de calcio por gramo añadido.

### **Reactividad puzolánica en el concreto**

El complejo proceso de transformación de una combinación de cal, agua y puzolana de aspecto pétreo en un material compacto, se le conoce como “actividad puzolánica”. Los siguientes son algunos de los muchos beneficios de usar puzolanas en cemento:

- a) Estado fresco:
  - Produce un aumento en la resistencia a compresión, mediante la reducción de la relación agua-cemento.
  - Disminuye la segregación.
- b) Resistencia mecánica:
  - Alarga el periodo de endurecimiento.
  - Producen un aumento a largo plazo en compresión y tracción.
- c) Impermeabilidad:
  - Disminución de porosidad.
  - Impiden la formación de eflorescencias por sales.
  - Favorece la producción de silicatos hidratados, responsables de las propiedades resistentes del cemento.
- d) Estabilidad de volumen:
  - Reduce la expansión por sulfatos.
  - Disminuye la retracción térmica
- e) Durabilidad química:
  - Durante el ataque de aguas ácidas, puras y de mar.
  - Frente a suelos con sales.

Según Carranza (2017), se realizó una evaluación de la tierra de diatomeas en la tecnología del hormigón. Debido a su gran superficie específica y su alto contenido de sílice amorfa, las diatomeas son altamente reactivas a la cal. Sin embargo, la forma de su partícula impide el uso de diatomeas en el concreto, lo que afecta negativamente la consistencia del concreto y aumenta la necesidad de agua del concreto. Por otro lado, se ha sugerido utilizar tierra de diatomea en el proceso de curado interno. Según Kovler et al., afirman que la capacidad de la tierra de diatomea para absorber agua permite la hidratación interna del hormigón durante todo el proceso de curado, sirviendo de suministro de agua para el curado interior.

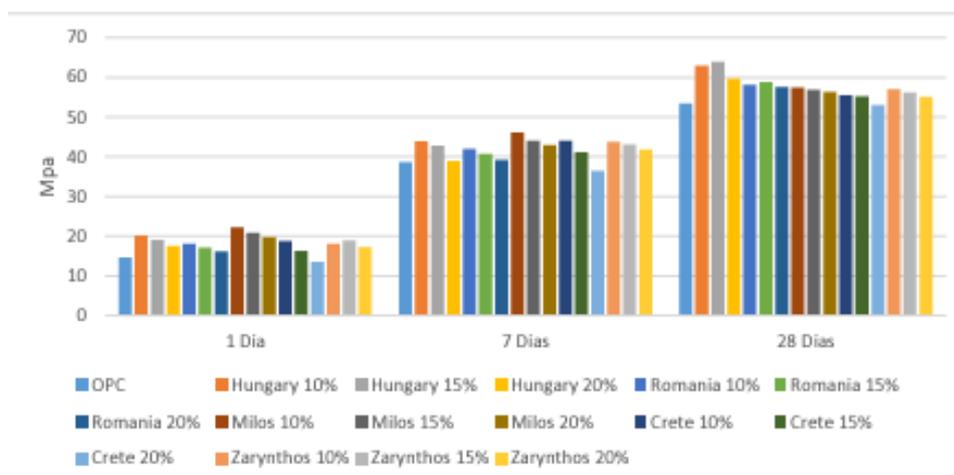
En 2003 se realizó un estudio para examinar el impacto de las rocas biogénicas ricas en microsílíce en las características de los cementos mixtos. En este

estudio se examinaron rocas de diatomita que se encontraban en varios lugares. Las materias primas se recogieron en Grecia, Rumanía y Hungría. Los investigadores Stamatakis, Fragoulis, Csirik, Bedelea y Pedersen recogieron tierra de diatomea de Hungría, Rumanía y Grecia para examinarlas como posibles sustitutos parciales del cemento Portland. La composición de las mezclas siguió la norma UNE 196-1.

Los resultados se muestran en la Figura 1, donde las mezclas con porcentajes de sustitución de tierra de diatomea superaron a la muestra de control. Este estudio indica que el contenido de sílice reactiva de la tierra de diatomeas determina su potencia como puzolana.

**Figura 1**

*Comparación de mezclas de cemento con tierras de diatomea de Hungría, Rumania y Grecia*



*Nota.* Tomado de The influence of biogenic micro-silica-rich rocks on the properties of blended cements, por M. G. Stamatakis et al., 2013, Cement and Concrete Composites, 25(2).

El artículo afirma que añadir rocas de diatomea al cemento tiene desventajas debido a su mayor necesidad de agua; sin embargo, los cementos producidos en laboratorio mostraron mayores resistencias a la compresión que el cemento portland solo. El material de Hungría presenta las mayores resistencias a la compresión, lo que concuerda con su mayor aporte en sílice reactiva. Según ese estudio, pueden utilizarse superplastificantes para reducir las mayores necesidades de agua.

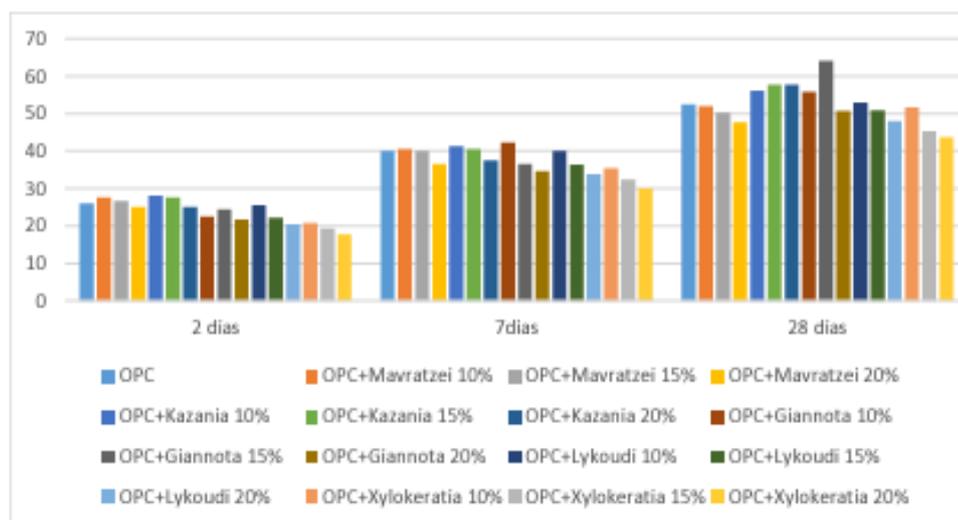
El estudio titulado *The physical and mechanical properties of composite cements manufactured with calcareous and clayey Greek diatomite mixtures*,

publicado por Fragoulis et al. (2005), tuvo como objetivo evaluar la capacidad como material puzolánico de la diatomea, para ello, se utilizó tierra de diatomea extraída de lugares distintos. Se utilizó la normativa UNE 196-1, para determinar las proporciones correspondientes.

La Figura 2 muestra los resultados del ensayo de compresión, donde se observa que la mezcla con un 15% de tierra de diatomeas, conocida como Giannota, tuvo la mayor resistencia a la compresión a los 28 días, según los resultados obtenidos del ensayo a la compresión. Además, todos los porcentajes de reposición que se utilizaron para las mezclas con sustituciones de tierra de diatomea de Kazani superaron la resistencia de la muestra control a los 28 días. Es de destacar que las mezclas con porcentajes de reposición del 20% generalmente tuvieron una reducción en la resistencia.

**Figura 2**

*Comparación de mezclas de cemento Portland con diversas tierras de diatomea de Grecia*



*Nota.* Tomado de The physical and mechanical properties of composite cements manufactured with calcareous and clayey Greek diatomite mixtures, por Fragoulis et al., 2005, Cement and Concrete Composites, 27(2).

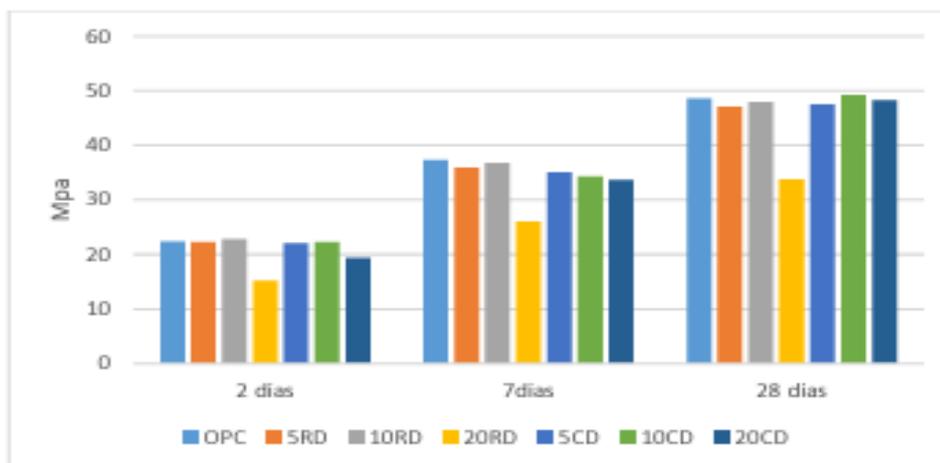
La superficie específica del cemento aumentó drásticamente cuando se añadió la diatomea. Debido a su mayor superficie específica, las mezclas con diferentes porcentajes de diatomea requieren más agua que el cemento Portland normal.

El uso de materiales naturales como aditivos retardantes en la fabricación de hormigón fue estudiado en 2007 por AC Aydin y R. Gul. Se realizaron análisis para determinar cómo dos materiales naturales (piedra pómez y diatomita) como aditivos afectaban las cualidades mecánicas y el tiempo de fraguado del concreto.

Los tiempos de fraguado inicial y final aumentaron a medida que el porcentaje de diatomea aumentaba del 1 % al 4 %. Sin embargo, el efecto de la tasa de adición sobre el módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión varió. Las muestras con adiciones del 1% y 2% mostraron una disminución en el módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión, mientras que la resistencia aumentó en las muestras con 4% de diatomita.

**Figura 3**

*Resistencias a compresión de morteros con diatomea original y calcinada*



*Nota.* Tomado de The use of raw and calcined diatomite in cement production, por Yılmaz y Ediz, 2008, Cement and Concrete Composites, 30(3).

El artículo afirma que agregar hasta un 10 % de diatomea en su estado natural produce resultados positivos, sin embargo, al superar este porcentaje, la resistencia disminuye sustancialmente, principalmente debido a la absorción de agua de la mezcla por la diatomea. No obstante, la investigación menciona que la calcinación de la diatomea es una alternativa que mejora sus propiedades mecánicas y reduce la absorción de agua.

### 2.2.9.9. Depósitos de diatomea en el Perú

Según Carrión (2012), existen muchas canteras ocultas de diatomitas en Perú. Los departamentos Ica, Piura y Tumbes se caracterizan por la presencia de rocas con abundantes diatomeas, donde los sedimentos resultantes pueden alcanzar espesores de cientos de metros. Por otro lado, las diatomeas de origen lacustre se ubican en los departamentos de Cajamarca, Ancash, Junín, Ayacucho, Cuzco y Arequipa.

- a) Depósito de origen marino.
  - Piura – Cuenca Sechura.
  - Ica – Cuenca Pisco.
- b) Depósito de origen lacustre.
  - Ayacucho – Cuenca Ayacucho.
  - Arequipa – Cuenca Lacustre.
  - Tacna – Cuenca lacustre.

En 2008, Perú produjo el 2 % de diatomita a nivel mundial, siendo la ciudad de Arequipa responsable del 90 %, destinada para la exportación como materia prima en bruto, principalmente a Chile. En ese sentido, sería ventajoso industrializar la producción de diatomita para su inserción en el mercado nacional como materia prima extraída en el país en contraste con la importada.

En concordancia con Bedoya (2003), existe un gran yacimiento en el altiplano del departamento de Tacna que puede utilizarse para satisfacer las demandas locales, nacionales e internacionales. El yacimiento de Jalaropampa – Alcollopampa (Zona del Tripartito) se compone de acumulaciones arcillo-arenosas, limos y lechos delgados de conglomerados finos, lo que permite estratificaciones en lechos muy delgados. Tiene asegurado el denunciado minero con reservas superiores a los cinco millones de toneladas, lo que permitiría una explotación extensiva de ciento sesenta y cuatro años aproximadamente, lo que correspondería a casi treinta y un mil toneladas por año.

Asimismo, los nuevos yacimientos Minera Fenix I y II tienen un área de extracción posible de cuatrocientas hectáreas cada uno, y se estima que la profundidad de la reserva supera un metro y medio, lo que supondría una reserva de cuatro millones doscientos mil toneladas, suficiente para aproximadamente ciento treinta y siete años de extracción. Estos yacimientos tienen una gran importancia para la extracción de diatomea, ya que se espera que sean altamente productivos y contribuyan significativamente a la producción de este material.

## **2.3. Definición de términos**

### **2.3.1. Concreto sostenible**

El concreto sostenible es definido como un concreto que cumple con los requisitos de durabilidad, rendimiento y costo, mientras minimiza el impacto ambiental. Mejorando la eficiencia en el uso de recursos e implementando aditivos y cementos alternativos que reduzcan el impacto asociado a su producción (Mehta y Monteiro, 2014).

### **2.3.2. Conglomerante**

Los conglomerantes se definen como materiales que, al atravesar cambios químicos, generan nuevos compuestos que tienen la capacidad de unir uno o varios elementos. Estos conglomerantes pueden clasificarse en primarios, que no requieren algún tipo de adición como la cal y el yeso, y conglomerantes secundarios, compuestos por un conglomerante del primer tipo, agua y agregado, como el mortero (Muñoz, 2020).

### **2.3.3. Eficiencia**

La eficiencia se refiere a la capacidad de producir resultados óptimos mediante el aprovechamiento de los recursos disponibles en la menor cantidad posible, o la producción máxima mediante el uso de una cantidad limitada de recursos (Hu y Yang, 2008).

### **2.3.4. Impacto ambiental**

Se define como cualquier cambio en el medio ambiente, ya sea beneficioso o desfavorable como resultado de diversas actividades de una organización, que pueden incluir efectos sobre el aire, suelo, biodiversidad y recursos naturales (ISO 14.001, 2015).

### **2.3.5. Optimización**

La optimización es el proceso de hacer algo tan efectivo o funcional como sea posible dentro de ciertos límites o restricciones. Esto implica la búsqueda de la mejora mediante un mejor uso de los recursos para su operatividad (Real Academia Española, s/f).

### **2.3.6. Sostenibilidad**

Se define la sostenibilidad como la capacidad de cubrir los requerimientos básicos con suficiencia de la generación actual, sin poner en peligro dicha capacidad de la generación futura (World Commission on Environment and Development, 1987).

### **2.3.7. Tierra de diatomea**

La tierra de diatomea es un material natural compuesto por los restos fosilizados de diatomeas, que son algas unicelulares con una pared celular silíceas. Estas algas se encuentran en cuerpos de agua dulce y marina, y sus restos se acumulan en sedimentos a lo largo del tiempo (Berry et al., 1983).

### **2.3.8. Resistencia**

Es la capacidad de un material de soportar esfuerzos sin romperse. En el caso del concreto de soportar cargas estructurales y tensiones sin fallar. Es una propiedad crucial que determina su idoneidad para diversas aplicaciones estructurales en la construcción (Mehta y Monteiro, 2014),

## CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es experimental, específicamente de tipo cuasiexperimental, puesto que se buscó manipular la variable independiente. Esto permitió recopilar información para medir sus efectos en la variable dependiente y comparar los resultados obtenidos en función de un grupo de control no expuesto a manipulación. Esto fue fundamental para validar la influencia de la variable independiente en los resultados observados.

### 3.2. Acciones y actividades

El plan de acción y actividades para el cumplimiento de las metas propuestas se realizó en función de los objetivos y las variables del proyecto, como se observa en la Tabla 14.

**Tabla 14**

*Plan de acción y actividades*

		<b>Plan de acción y actividades</b>
	Objetivo	Realizar un análisis de las propiedades físicas y químicas de la tierra de diatomea.
	Acción	Mediante el análisis de las propiedades físicas y químicas de la tierra de diatomea, se puede determinar la calidad del material y su influencia en combinación con otros materiales.
Meta 1	Variable	Estudio de la influencia de la diatomita como alternativa de nuevo conglomerante.
	Indicadores	Propiedades físicas. Propiedades químicas. Revisión bibliográfica.
	Actividades	Obtención de la muestra de ensayo. Ensayos de laboratorio. Ordenamiento y tabulación de la información.

(Continúa)

Tabla 14 (continuación)

		<b>Plan de acción y actividades</b>
Meta 2	Objetivo	Elaborar el diseño de mezcla y la dosificación con diferentes proporciones de tierra de diatomea.
	Acción	La elaboración del diseño de mezcla servirá como punto de partida para realizar el reemplazo parcial de cemento por tierra de diatomea y determinar su influencia en la resistencia del concreto.
	Variables	Estudio de la influencia de la diatomita como alternativa de nuevo conglomerante. Fabricación de concretos sostenibles en Tacna – 2024. Tipo de cemento.
	Indicadores	Proporción de materiales. Proporción de diatomea en la mezcla. 5 %, 10 %, 15 % y 20 %.
	Actividades	Revisión bibliográfica. Elaboración del diseño de mezcla.
Meta 3	Objetivo	Analizar y comparar las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión) del concreto estructural de 210 kg/cm <sup>2</sup> adicionado con tierra de diatomea frente a un concreto con cemento puzolánico.
	Acción	Comparar la resistencia a la compresión de las muestras realizadas determinará la viabilidad del uso de la tierra de diatomea en el concreto en proporciones propuestas.
	Variables	Estudio de la influencia de la diatomita como alternativa de nuevo conglomerante. Fabricación de concretos sostenibles en Tacna – 2024.
	Indicadores	Proporción de diatomea en la mezcla. Resistencia a la compresión del concreto.
	Actividades	Elaboración de muestra patrón y muestras de observación. Ensayo de resistencia a la compresión. Ordenamiento de la información.
Meta 4	Objetivo	Comparar los resultados obtenidos considerando factores técnicos, económicos y ambientales.

(Continúa)

Tabla 14 (continuación)

<b>Plan de acción y actividades</b>	
Acción	Mediante la comparación de los resultados obtenidos, se establecerá la eficacia comparativa del concreto con sustitución parcial con tierra de diatomea frente al concreto puzolánico tradicional.
Meta 4	Variables
	Indicadores
	Actividades

*Nota.* Se detallan las actividades realizadas para cumplir con los objetivos propuestos.

### 3.3. Materiales y/o instrumentos

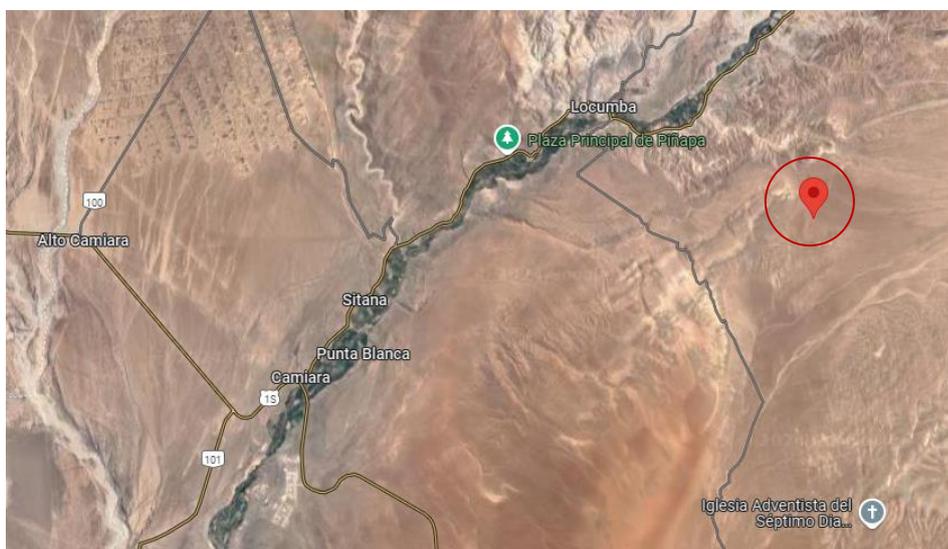
#### 3.3.1. Materiales

##### 3.3.1.1. Tierra de diatomea

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos, se extrajo una muestra de un nuevo yacimiento denominado Cantera Fénix, ubicado al norte de Tacna, entre Sama y Locumba (ver Figura 4 y Anexo 2).

**Figura 4**

*Ubicación del lugar de extracción*



**Figura 5**

*Lugar de extracción*



*Nota:* En la fotografía, se puede observar el lugar donde se realizó la extracción de la muestra de Tierra de Diatomea.

**Figura 6**

*Muestra de tierra de diatomea*



### **3.3.1.2. Cemento tipo HE**

Para las muestras de observación, se empleó el cemento Yura Tipo HE debido a su disponibilidad en el mercado local. Su ficha técnica se detalla en la Figura 7.

Figura 7

Ficha técnica del cemento Yura HE



### DESCRIPCIÓN

EL CEMENTO INDUSTRIAL DE ULTRA RESISTENCIA INICIAL YURA HE es un cemento portland de última generación, elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria cementera, colaborando con el medio ambiente, debido a que en su producción se reduce la emisión de CO<sub>2</sub>, contribuyendo a la reducción de los gases con efecto invernadero.

Es un producto fabricado a base de Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso. Esta mezcla es molida industrialmente en molinos de última generación, logrando un alto grado de finura.

La fabricación en controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado con ISO 9001 y de gestión ambiental ISO 14001, asegurando un alto estándar de calidad.

La composición de este producto permite la producción de concretos con requerimientos de altas resistencias iniciales, otorgando propiedades adicionales para lograr alta durabilidad por lo que puede ser utilizado en obras de infraestructura y construcción en general.

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

REQUISITOS FÍSICOS	Requisitos Norma Técnica NTP 334.082 ASTM C 1157	CEMENTO INDUSTRIAL YURA TIPO HE	REQUISITOS NORMA TÉCNICA CEMENTO TIPO I NTP 334.009 / ASTM C 150			
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	-	2.90 a 3.0	375 Máximo			
Superficie específica Blaine (cm <sup>2</sup> /gr)	-	4400 a 5000	2600 Mínimo			
Expansión en autoclave (%)	0.80 Máximo	-0.03 a -0.04	0.80 Máximo			
Fraguado Vitcat inicial (minutos)	45 a 420 Mínimo	140 a 200	45 a 375 Mínimo			
Contenido aire Mortero (%)	12 Máximo	3.0 a 7.0	12.00 Máximo			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	Kg-f/cm <sup>2</sup>	MPa	Kg-f/cm <sup>2</sup>	MPa	Kg-f/cm <sup>2</sup>	MPa
1 día	122	12	130 a 160	12.7 a 15.7	-	-
3 días	245	24	250 a 300	24.5 a 29.4	122	12
7 días	-	-	310 a 380	30.4 a 37.2	194	19
28 días	-	-	410 a 440	40.2 a 43.1	-	-

COMPARACIÓN RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN  
CEMENTO INDUSTRIAL YURA TIPO HE Vs. NTP CEMENTO TIPO I y HE



Nota. Tomado de Ficha Técnica Yura HE, por Yura S.A., 2024, <https://www.yura.com.pe/wp-content/uploads/ficha-tecnica-yura-he.pdf>

### 3.3.1.3. Cemento tipo IP

Para elaborar la muestra patrón, se utilizó cemento Yura Tipo Ip. Los detalles de su ficha técnica se presentan en la Figura 8.

**Figura 8**

*Ficha técnica del cemento Yura IP*



*Nota.* Tomado de Ficha Técnica Yura IP - 2024.cdr - Cemento YURA, por Yura S.A., 2024, <https://www.yura.com.pe/wp-content/uploads/ficha-tecnica-cemento-multiproposito-ip.pdf>

### 3.3.2. Instrumentos

Recolección de datos: se recopilaron datos de investigaciones anteriores para realizar una experimentación más detallada con respecto a las características, propiedades físicas y mecánicas de la tierra de diatomea de Tacna y su aplicación para la fabricación de concreto sostenible de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

Para evaluar las propiedades físicas y químicas de la tierra de diatomea, se aplicaron diferentes instrumentos de recolección de datos en las siguientes instalaciones:

- Laboratorio de Tecnología del Concreto de la Universidad Privada de Tacna.
- Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Privada de Tacna.

Además, se empleó información de investigaciones previas para la formulación del diseño de mezcla mediante el Método ACI. Por consiguiente, se realizaron los ensayos descritos en la Tabla 15, los cuales permitieron recopilar información considerando las muestras propuestas.

**Tabla 15**

*Procedimientos experimentales físicos*

<b>Ensayos físicos</b>		
<b>Ensayo</b>	<b>Norma NTP</b>	<b>Norma ASTM</b>
Análisis granulométrico	NTP 400.012	ASTM C 136
Peso unitario	NTP 400.017	ASTM C 29
Contenido de humedad	NTP 339.185	ASTM C 566
Peso específico y absorción	NTP 400.022	ASTM C 128
Porcentaje de finos que pasa la Malla N° 200	NTP 400.018	ASTM C 177
Límite líquido y plástico	NTP 339.129	ASTM D 4318

*Nota.* Ensayos físicos realizados a la muestra de tierra de diatomea.

Para la obtención de las propiedades químicas de la tierra de diatomea, se realizaron los ensayos indicados en la Tabla 16.

**Tabla 16**

*Procedimientos experimentales químicos*

<b>Ensayos químicos</b>	
<b>Ensayo</b>	<b>Método de referencia</b>
Ensayo de Difracción de Rayos X – Composición química por fases	Difracción de Rayos X - DRX
Caracterización de materiales por Microscopia Electrónica de Barrido – SEM - EDS	Microscopia Electrónica de Barrido – SEM - EDS
Ensayo de Fluorescencia de Rayos X – Composición química por (elementos u óxidos)	Fluorescencia de Rayos X - FRX
Contenido de Materia Orgánica	NOM-021-RECNAT-2000 / AS 07 Contenido de Materia Orgánica. Validado
Potencial de Hidrógeno (pH)	EPA SW-846, Method 904D, Revision 4 Soil and waste pH

*Nota.* Ensayos químicos realizados a la muestra de tierra de diatomea.

Finalmente, para caracterizar las propiedades del concreto fresco y endurecido, se llevaron a cabo los ensayos descritos en la Tabla 17.

**Tabla 17**

*Ensayos del concreto*

<b>Ensayo</b>	<b>Norma NTP</b>	<b>Norma ASTM</b>
<b>Ensayos Concreto Fresco</b>		
Elaboración de probetas de concreto	NTP 339.033	ASTM C 31

(Continúa)

Tabla 17 (continuación)

<b>Ensayo</b>	<b>Norma NTP</b>	<b>Norma ASTM</b>
Asentamiento de concreto	NTP 339.035	ASTM C 143
<b>Ensayos Concreto Endurecido</b>		
Resistencia a la compresión	NTP 339.034	ASTM C 39

*Nota.* Ensayos realizados al concreto.

Para realizar el comparativo entre la muestra patrón y las muestras de análisis, se utilizó la técnica de evaluación y análisis del registro documental, específicamente mediante resultados obtenidos a partir del proceso de experimentación con las diferentes muestras obtenidas.

### **3.4. Población y/o muestra de estudio**

#### **3.4.1. Población**

La unidad poblacional fueron las probetas de concreto que se realizaron mediante las dosificaciones realizadas previamente, tanto con adición de tierra de diatomea como con cemento puzolánico tradicional.

#### **3.4.2. Muestra**

La muestra fue representativa, puesto que, en este tipo de investigación, la población en general puede formar parte de la muestra.

- Se realizaron probetas de concreto con cemento puzolánico comercial, las cuales fueron la muestra patrón para realizar el análisis comparativo.
- Además, se fabricaron probetas elaboradas a base de un porcentaje de tierra de diatomea, para la formación de concreto sostenible.

La Tabla 18 detalla la cantidad de probetas realizadas.

**Tabla 18***Cantidad de probetas (muestras) elaboradas*

<b>Edad (Cantidad de días de Curado)</b>	<b>Muestra Patrón 0 % TD</b>	<b>Muestra de Observación 5 % TD</b>	<b>Muestra de Observación 10 % TD</b>	<b>Muestra de Observación 15 % TD</b>	<b>Muestra de Observación 20 % TD</b>
Ensayo de Resistencia a la Compresión de Concreto					
07	02	02	02	02	02
14	02	02	02	02	02
21	02	02	02	02	02
28	02	02	02	02	02
<b>Total</b>	<b>08</b>	<b>08</b>	<b>08</b>	<b>08</b>	<b>08</b>
<b>40 Probetas</b>					

*Nota.* La tabla muestra el total de probetas elaboradas para el ensayo de resistencia.

### 3.5. Operacionalización de variables

En la Tabla 19 se muestra la operacionalización de variables y el conjunto de elementos que permiten su análisis y medición.

**Tabla 19***Operacionalización de variables de investigación*

<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>
Variable Independiente de la influencia de la diatomita como alternativa de nuevo conglomerante.	El efecto que tiene la tierra de diatomea en la resistencia del concreto como un nuevo conglomerante en la fabricación de concretos sostenibles.	Propiedades físicas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Granulometría.</li> <li>• Peso específico.</li> <li>• Contenido de humedad.</li> <li>• Contenido de absorción.</li> </ul>

(Continúa)

Tabla 19 (continuación)

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador
Variable Dependiente Fabricación de concretos sostenibles en Tacna – 2024.	Proceso de producción de concreto utilizando materiales que minimizan el impacto ambiental en la región de Tacna en el año 2024.	Propiedades químicas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Composición mineral.</li> <li>• Contenido de sílice.</li> <li>• Contenido de impurezas.</li> </ul>
		Producción de concreto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporción de diatomea en la mezcla.</li> <li>• Resistencia a la compresión del concreto.</li> </ul>
		Sostenibilidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de recursos.</li> <li>• Impacto económico.</li> </ul>

*Nota.* La información proporcionada en la tabla 19 resume el contenido de la investigación.

### 3.6. Procesamiento y análisis de datos

Se aplicaron procedimientos de obtención de datos a través de trabajo de campo para extraer muestras, trabajo de laboratorio mediante ensayos y trabajo en gabinete para ordenar y tabular la información obtenida.

## CAPÍTULO V: RESULTADOS

A través de una serie de ensayos y análisis comparativo, se han recolectado datos clave que permiten observar el desempeño del concreto con Tierra de Diatomea en comparación con la mezcla convencional. En este capítulo se presentan los resultados de la caracterización y evaluación de la tierra de diatomea, así como el análisis de su comportamiento en mezclas de concreto elaborados con cemento Portland, proporcionando una visión integral sobre cómo puede integrarse como un componente viable en la fabricación de concreto sostenible.

Este capítulo no solo resume los hallazgos experimentales, sino que también ofrece un análisis de los datos en el contexto de los objetivos de la investigación.

### 4.1. Propiedades físicas de la tierra de diatomea

#### 4.1.1. Análisis granulométrico

**Tabla 20**

*Resultados granulometría*

<b>Malla</b>	<b>Peso Retenido</b>	<b>% Retenido</b>	<b>% Que Pasa</b>	<b>%Retenido Acumulado</b>
N°04	0.00	0.00	100	0.00
N°08	7.14	3.57	96.43	3.57
N°16	7.18	3.59	92.84	7.16
N°30	20.34	10.17	82.67	17.33
N°50	35.74	17.87	64.80	35.20
N°100	65.56	32.78	32.02	67.98
N°200	54.28	27.14	4.88	95.12
Fondo	9.76	4.88	0.00	100
<b>Total</b>	<b>200</b>	<b>100</b>		

#### 4.1.2. Módulo de fineza

$$M_f = \frac{\% \text{ Retenido Acumulado}(N^{\circ}04 + N^{\circ}08 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100 + N^{\circ}200)}{100}$$

$$M_f = \frac{0.00 + 3.57 + 7.16 + 17.33 + 35.20 + 67.98 + 95.12}{100}$$

$$M_f = 2.26$$

#### 4.1.3. Peso unitario

##### 4.1.3.1. Peso unitario suelto

**Tabla 21**

*Resultados peso unitario suelto*

<b>Tierra de Diatomea</b>			
<b>N° de Muestra</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Peso Cilindro		8.630	
Peso Cilindro + TD	11.019	11.014	11.018
Volumen Cilindro		0.0021	
Peso Unitario Suelto	1137.62	1135.24	1137.14
<b>Promedio P.U.S.</b>	<b>1136.67 kg/m3</b>		

##### 4.1.3.2. Peso unitario compactado

**Tabla 22**

*Resultados peso unitario compactado*

<b>Tierra de Diatomea</b>			
<b>N° de Muestra</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Peso Cilindro		8.793	
Peso Cilindro + TD	11.774	11.793	11.783
Volumen Cilindro		0.0021	
Peso Unitario Compactado	1419.52	1428.57	1423.81
<b>Promedio P.U.C.</b>	<b>1423.97 kg/m3</b>		

#### 4.1.4. Contenido de humedad

**Tabla 23**

*Resultados contenido de humedad*

<b>Tierra de Diatomea</b>			
<b>N° de Muestra</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Peso de Tara	247.8	254.8	244.9
Peso de Tara + TD Húmeda	747.8	754.8	744.9
Peso de Tara + TD Seca	743.8	751.0	740.9
TD Húmeda	500.0	500.0	500.0
TD Seca	496.0	496.2	496.0
Contenido de Humedad	0.80	0.76	0.80
<b>Promedio %H</b>	<b>0.79 %</b>		

#### 4.1.5. Peso específico

**Tabla 24**

*Resultados peso específico*

<b>Tierra de Diatomea</b>		
<b>N° de Muestra</b>	<b>M-1</b>	<b>M2</b>
Peso de Picnómetro	185.4	206.3
Peso TD	300.0	300.0
Picnómetro + Agua	683.5	705.4
Picnómetro + Agua + TD	833.2	860.3
Volumen	150.3	145.1
Peso Específico	2.00	2.07
<b>Promedio P.E.</b>	<b>2.03</b>	

#### 4.1.6. Absorción

**Tabla 25**

*Resultados absorción*

N° de Muestra	Tierra de Diatomea	
	M-1	M2
Peso de Tara	247.8	254.8
TD S.S.S.	300.0	300.0
Tara + TD Seca	542.2	549.7
% Absorción	1.90	1.73
<b>Promedio %A</b>	<b>1.82 %</b>	

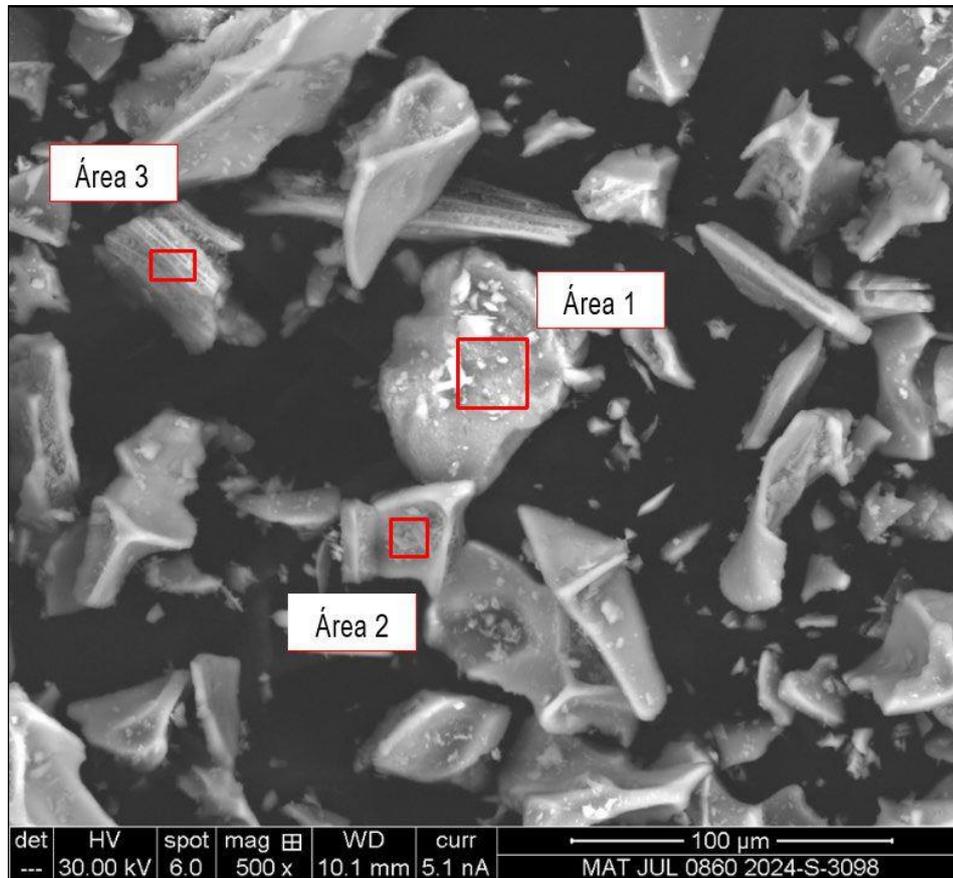
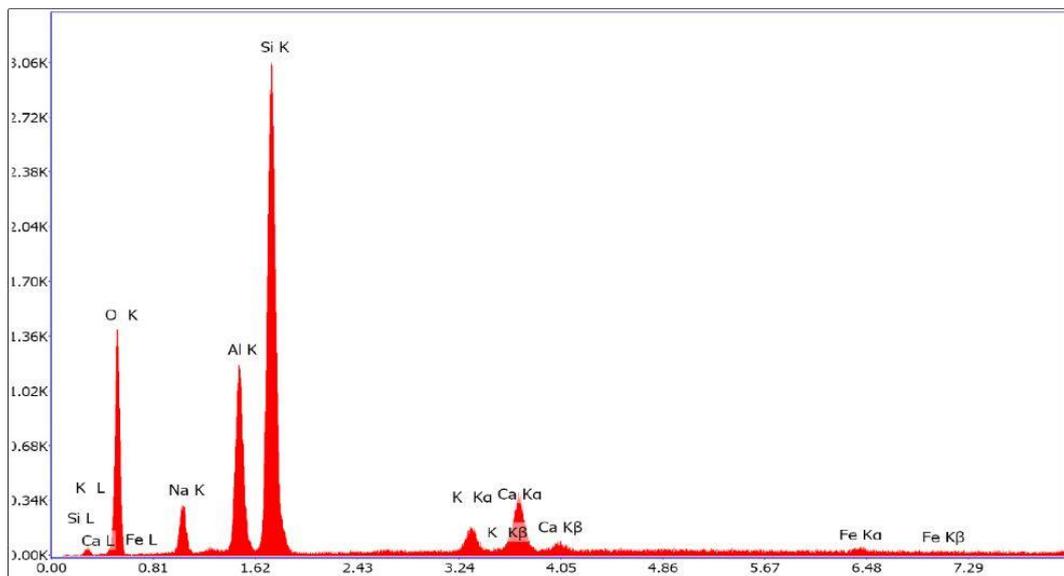
#### 4.2. Propiedades químicas de la tierra de diatomea

##### 4.2.1. Microscopía electrónica de barrido – SEM EDS

**Tabla 26**

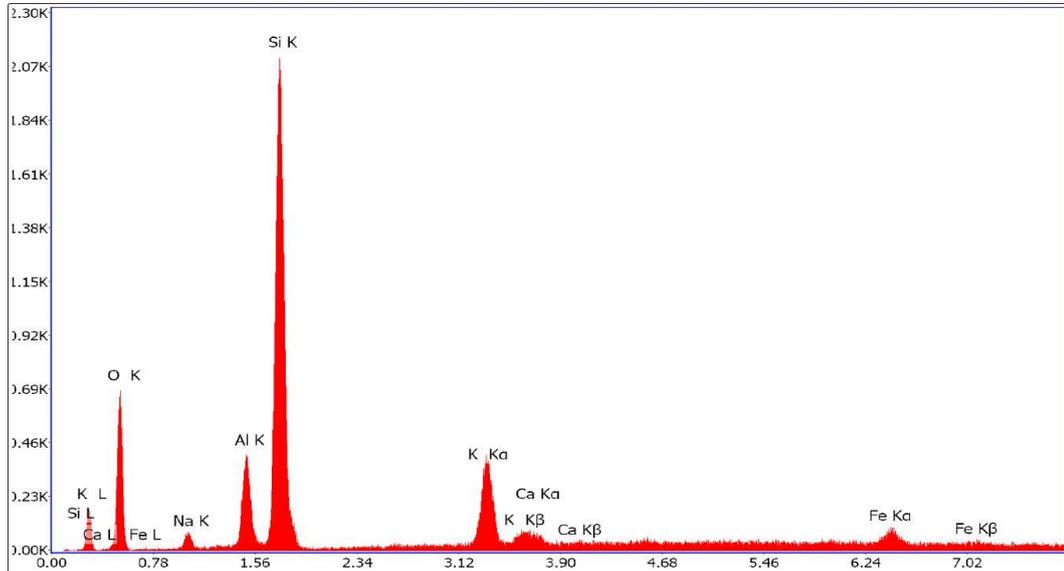
*Resultados SEM EDS*

Elemento	Contenido (%)								
	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6	Área 7	Área 8	Área 9
Oxígeno, O	49.87	47.13	48.69	56.92	56.08	53.62	44.92	45.77	50.18
Sodio, Na	7.32	3.12	3.32	4.64	4.78	3.93	2.61	2.71	3.59
Aluminio, Al	6.63	3.72	3.94	3.84	3.89	4.05	4.18	4.22	4.32
Silicio, Si	27.78	32.39	34.29	30.75	31.70	34.03	37.47	39.20	36.88
Potasio, K	1.96	8.87	7.29	3.85	3.55	4.37	8.03	7.04	5.03
Calcio, Ca	5.38	1.38	1.33	-	-	-	1.35	1.06	-
Hierro, Fe	1.06	3.39	1.14	-	-	-	1.44	-	-

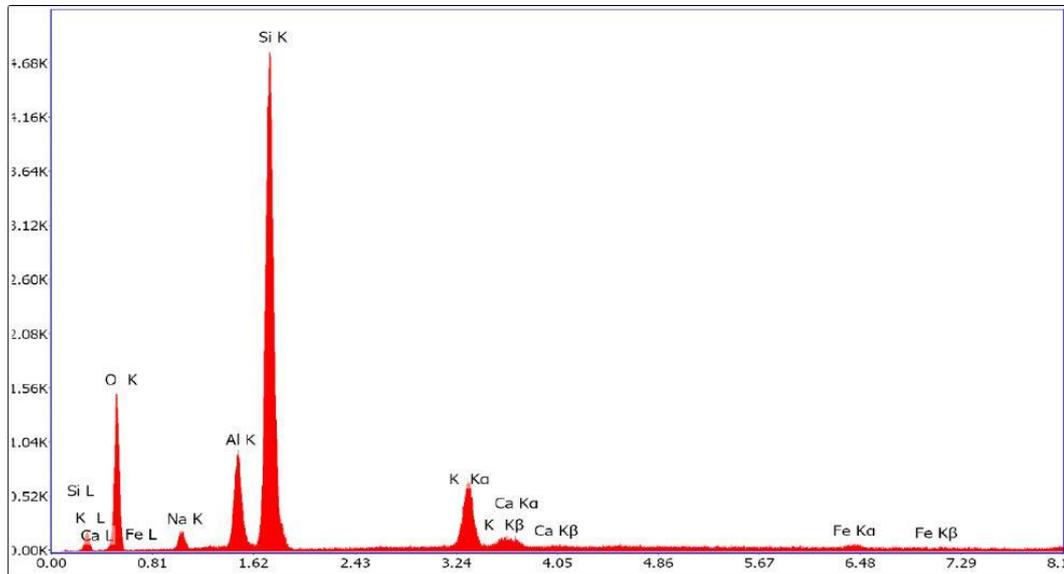
**Figura 9***Zona de análisis N°01, 500X***Figura 10***Gráfica de energías N°01: Espectro de energía en el área N°01*

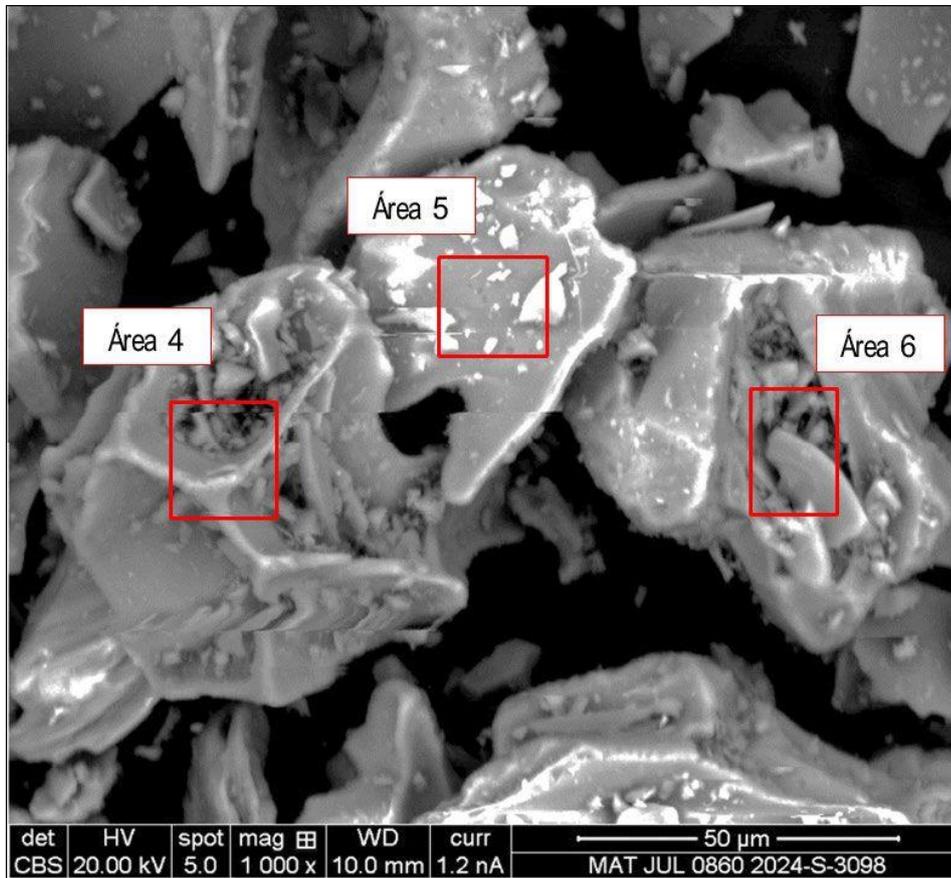
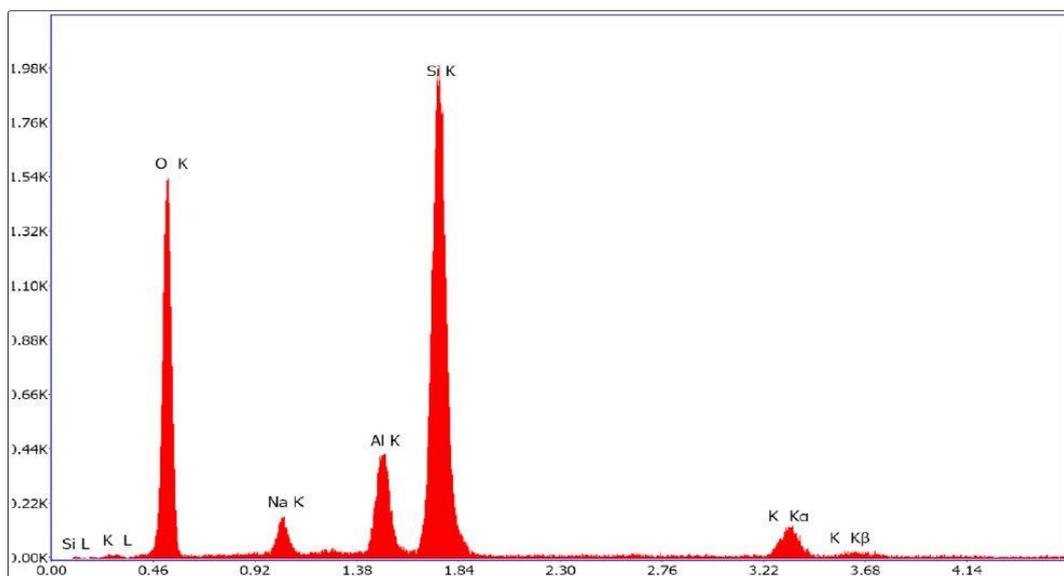
**Figura 11**

*Gráfica de energías N°02: Espectro de energía en el área N°02*

**Figura 12**

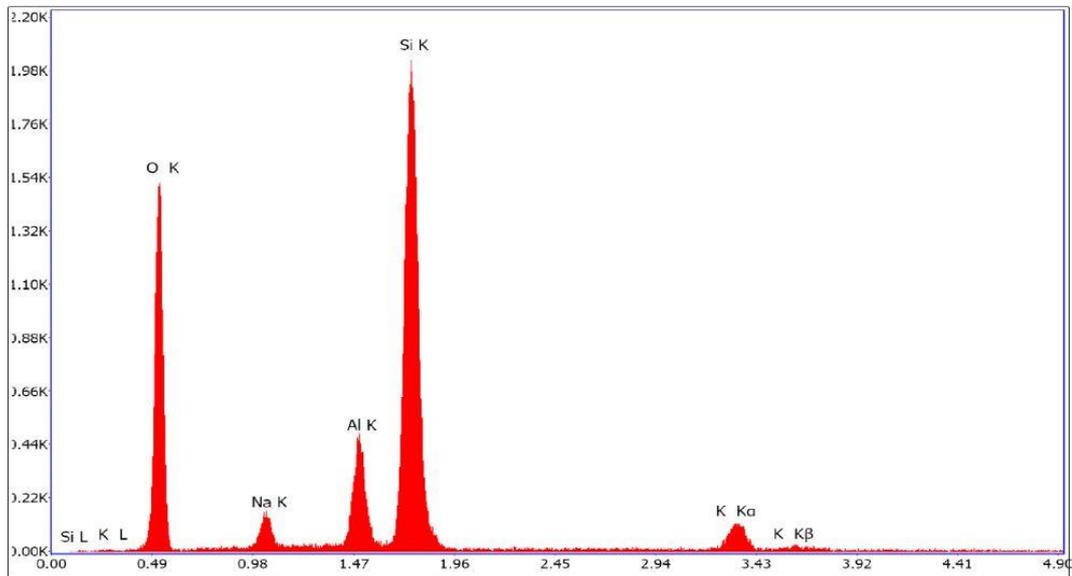
*Gráfica de energías N°03: Espectro de energía en el área N°03*



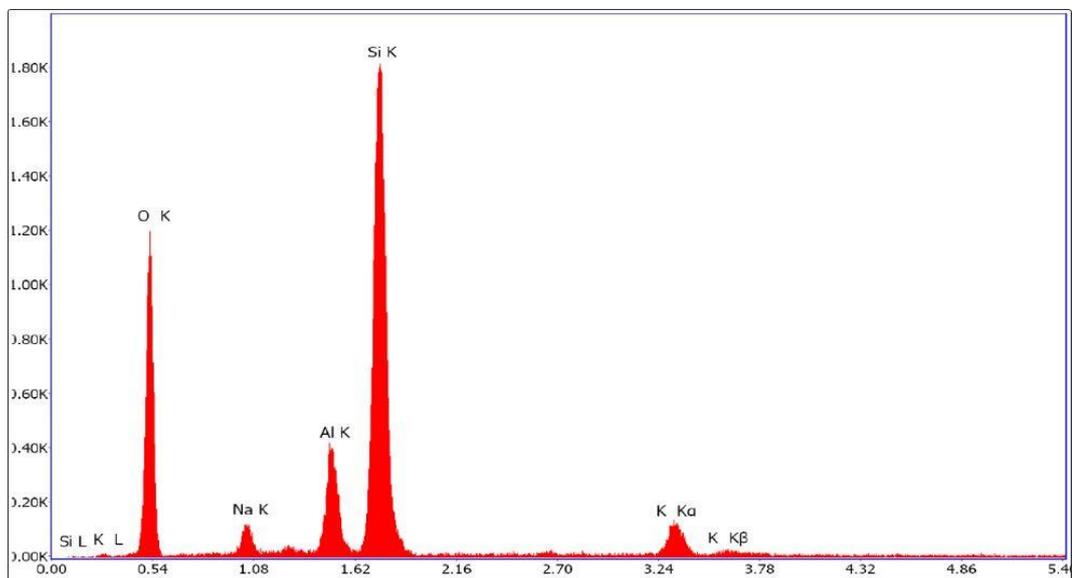
**Figura 13***Zona de análisis N°02, 1000X***Figura 14***Gráfica de energías N°04: Espectro de energía en el área N°04*

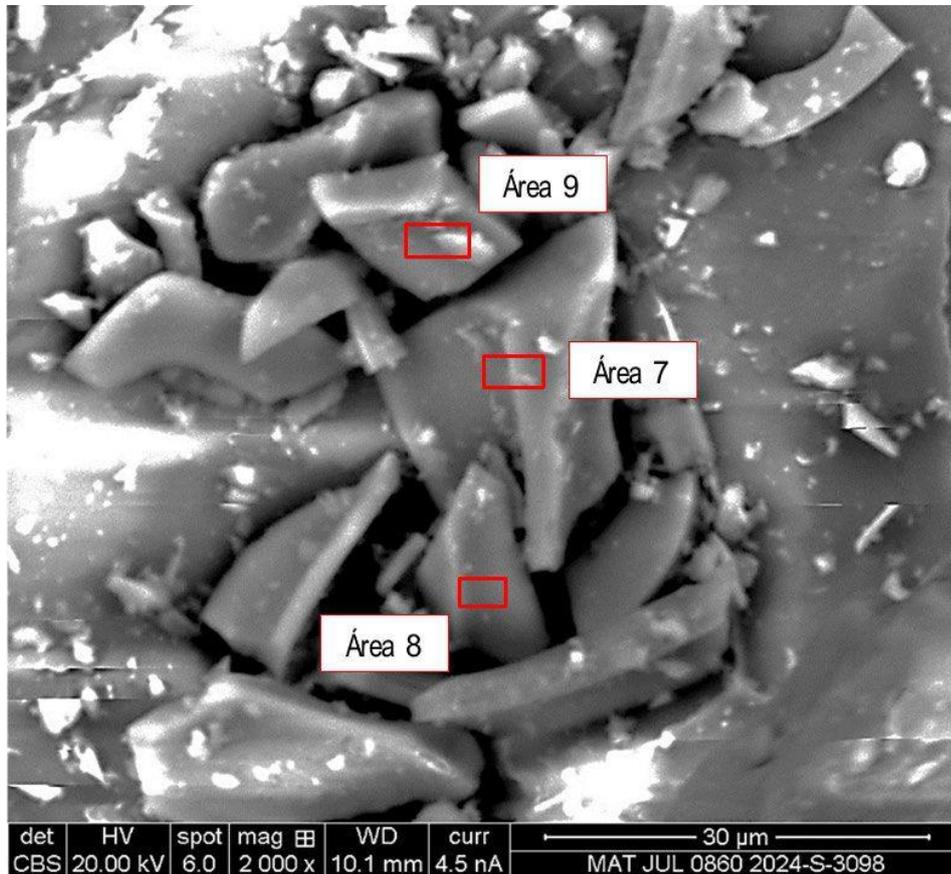
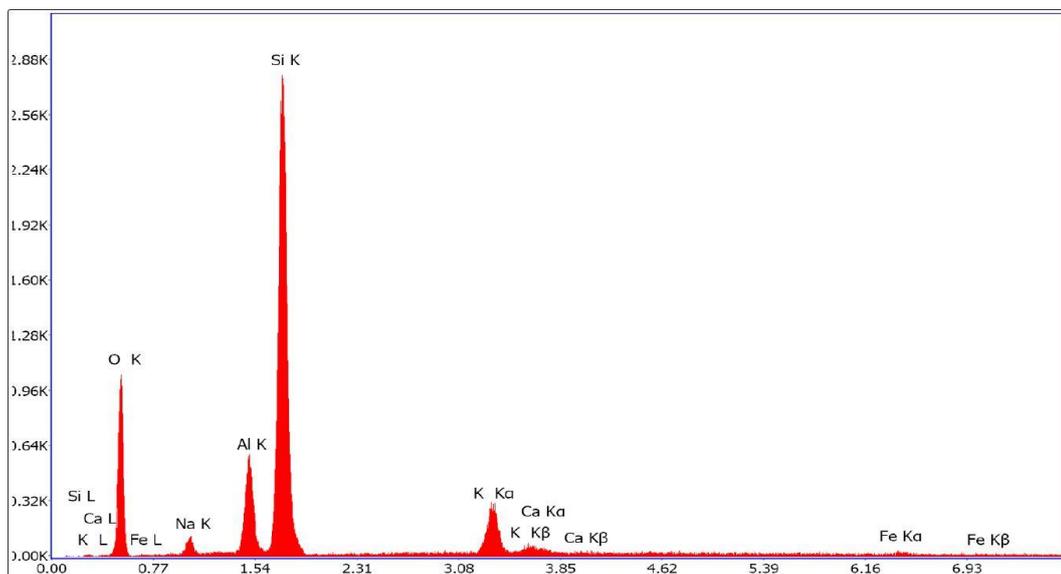
**Figura 15**

*Gráfica de energías N°05: Espectro de energía en el área N°05*

**Figura 16**

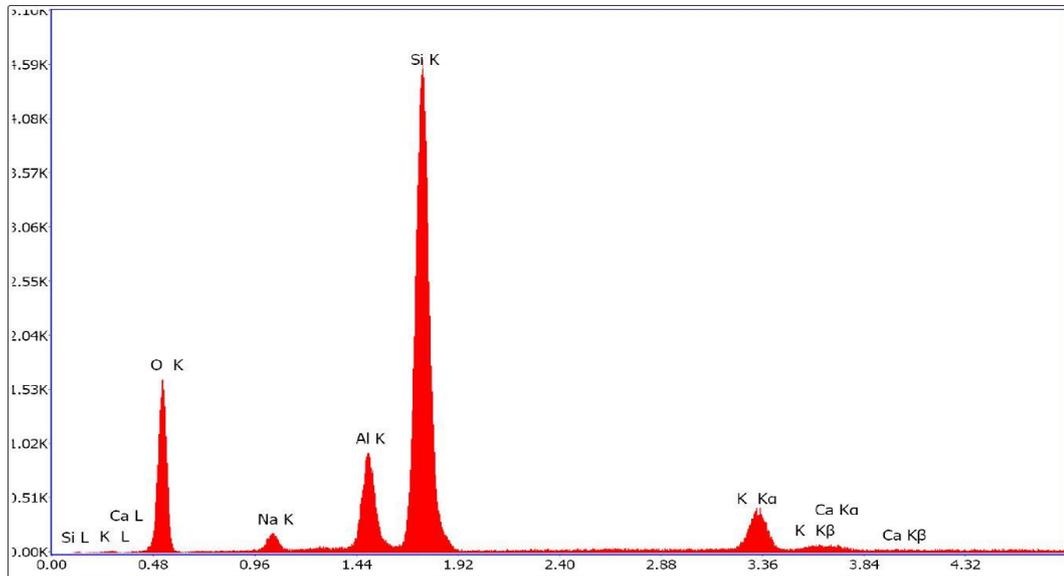
*Gráfica de energías N°06: Espectro de energía en el área N°06*



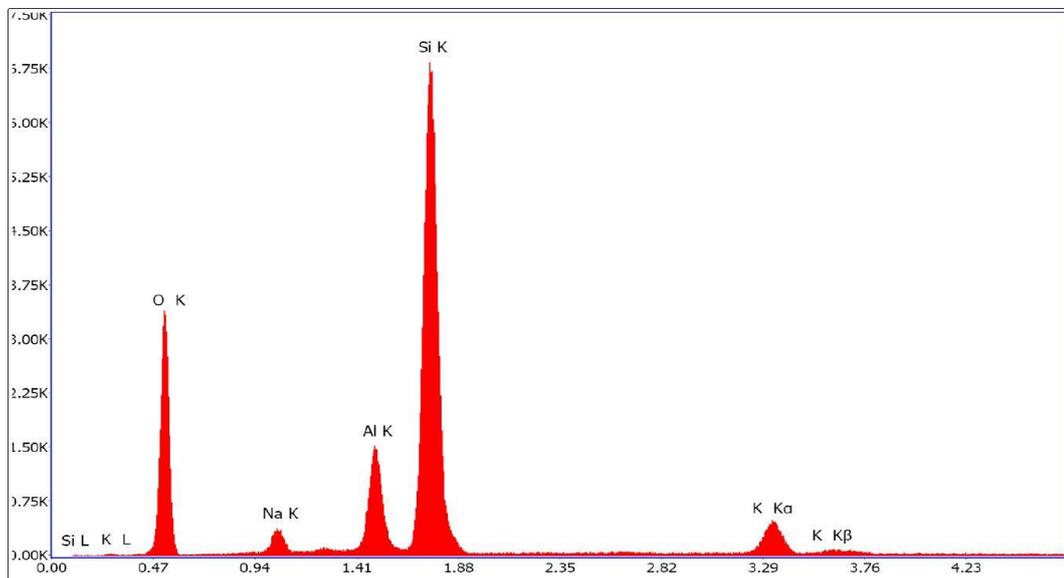
**Figura 17***Zona de análisis N°03, 2000X***Figura 18***Gráfica de energías N°07: Espectro de energía en el área N°07*

**Figura 19**

Gráfica de energías N°08: Espectro de energía en el área N°08

**Figura 20**

Gráfica de energías N°09: Espectro de energía en el área N°09



#### 4.2.2. Difracción de rayos X

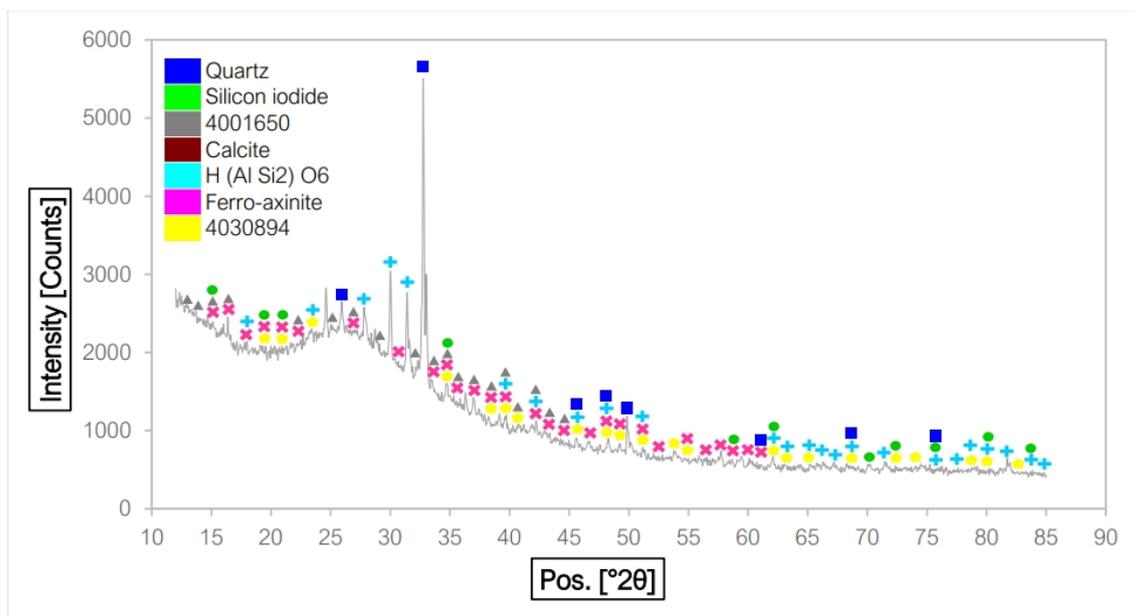
**Tabla 27**

*Concentración de las fases cristalinas en la muestra*

Nombre del Componente Identificado	Fórmula Química	Resultados	Unidad
Cuarzo	Si3.00 O6.00	15.90	%
Yoduro de Silicio	Si8.00 I32.00	0.30	%
4001650	Bi40.00 Cs8.04 Te52.80 Se7.20	0.30	%
Calcita	Ca5.23 Mg0.77 C6.00 O18.00	0.00	%
H (Al Si2) O6	Si8.00 O24.00 Al4.00	26.70	%
Ferro axinita	Ca4.00 Fe1.92 Mg0.12 Al3.97 B2.00 Si8.00 O32.00 H2.00	0.80	%
4030894	Tl6.00 Mo4.00 O16.00 Li2.00	0.30	%
AMORFO	–	55.60	%

**Figura 21**

*Difractograma de la muestra y fases cristalinas identificadas*



### 4.2.3. Fluorescencia de rayos X

**Tabla 28**

*Composición química expresada como elementos*

<b>Componente</b>	<b>LCM</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidad</b>
Silicio, Si	0.01	58.576	%
Potasio, K	0.01	20.457	%
Aluminio, Al	0.01	8.083	%
Hierro, Fe	0.01	5.138	%
Calcio, Ca	0.01	3.805	%
Titanio, Ti	0.01	0.68	%
Azufre, S	0.01	0.476	%
Manganeso, Mn	0.01	0.308	%
Rubidio, Rb	0.01	0.201	%
Zirconio, Zr	0.01	0.124	%
Estroncio, Sr	0.01	0.104	%
Zinc, Zn	0.01	0.035	%
Galio, Ga	0.01	0.021	%
Niobio, Nb	0.01	0.017	%
Cobre, Cu	0.01	0.015	%
Itrio, Y	0.01	0.012	%
Pérdida por Calcinación	0.01	1.95	%

*Nota.* Balance de resultados al 100% de óxidos calculados del análisis elemental (del sodio al uranio). Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío.

LCM: Límite de Cuantificación de Método

**Tabla 29**

*Composición química expresada como óxidos*

<b>Componente</b>	<b>LCM</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidad</b>
Óxido de Silicio, SiO <sub>2</sub>	0.01	71.627	%
Óxido de Potasio, K <sub>2</sub> O	0.01	10.392	%
Óxido de Aluminio, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	10.112	%
Óxido de Hierro, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	2.617	%
Óxido de Calcio, CaO	0.01	2.008	%

(Continúa)

Tabla 19 (continuación)

<b>Componente</b>	<b>LCM</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidad</b>
Óxido de Azufre, SO <sub>3</sub>	0.01	0.526	%
Óxido de Titanio, TiO <sub>2</sub>	0.01	0.418	%
Óxido de Manganeso, MnO	0.01	0.143	%
Óxido de Rubidio, Rb <sub>2</sub> O	0.01	0.073	%
Dióxido de Zirconio ZrO <sub>2</sub>	0.01	0.054	%
Óxido de Estroncio, SrO	0.01	0.04	%
Óxido de Zinc, ZnO	0.01	0.015	%
Óxido de Galio, Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.009	%
Óxido de Niobio, NbO	0.01	0.007	%
Óxido de Cobre, CuO	0.01	0.006	%
Óxido de Itrio, Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.005	%
Pérdida por Calcinación	0.01	1.95	%

*Nota.* Balance de resultados al 100% de óxidos calculados del análisis elemental (del sodio al uranio). Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío.

LCM: Límite de Cuantificación de Método

Según los componentes químicos obtenidos, el contenido de sílice y el óxido de silicio favorecen la producción de alita y belita, compuestos que mejoran las propiedades mecánicas del concreto.

#### 4.2.4. Contenido de materia orgánica

Tabla 30

*Resultados contenido de materia orgánica*

<b>Parámetro</b>	<b>LCM</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidad</b>
Materia Orgánica (MO)	0.01	2.09	%

*Nota.* LCM: Límite de Cuantificación de Método

#### 4.2.5. Potencial de hidrógeno (pH)

**Tabla 31**

*Resultados potencial de hidrógeno (pH)*

Parámetro	LCM	Resultado	Unidad
Potencial de Hidrógeno (Ph)	0.10	7.05	Unidad pH

*Nota.* LCM: Límite de Cuantificación de Método

#### 4.3. Diseño de mezcla

Los agregados para este diseño de mezcla de concreto son de la Cantera Arunta.

**Tabla 32**

*Materiales para el diseño de mezcla*

Propiedades Físicas de los Agregados	Norma	Agregado	Agregado
		Fino	Grueso
Peso Específico (g/cc)	NTP 400.022	2.653	2.682
Absorción (%)	NTP 400.021	0.894	0.958
Peso Unitario Suelto (g/cc)	NTP 400.017	1.737	1.315
Peso Unitario Compactado (g/cc)	NTP 400.017	1.860	1.455
Contenido de Humedad (%)	NTP 339.185	1.745	0.361
Módulo de Fineza	NTP 400.012	2.720	-
Tamaño Máximo	NTP 400.012	3/8"	1"
Tamaño Máximo Nominal	NTP 400.012	N°04	3/4"

**Tabla 33**

*Parámetros para el diseño de mezcla*

Parámetros para el Diseño de Mezcla			
Slump	3" – 4"	F'c	210 kg/cm <sup>2</sup>
Agua	197	Relación A/C	0.526
Aire	2.50	Vol. Agregado Grueso	0.625

**Tabla 34***Volumen y peso de los materiales*

<b>Materiales</b>	<b>Volumen Absoluto (Seco) (m3)</b>	<b>Peso Absoluto (Seco) (kg)</b>	<b>Corrección por Humedad (m3)</b>	<b>Corrección por Absorción (m3)</b>	<b>Corrección Humedad - Absorción (m3)</b>
Agregado Grueso	0.34	909.38	912.66	-0.01	-5.45
Agregado Fino	0.31	809.63	823.76	0.01	7.01
Cemento	0.13	374.52	-	-	-
Agua	0.20	197.00	-	-	-
Aire	0.03	-	-	-	-

**Tabla 35***Diseño de mezcla de concreto ACI*

<b>Materiales</b>	<b>1 m3</b>		<b>1 Bolsa de Cemento</b>	
	<b>Peso (kg)</b>	<b>Dosificación</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Dosificación (ft3)</b>
Agregado Grueso	912.66	52.56 %	103.566	2.437
Agregado Fino	823.76	47.44 %	93.478	2.199
Cemento	374.52	8.81 Bls	42.500	1 Bls
Agua	195.44	195.44 Lts	22.178	22.18 Lts

**4.4. Muestras elaboradas****Tabla 36***Nomenclatura*

<b>Nomenclatura</b>	
<b>MP</b>	Muestra Patrón
<b>P – N°</b>	Muestras de Observación según porcentaje de sustitución

#### 4.5. Muestra patrón

**Tabla 37**

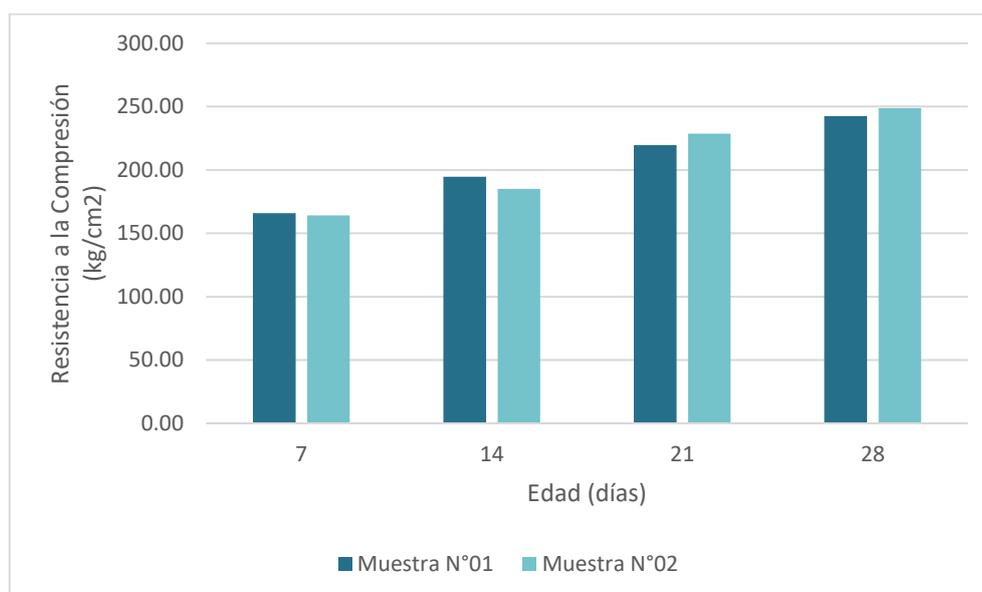
*Resultados resistencia a la compresión de la muestra patrón*

Diámetro	Altura	% TD
15 cm	30 cm	0 %

N° de Probeta	Edad (días)	Peso (kg)	Fuerza (kgf)	Área (cm)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	FC/F'C (%)	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
MP – 01	07	12.775	29306.18	176.71	165.84	78.97	164.98
MP – 02	07	12.741	29002.31	176.71	164.12	78.15	
MP – 03	14	12.810	34394.48	176.71	194.64	92.68	189.84
MP – 04	14	12.751	32697.70	176.71	185.04	88.11	
MP – 05	21	12.708	38814.88	176.71	219.65	104.60	224.13
MP – 06	21	12.815	40398.47	176.71	228.61	108.86	
MP – 07	28	12.840	42879.40	176.71	242.65	115.55	245.74
MP – 08	28	12.794	43970.48	176.71	248.83	118.49	

**Figura 22**

*Resistencia a la compresión de la muestra patrón*



#### 4.6. Muestras de observación con sustitución de tierra de diatomea

**Tabla 38**

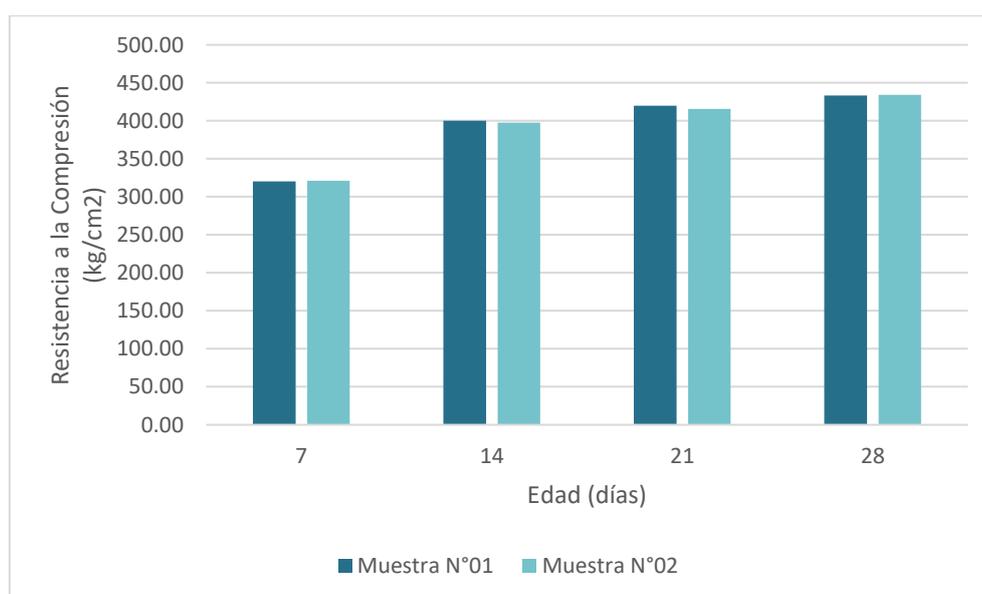
*Resultados resistencia a la compresión con una sustitución de 5 % de tierra de diatomea*

Diámetro	Altura	% TD
15 cm	30 cm	5 %

N° de Probeta	Edad (días)	Peso (kg)	Fuerza (kgf)	Área (cm)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	FC/F'C (%)	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
P – 01	07	13.037	56633.12	176.71	320.49	152.61	320.78
P – 02	07	13.045	56738.15	176.71	321.08	152.90	
P – 03	14	13.024	70724.35	176.71	400.23	190.58	399.01
P – 04	14	12.996	70295.06	176.71	397.80	189.43	
P – 05	21	13.005	74179.10	176.71	419.78	199.89	417.80
P – 06	21	12.975	73480.60	176.71	415.83	198.01	
P – 07	28	13.105	76548.88	176.71	433.19	206.28	433.63
P – 08	28	13.064	76705.91	176.71	434.08	206.70	

**Figura 23**

*Resistencia a la compresión de la muestra de observación con 5 % de TD*



**Tabla 39**

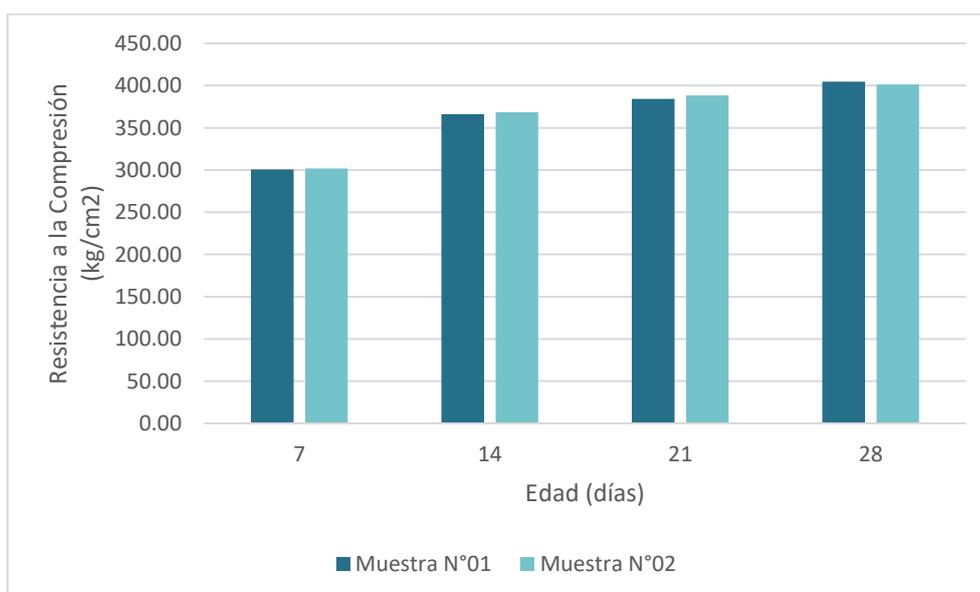
*Resultados resistencia a la compresión con una sustitución de 10% de tierra de diatomea*

<b>Diámetro</b>	<b>Altura</b>	<b>% TD</b>
15 cm	30 cm	10 %

<b>N° de Probeta</b>	<b>Edad (días)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Fuerza (kgf)</b>	<b>Área (cm)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>FC/F'C (%)</b>	<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
P – 01	07	12.949	53113.11	176.71	300.57	143.13	301.16
P – 02	07	12.976	53323.17	176.71	301.76	143.69	
P – 03	14	12.941	64679.57	176.71	366.02	174.30	367.27
P – 04	14	12.985	65122.12	176.71	368.53	175.49	
P – 05	21	12.968	67877.35	176.71	384.12	182.91	386.30
P – 06	21	12.954	68647.22	176.71	388.47	184.99	
P – 07	28	12.973	71493.21	176.71	404.58	192.66	402.98
P – 08	28	13.045	70927.27	176.71	401.38	191.13	

**Figura 24**

*Resistencia a la compresión de la muestra de observación con 10 % de TD*



**Tabla 40**

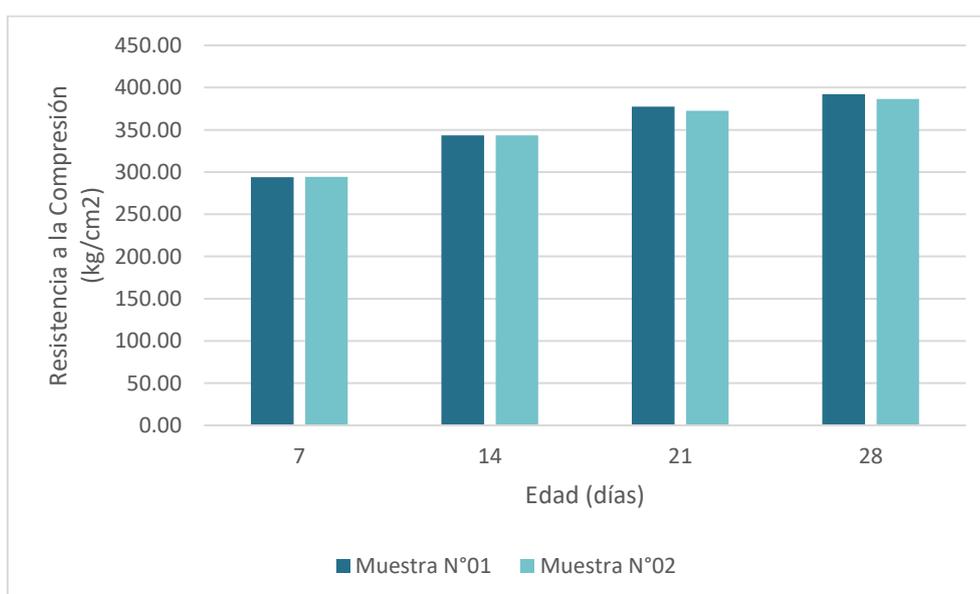
*Resultados resistencia a la compresión con una sustitución de 15% de tierra de diatomea*

<b>Diámetro</b>	<b>Altura</b>	<b>% TD</b>
15 cm	30 cm	15 %

<b>N° de Probeta</b>	<b>Edad (días)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Fuerza (kgf)</b>	<b>Área (cm)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>FC/F'C (%)</b>	<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
P – 01	07	12.985	51928.22	176.71	293.86	139.93	294.16
P – 02	07	12.974	52032.23	176.71	294.45	140.21	
P – 03	14	12.983	60663.99	176.71	343.30	163.47	343.39
P – 04	14	12.976	60696.62	176.71	343.48	163.56	
P – 05	21	13.244	66685.32	176.71	377.37	179.70	374.98
P – 06	21	13.118	65838.97	176.71	372.58	177.42	
P – 07	28	13.007	69321.25	176.71	392.29	186.80	389.38
P – 08	28	12.995	68292.37	176.71	386.47	184.03	

**Figura 25**

*Resistencia a la compresión de la muestra de observación con 15 % de TD*



**Tabla 41**

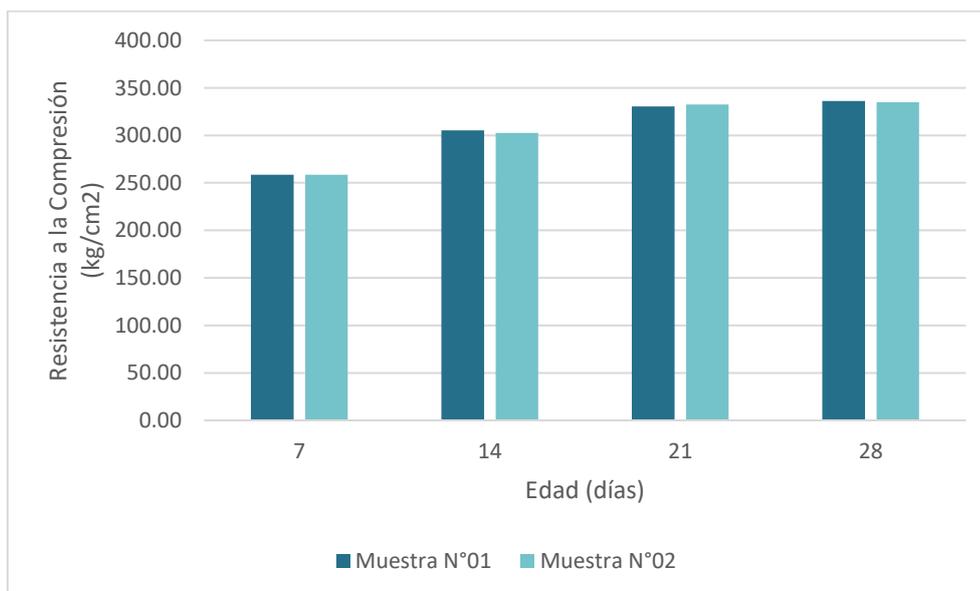
*Resultados resistencia a la compresión con una sustitución de 20 % de tierra de diatomea*

<b>Diámetro</b>	<b>Altura</b>	<b>% TD</b>
15 cm	30 cm	20 %

<b>N° de Probeta</b>	<b>Edad (días)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Fuerza (kgf)</b>	<b>Área (cm)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>FC/F'C (%)</b>	<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
P – 01	07	12.857	45661.15	176.71	258.40	123.05	258.52
P – 02	07	12.863	45706.01	176.71	258.65	123.17	
P – 03	14	12.923	53917.66	176.71	305.12	145.29	303.84
P – 04	14	12.838	53463.89	176.71	302.55	144.07	
P – 05	21	12.897	58412.49	176.71	330.56	157.41	331.60
P – 06	21	12.876	58782.65	176.71	332.65	158.40	
P – 07	28	12.916	59427.10	176.71	336.30	160.14	335.50
P – 08	28	12.894	59146.68	176.71	334.71	159.39	

**Figura 26**

*Resistencia a la compresión de la muestra de observación con 20 % de TD*



#### 4.7. Comparación de la muestra patrón con las muestras con sustitución porcentual de tierra de diatomea

##### 4.7.1. Asentamiento de concreto

**Tabla 42**

*Resultados asentamiento de concreto*

<b>Concreto F'c = 210 kg/cm2</b>	<b>SLUMP (")</b>
Muestra Patrón con 0% TD	3.50"
Muestra de Observación con 5 % TD	0.63"
Muestra de Observación con 10 % TD	0.38"
Muestra de Observación con 15 % TD	0.06"
Muestra de Observación con 20 % TD	0.00"

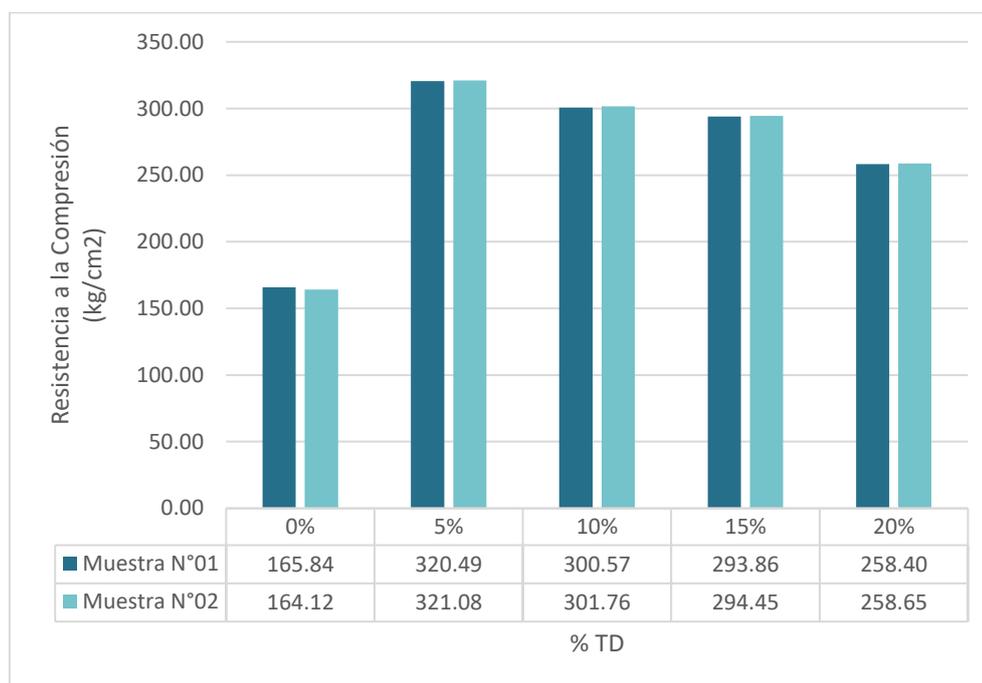
##### 4.7.2. Resistencia a la compresión

##### 4.7.2.1. Resistencia a la compresión a los 7 días

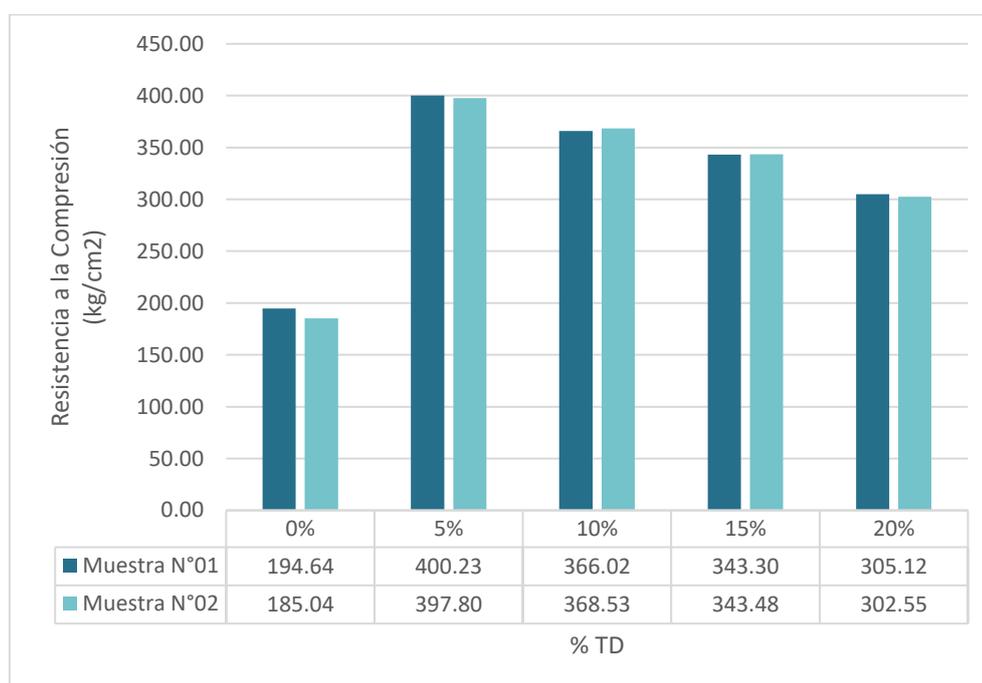
**Tabla 43**

*Resultados resistencia a la compresión a los 7 días*

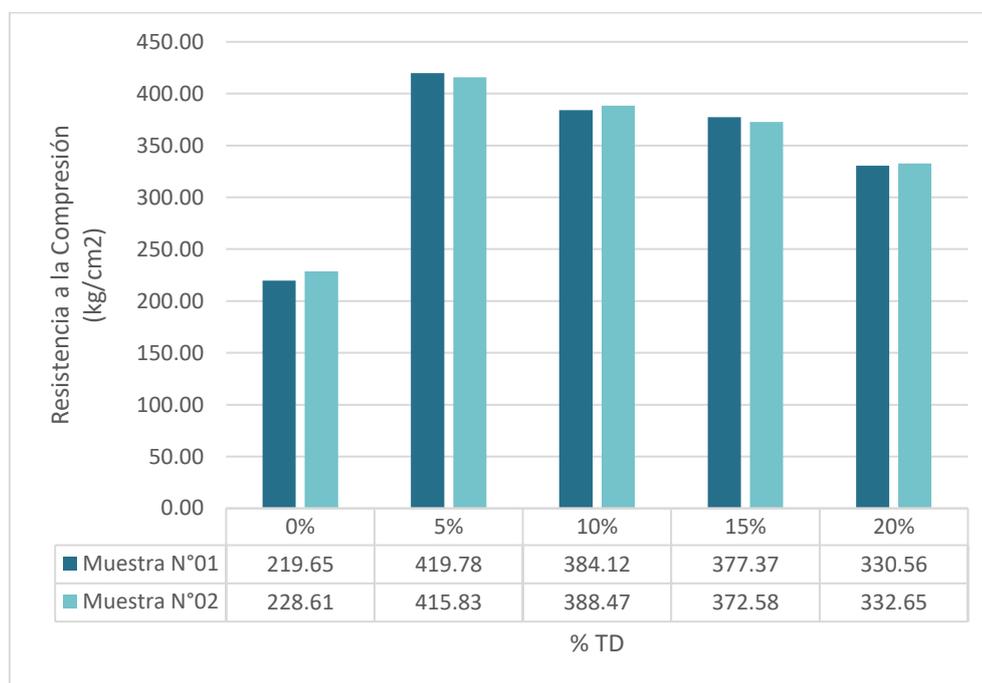
<b>N° de Probeta</b>	<b>TD (%)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Fuerza (kgf)</b>	<b>Área (cm)</b>	<b>Resistencia (kg/cm2)</b>	<b>FC/F'C (%)</b>	<b>Resistencia Promedio (kg/cm2)</b>
MP – 01	0 %	12.775	29306.18	176.71	165.84	78.97	164.98
MP – 02	0 %	12.741	29002.31	176.71	164.12	78.15	
P – 01	5 %	13.037	56633.12	176.71	320.49	152.61	320.78
P – 02	5 %	13.045	56738.15	176.71	321.08	152.90	
P – 01	10 %	12.949	53113.11	176.71	300.57	143.13	301.16
P – 02	10 %	12.976	53323.17	176.71	301.76	143.69	
P – 01	15 %	12.985	51928.22	176.71	293.86	139.93	294.16
P – 02	15 %	12.974	52032.23	176.71	294.45	140.21	
P – 01	20 %	12.857	45661.15	176.71	258.40	123.05	258.52
P – 02	20 %	12.863	45706.01	176.71	258.65	123.17	

**Figura 27***Resistencia a la compresión a los 7 días***4.7.2.2. Resistencia a la compresión a los 14 días****Tabla 44***Resultados resistencia a la compresión a los 14 días*

N° de Probeta	TD (%)	Peso (kg)	Fuerza (kgf)	Área (cm)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	FC/F'C (%)	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
MP – 03	0 %	12.810	34394.48	176.71	194.64	92.68	189.84
MP – 04	0 %	12.751	32697.70	176.71	185.04	88.11	
P – 03	5 %	13.024	70724.35	176.71	400.23	190.58	399.01
P – 04	5 %	12.996	70295.06	176.71	397.80	189.43	
P – 03	10 %	12.941	64679.57	176.71	366.02	174.30	367.27
P – 04	10 %	12.985	65122.12	176.71	368.53	175.49	
P – 03	15 %	12.983	60663.99	176.71	343.30	163.47	343.39
P – 04	15 %	12.976	60696.62	176.71	343.48	163.56	
P – 03	20 %	12.923	53917.66	176.71	305.12	145.29	303.84
P – 04	20 %	12.838	53463.89	176.71	302.55	144.07	

**Figura 28***Resistencia a la compresión a los 14 días***4.7.2.3. Resistencia a la compresión a los 21 días****Tabla 45***Resultados resistencia a la compresión a los 21 días*

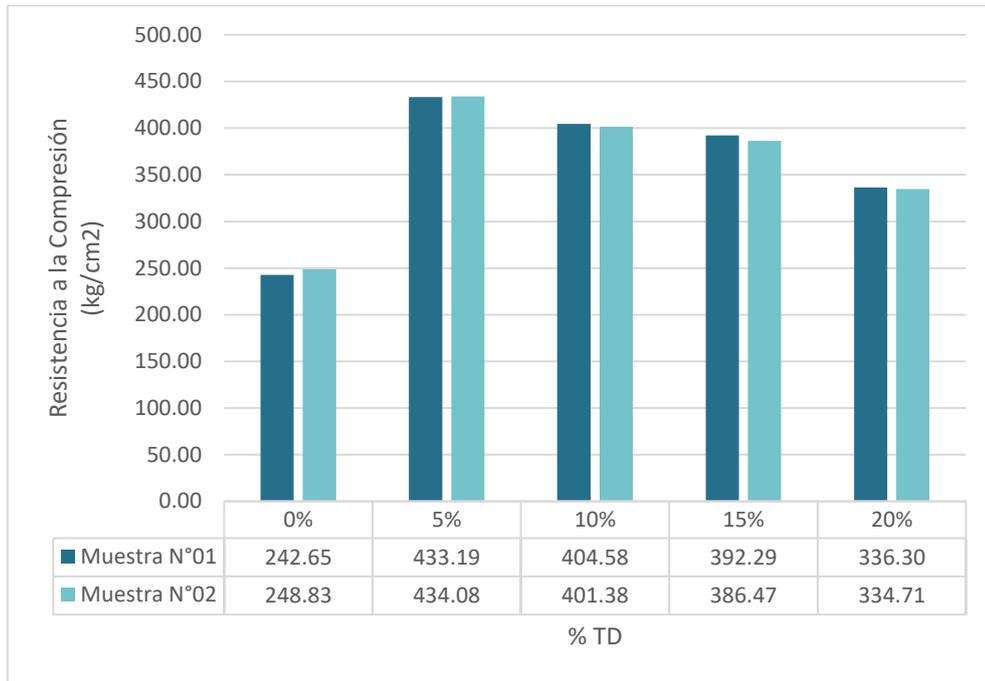
N° de Probeta	TD (%)	Peso (kg)	Fuerza (kgf)	Área (cm)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	FC/F'C (%)	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
MP – 05	0 %	12.708	38814.88	176.71	219.65	104.60	224.13
MP – 06	0 %	12.815	40398.47	176.71	228.61	108.86	
P – 05	5 %	13.005	74179.10	176.71	419.78	199.89	417.80
P – 06	5 %	12.975	73480.60	176.71	415.83	198.01	
P – 05	10 %	12.968	67877.35	176.71	384.12	182.91	386.30
P – 06	10 %	12.954	68647.22	176.71	388.47	184.99	
P – 05	15 %	13.244	66685.32	176.71	377.37	179.70	374.98
P – 06	15 %	13.118	65838.97	176.71	372.58	177.42	
P – 05	20 %	12.897	58412.49	176.71	330.56	157.41	331.60
P – 06	20 %	12.876	58782.65	176.71	332.65	158.40	

**Figura 29***Resistencia a la compresión a los 21 días***4.7.2.4. Resistencia a la compresión a los 28 días****Tabla 46***Resultados resistencia a la compresión a los 28 días*

N° de Probeta	TD (%)	Peso (kg)	Fuerza (kgf)	Área (cm)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	FC/F'C (%)	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
MP – 07	0 %	12.840	42879.40	176.71	242.65	115.55	245.74
MP – 08	0 %	12.794	43970.48	176.71	248.83	118.49	
P – 07	5 %	13.105	76548.88	176.71	433.19	206.28	433.63
P – 08	5 %	13.064	76705.91	176.71	434.08	206.70	
P – 07	10 %	12.973	71493.21	176.71	404.58	192.66	402.98
P – 08	10 %	13.045	70927.27	176.71	401.38	191.13	
P – 07	15 %	13.007	69321.25	176.71	392.29	186.80	389.38
P – 08	15 %	12.995	68292.37	176.71	386.47	184.03	
P – 07	20 %	12.916	59427.10	176.71	336.30	160.14	335.50
P – 08	20 %	12.894	59146.68	176.71	334.71	159.39	

**Figura 30**

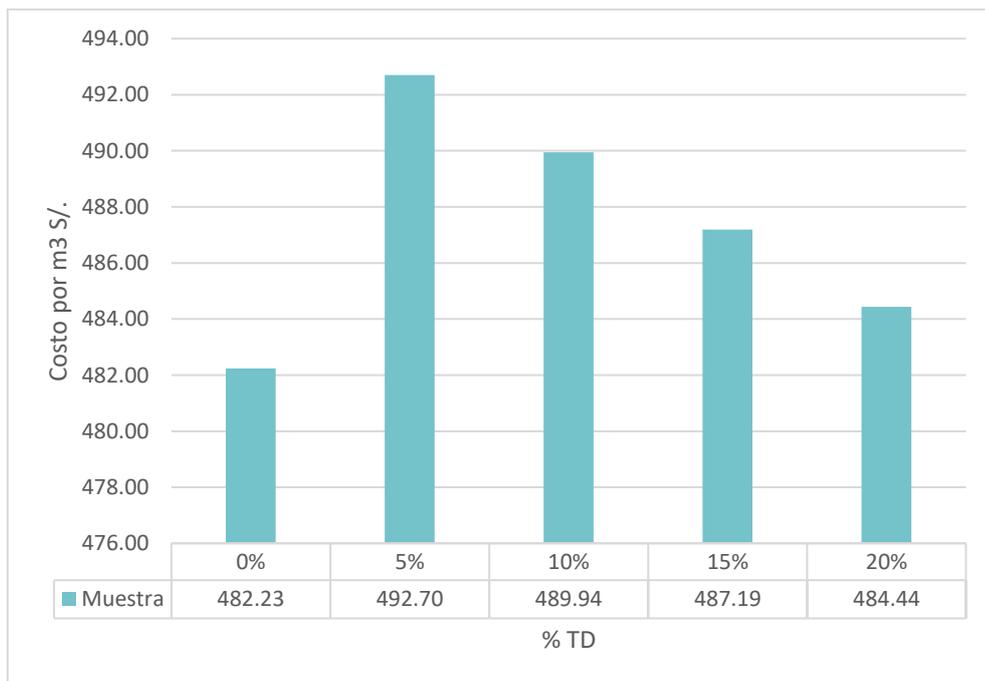
*Resistencia a la compresión a los 28 días*



**4.7.3. Costo – beneficio del concreto por m3**

**Figura 31**

*Costo por m<sup>3</sup> de concreto*



#### 4.7.4. Estimación y análisis de la reducción de emisión de CO2

**Tabla 47**

*Reducción de emisiones de CO2 por uso de diatomea por bolsa de cemento*

<b>Proporción de Tierra de Diatomea (%)</b>	<b>Emisión de CO2 por Bolsa de Cemento (kg)</b>	<b>Reducción de Emisiones de CO2 (kg)</b>
0 % TD	44.55	0.00
5 % TD	42.33	2.22
10 % TD	40.10	4.45
15 % TD	37.87	6.68
20 % TD	35.64	8.91

## CAPÍTULO VI: DISCUSIONES

En la presente discusión, se analizan los resultados obtenidos en el estudio sobre la influencia de la diatomita como alternativa de nuevo conglomerante para la fabricación de concreto sostenible en Tacna, 2024. Se evaluaron las propiedades físicas y químicas de la tierra de diatomea extraída de la Cantera Minera Fénix, ubicada al norte de Tacna. Los resultados indicaron que la tierra de diatomea tiene una composición mineralógica significativa que incluye sílice amorfa, lo que es consistente con la investigación realizada por Fragoulis et al. (2005) y Carranza (2017) quienes destacaron la presencia de sílice en las diatomitas como un factor clave en la mejora de las propiedades del concreto. Los estudios realizados a la Tierra de Diatomea revelaron que la suma de los óxidos fundamentales, Óxido de Silicio,  $\text{SiO}_2$ , Óxido de Aluminio,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y Óxido de Hierro,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , es igual a 84.36 %, siendo una composición química idónea para actuar como material puzolánico, y un contenido de sílice de 71.63 %, lo que coincide con los resultados obtenidos por Vásquez y Neira (2019) que obtuvieron un contenido que oscilaba entre el 64 y 74.71%. que supera el umbral mínimo recomendado para su uso en la industria del concreto. Además, el análisis químico mostró una baja cantidad de contenido de materia orgánica, que pueden afectar negativamente la calidad del concreto.

El segundo objetivo implicó la elaboración del diseño de mezcla para un concreto de resistencia  $F'c$  210  $\text{kg/cm}^2$ , sustituyendo diferentes porcentajes de tierra de diatomea, siguiendo las directrices establecidas por ACI Committee. Esta metodología se apoyó en la investigación de Pejerrey (2023) que evaluó las propiedades de un concreto  $F'c$  210  $\text{kg/cm}^2$  mediante la incorporación de diatomea como reemplazo parcial del cemento. Así, se elaboraron probetas de concreto que contenían entre 5% y 20% de diatomita en sustitución parcial del cemento, con una relación agua/cemento de 0.526, para obtener una mezcla plástica, trabajable que alcance la resistencia deseada. Los resultados mostraron que la relación agua/cemento fue similar a la obtenida por Macedo et.al. (2019) para la elaboración de sus muestras de observación, siendo de 0.54. La relación agua-cemento es un factor crítico que influye directamente en la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad del concreto. Sin embargo, la tierra de diatomea presenta un alto porcentaje de absorción de agua debido a su estructura porosa y al tamaño de sus partículas según Carranza (2017) y Velásquez (2019). La adición de diatomita generó que se requieran ajustes

en la cantidad de agua para mantener la consistencia deseada sin comprometer la resistencia objetivo. El aumento de la proporción de tierra de diatomea en la mezcla incrementó la absorción de agua por la diatomita lo que llevó a una mezcla más seca, reduciendo significativamente la trabajabilidad y la cohesión del concreto. Estos resultados son congruentes con los obtenidos por Pejerrey (2023) y Velázquez (2019), quienes obtuvieron un slump de 0" con una sustitución de 15% de cemento.

El tercer objetivo consistió en comparar los resultados obtenidos en términos técnicos, económicos y ambientales. Desde el punto de vista técnico, los concretos con diatomita mostraron una resistencia a la compresión superior y comparable a la de los concretos con cemento puzolánico hasta un 15 % de sustitución, sin embargo, con una sustitución de 20 %, disminuyeron su resistencia en un 8.98 %. Este comportamiento concuerda parcialmente con los resultados de Velázquez (2019), que demostraron que una sustitución de hasta 10 % proporcionaba resultados más favorables. En términos económicos, considerando las proporciones viables con relación a su resistencia, las proporciones con 5, 10 y 15 % aumentaron en un 2.17, 1.59 y 1.02 % el costo de producción por m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo que el concreto de cemento puzolánico representa una opción más económica en comparación con el cemento adicionado. Pese a que el aumento del costo no lo vuelve inviable, en obras de gran dimensión supondría un aumento significativo en el costo directo del proyecto (Sánchez y Takahashi, 2018). Esta diferencia económica es importante, especialmente en regiones como Tacna, donde los recursos pueden ser limitados. Desde la perspectiva ambiental, el uso de diatomita contribuye a una disminución significativa de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas con la producción de cemento. Según la información de Sousa y Bogas (2021), la reducción de la cantidad de cemento necesario para la misma resistencia del concreto implica una menor producción de clinker, lo que a su vez disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero. Esta reducción es particularmente relevante en el contexto de los compromisos globales para la reducción de las emisiones de carbono. Considerando que para la fabricación de una bolsa de cemento se generan 44.55 kg de CO<sub>2</sub>, con una reducción del 5, 10 y 15 % en el uso de cemento permitiría reducir en un 2.22, 4.45 y 6.68 kg, respectivamente, lo que corresponde a una reducción de 4.98, 9.98 y 14.99 % en comparación con la emisión tradicional. Además, la diatomita es un material abundantemente disponible en la región, lo que minimiza el impacto ambiental asociado con el transporte de materiales y promueve el uso de recursos locales.

## CONCLUSIONES

La investigación evaluó la diatomita como alternativa de nuevo conglomerante para la fabricación de concreto sostenible, permitiendo establecer resultados significativos en relación con las propiedades mecánicas y medioambientales del material. Los resultados demostraron que el concreto con tierra de diatomea presenta propiedades prometedoras que pueden mejorar la sostenibilidad del concreto. Su incorporación podría reducir la dependencia de los conglomerantes tradicionales, disminuir la huella de carbono del proceso de fabricación y aportar características mecánicas favorables al producto final. Sin embargo, se requiere un análisis más profundo sobre su viabilidad económica y su comportamiento a largo plazo en diversas condiciones antes de su implementación a gran escala. Además, el concreto adicionado con tierra de diatomea no solo alcanzó los estándares mínimos de resistencia exigidos, sino que también presentó propiedades mecánicas competitivas en comparación con el concreto tradicional. Cabe resaltar que, en la producción tradicional, según la bibliografía estudiada, el concreto con cemento HE tiene una resistencia inicial mayor en un 50% al concreto elaborado con cemento Ip, pese a eso, las mezclas con sustitución de 5, 10 y 15 % superaron la muestra patrón elaborada con cemento Ip, e incluso presentaron una mejora de hasta 17.64% en la mezcla con sustitución de 5%.

El análisis de las propiedades físicas de la tierra de diatomea extraída de la Cantera Minera Fénix determinó que el material presenta un módulo de fineza de 2.26, lo que favorecería la reactividad puzolánica debido a su mayor superficie de reacción, este valor influye en la consistencia y trabajabilidad del concreto. Un peso unitario suelto de 1136.67 kg/m<sup>3</sup> y un peso unitario compactado de 1423.97 kg/m<sup>3</sup>. Además, la diatomea analizada tiene un porcentaje de humedad de 0.79 % y un porcentaje de absorción de 1.82 %, debido al tamaño de sus partículas, que favorece la absorción de agua. En cuanto a las propiedades químicas, el ensayo de fluorescencia de rayos X reveló que el material posee un contenido de sílice de 71.63 %, y la suma de los óxidos fundamentales, Óxido de Silicio, SiO<sub>2</sub>, Óxido de Aluminio, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Óxido de Hierro, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, es igual a 84.36 %, siendo una composición química idónea para actuar como material puzolánico. En esa misma línea, la muestra evaluada presentó un potencial de hidrógeno de 7.05 pH, un pH cercano a neutro ideal, ya que evita reacciones adversas con el cemento y permite una correcta integración del material en la matriz del concreto. Y un 2.09 % de materia orgánica, valor que, en grandes porcentajes,

pueden afectar negativamente la calidad del concreto, en cuanto a resistencia y durabilidad.

Respecto al diseño de mezcla de concreto  $F'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, se elaboró un diseño de mezcla en el que se obtuvo una relación agua-cemento de 0.526. Este diseño buscaba lograr una mezcla plástica y trabajable, con un slump de 3 a 4", capaz de alcanzar la resistencia deseada. En el proceso, se realizaron sustituciones de diferentes proporciones de cemento por tierra de diatomea, con el objetivo de estudiar su efecto en la resistencia del concreto a los 7, 14, 21 y 28 días. Las mezclas con adición de diatomita presentaron una reducción significativa del slump con el aumento del porcentaje de sustitución, resultando en mezclas cada vez más secas. A su vez, se observó que, conforme aumentaba el porcentaje de sustitución, la resistencia disminuía. Esto se debe al alto porcentaje de absorción de la tierra de diatomea, que ocasiona una baja hidratación inicial de la mezcla. Estos hallazgos sugieren que sería necesario utilizar un aditivo para mejorar la consistencia de la mezcla y que la diatomita podría ser una alternativa viable al cemento convencional, siempre que se ajusten adecuadamente las proporciones de su aplicación.

Por último, al comparar los resultados obtenidos, se consideraron factores técnicos, económicos y ambientales. Técnicamente, la mejor resistencia se obtuvo con una proporción de 5 %, que superó la muestra patrón en 17.64 %, mientras que la muestra con una sustitución de 20 % redujo su resistencia en un 8.98 %. Económicamente, las muestras con sustituciones de 5, 10 y 15 % aumentaron su costo de producción hasta en un 2.17 % por m<sup>3</sup>, mientras que la muestra con un 20 % lo redujo en un 0.46 %. Este incremento se debe al mayor costo del cemento HE frente al cemento Ip. Aunque estas variaciones no sean significativas debido a los bajos porcentajes alcanzados, podrían generar una diferencia en el costo directo de proyectos de gran envergadura, sin embargo, podría favorecer la economía local, puesto que la diatomita es un recurso local disponible. Finalmente, se analizó la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> por bolsa de cemento, considerando las proporciones con relación a su resistencia, las proporciones con una reducción de 5, 10 y 15 % en el uso de cemento permitirían disminuir en un 2.22, 4.45 y 6.68 kg la producción de CO<sub>2</sub>, lo que constató que el uso de tierra de diatomea puede no solo contribuir a la reducción en la huella de carbono asociada con la producción de cemento, sino que también se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) promovidos por la ONU, específicamente en promover la innovación y fomentar prácticas más sostenibles en la construcción. En resumen, los hallazgos de esta investigación evidencian que la tierra de diatomea es una

alternativa tangible para la fabricación de concreto sostenible en la región de Tacna, contribuyendo con ello a abordar tanto desafíos ambientales como técnicos en el sector de la construcción, ofreciendo una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en la construcción sostenible.

## RECOMENDACIONES

Para futuros investigadores, se recomienda utilizar instrumentos calibrados y laboratorios certificados para lograr resultados confiables y con mayor precisión.

A los profesionales y futuros investigadores del tema, gestionar y ajustar adecuadamente la relación agua-cemento podría mitigar la absorción de agua de la diatomita y aprovechar sus propiedades únicas para mejorar la sostenibilidad del concreto sin comprometer su trabajabilidad y calidad estructural.

Hacia la facultad de Ingeniería Civil, continuar y promover la investigación de la tierra de diatomea y su aplicación como material de construcción en diferentes ámbitos, realizando previamente el estudio de sus propiedades según el lugar de extracción y considerando nuevas proporciones, métodos y alternativas de optimización.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, C. F. (2009). *Tecnología del concreto: Teoría y problemas*. <https://es.scribd.com/doc/306087568/Tecnologia-DelConcreto-Flavio-Abanto>.
- ACI Committee. (1985). *Cement and concrete terminology*. American Concrete Institute.
- Aydin, A., & Gül, R. (2007). Influence of volcanic originated natural materials as additives on the setting time and some mechanical properties of concrete. *Construction and building materials*, 21(6), 1277-1281.
- Bedoya, G. (2003). Yacimiento de diatomita en Tacna. *Ciencia & Desarrollo*, (7), 56-69.
- Berry, L.G., Mason, B., & Dietrich, R.V. (1983). *Mineralogy*. Freeman.
- Carlos, L. (2020). *Análisis comparativo de las características físico-mecánicas de los cementos comerciales Portland tipo IP, HE Y HS, en la Región Arequipa*. [Tesis de grado]. Universidad Católica de Santa María. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/9777>
- Carranza, R. (2017). *Nuevos materiales conglomerantes a partir de tierras de diatomeas de distinto origen: reactividad puzolánica*. [Tesis de Máster Universitario en Ingeniería del Hormigón]. Universidad Politécnica de València.
- Carrillo, S. S. (2012). *Estudio comparativo entre tecnologías de producción de concreto: Mixer y Dispensador* [Tesis de titulación]. Universidad de Piura. <https://pirhua.udep.edu.pe/items/624bd7fb-76f0-4f8c-8e10-0160241b434e>
- Carrión, J. R. (2012). *Diatomitas en el Perú: características y aplicaciones*. Dirección de Recursos Minerales y Energéticos DRME. INGEMMET.
- Cement Association of Canada. (2023). *Concrete Zero: Canada's cement and concrete industry action plan to net-zero - Cement Association of Canada*. [https://cement.ca/sustainability/concrete-zero/?trk=article-ssr-frontend-pulse\\_little-text-block](https://cement.ca/sustainability/concrete-zero/?trk=article-ssr-frontend-pulse_little-text-block)
- Central de Compras Públicas – Perú Compras (30 de junio de 2023) *Cemento pórtland tipo i* [Archivo PDF]. <https://www.perucompras.gob.pe/subasta-inversa/listado-bienes-servicios-comunes.php>
- Central de Compras Públicas – Perú Compras (30 de junio de 2023) *Cemento pórtland tipo ip* [Archivo PDF]. <https://www.perucompras.gob.pe/subasta-inversa/listado-bienes-servicios-comunes.php>

- Connect Americas (2019). *Silicio y su importancia en la construcción*.  
<https://connectamericas.com/es>
- Constitución Política del Perú [Const.]. Art. 67 (29 de diciembre de 1993).  
<http://www.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/Constitucion-Pol%C3%ADtica-del-Peru-1993.pdf>
- De Rojas Gómez, M. S. (2013). Natural pozzolans in eco-efficient concrete. In *Eco-efficient concrete* (pp. 83-104). Woodhead Publishing.
- Fallas, G., Madrigal, C., García, M., Valenciano, I., Vega, L., & Guzmán, G. (2012). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Tecnología en marcha*, 25(2), 80-86. [https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/1632](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/1632)
- Fragoso, J., & Visbal, J. (2021). *El uso de la puzolana de origen natural en concreto hidráulico*. Universidad de Cartagena.  
<https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/14628>
- Fragoulis, D., Stamatakis, M. G., Papageorgiou, D., & Chaniotakis, E. (2005). The physical and mechanical properties of composite cements manufactured with calcareous and clayey Greek diatomite mixtures. *Cement and Concrete Composites*, 27(2), 205-209.
- Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Universidad Nacional de Colombia.  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9302>
- Hu, J.-L., & Yang, L.-S. (2008). A review of data envelopment analysis in energy and environmental studies. *International Journal of Energy Sector Management*, 2(2), 143-162. 10.1108/17506220810882542
- Huaraca, N. F. (2010). *Roca fosfórica y diatomita incubadas con microorganismos benéficos, en el rendimiento de cebada (Hordeum vulgare L.), Canaán 2750 msnm-Ayacucho*. <https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3230>
- Husqvarna. (2017). *La tierra de diatomeas: características, tipos y aplicaciones*. Anónimo.
- International Organization for Standardization. (2015). Document management — Portable document format — ISO Standard No. 14001:2015.  
<https://www.iso.org/standard/60857.html>
- Izaguirre, J. R. (1976). *Características y correcta aplicación de los diversos tipos de cemento*. Reverte.

- Kovler, and O. M. Jensen (2007), "Internal Curing of Concrete.," K., Internal curing of concrete: state of the art report of RILEM Technical committee TC 196-ICC--&quot;Internal curing of concrete&quot", Technical Committee TC 196-ICC.
- Mehta, K., & Monteiro, P. (2014). *Concreto. Microestructura, propiedades y materiales*.  
[https://www.researchgate.net/publication/272491545\\_Concreto\\_Microestructura\\_Proiedades\\_e\\_Materiais](https://www.researchgate.net/publication/272491545_Concreto_Microestructura_Proiedades_e_Materiais)
- Ministerio de la Producción. (2020). *Resolución Ministerial N.º 175-2020-PRODUCE*.  
<https://www.gob.pe/institucion/produce/normas-legales/675184-175-2020-produce>
- Ministerio de Producción. *Resolución Ministerial N.º 175-2020-PRODUCE. Reglamento Técnico Sobre Cemento Hidráulico Utilizado en Edificaciones y Construcciones de Concreto en General* (12 junio de 2020).  
[https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/833404/Exposici%C3%B3n\\_de\\_Motivos\\_R.M.\\_175.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/833404/Exposici%C3%B3n_de_Motivos_R.M._175.pdf)
- Monsalve, J. (2023). *Evaluación de las Propiedades Mecánicas del Concreto Sustituyendo Parcialmente el Cemento por Ceniza de Diatomita*. Universidad señor de Sipán. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/12120>
- Muñoz, M. J. (2020). *Procesamiento de materiales conglomerantes: cal, yeso y cemento*. Universitat Politècnica de València.  
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/146535/Mu%C3%B1oz%20-%20Procesamiento%20de%20materiales%20conglomerantes:%20cal,%20yeso%20y%20cemento.pdf?sequence=1>
- Novoa, C. M., (2005). *Elaboración y evaluación de tableros aglomerados a base de fibra de coco y cemento* [Tesis de Máster]. Universidad de Colima.  
[https://www.academia.edu/36476691/UNIVERSIDAD\\_DE\\_COLIMA\\_ELABORACION\\_Y\\_EVALUACION\\_DE\\_TABLEROS\\_A\\_GLOMERADOS\\_A\\_BASE\\_DE\\_FIBRA\\_DE\\_COCO\\_Y\\_CEMENTO](https://www.academia.edu/36476691/UNIVERSIDAD_DE_COLIMA_ELABORACION_Y_EVALUACION_DE_TABLEROS_A_GLOMERADOS_A_BASE_DE_FIBRA_DE_COCO_Y_CEMENTO)
- Pejerrey, M. (2023). *Evaluación de las propiedades de un concreto f'c 210 kg/cm<sup>2</sup> utilizando diatomeas calcinadas como reemplazo parcial del cemento*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.  
<https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/7039>
- Peralta, D. (2016). *Análisis comparativo del comportamiento de concretos elaborados con los cementos HE y IP respecto al desarrollo de la resistencia a compresión y revenimiento para diferentes cantidades de aditivo plastificante sin presencia*

- de ion cloruro*. [Tesis de grado]. Universidad Andina del Cuzco.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12557/88>
- Pokorny, J., Zaleska, M., Pavlíková, M., & Pavlik, Z. (2019). *Propiedades del Concreto de Grano Fino con Mezcla de polvo de diatomeas*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Prensa, B. (2023). *La construcción tiene una responsabilidad ante el planeta*. European Building Summit Barcelona.  
<https://europeanbuildingsummit.com/construccion-responsable/>
- Rosenhurt, N., Rosso, L., Albano, L., Guilarducci, A., & Ulibarrie, N. (2019). *Estudio del uso de tierras de diatomeas residuales en la generación de eco-cementos*. Universidad Tecnológica Nacional.  
<https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/ajea/article/view/542>
- Sánchez, E., & Takahashi V. (2018). *Influencia de la adición de tierra de diatomeas en el potencial de corrosión del acero ASTM a615 dentro del concreto reforzado elaborado con cemento portland tipo i y cemento tipo ICo en el distrito de Máncora – Piura*. Universidad Privada Antenor Orrego.  
<https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/4183>
- Sousa, V., & Bogas, J. A. (2021). Comparison of energy consumption and carbon emissions from clinker and recycled cement production. *Journal of cleaner production*, 306, 127277.
- Stamatakis, M. G., Fragoulis, D., Csirik, G., Bedeleian, I., & Pedersen, S. (2003). The influence of biogenic micro-silica-rich rocks on the properties of blended cements. *Cement and Concrete Composites*, 25(2), 177-184.
- Vásquez, E., & Neira, L. (2019). *Uso de diatomita en el concreto f' c= 210 Kg/cm2 expuesto a sulfato para potenciar su resistencia mecánica, Moyobamba, 2019*. [Tesis de grado]. Universidad Cesar Vallejo.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/47967>
- Velásquez, J. (2019). *Producción de concreto con sustitución porcentual de diatomita por cemento portland tipo I en Nuevo Chimbote*. UNS.  
<https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3603>
- Villanueva, N. E. (2016). *Influencia de la adición de fibra de coco en la resistencia del concreto* [Tesis de licenciatura]. Universidad Privada del Norte.  
<https://hdl.handle.net/11537/10491>
- World Commission on Environment and Development [WCED]. (1987). *Our common future. The Brundtland Report*. Oxford University Press.

- Yilmaz, B., & Ediz, N. (2008). The use of raw and calcined diatomite in cement production. *Cement and Concrete Composites*, 30(3), 202-211.
- Yura S.A. (2024). *Ficha Técnica Yura HE*. <https://www.yura.com.pe/wp-content/uploads/ficha-tecnica-yura-he.pdf>
- Yura S.A. (2024). *Ficha Técnica Yura IP - 2024.cdr - Cemento YURA*. <https://www.yura.com.pe/wp-content/uploads/ficha-tecnica-cemento-multiproposito-ip.pdf>

**ANEXOS**

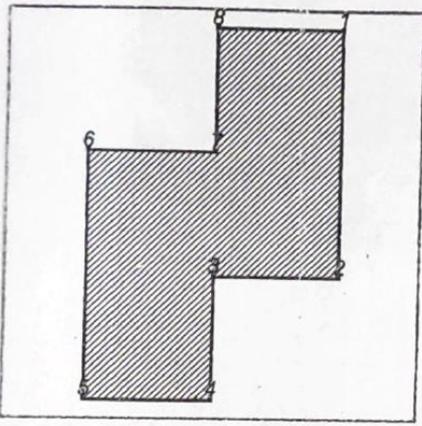
## Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicador	Metodología
<p><b>Problema general</b></p> <p>¿Cuál es la eficacia comparativa del concreto estructural elaborado con cemento puzolánico frente al concreto adicionado con tierra de diatomea en términos de resistencia?</p>	<p><b>Objetivo general</b></p> <p>Evaluar la influencia de la diatomita como alternativa de nuevo conglomerante para la fabricación de concreto sostenible.</p>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p>El concreto adicionado con tierra de diatomea demostrará una resistencia comparable o superior en comparación con el concreto puzolánico.</p>	<p><b>Variable independiente</b></p> <p>Estudio de la influencia de la diatomita como alternativa de nuevo conglomerante.</p>	<p><b>Indicador</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Granulometría</li> <li>- Peso específico.</li> <li>- Contenido de humedad.</li> <li>- Contenido de Absorción.</li> <li>- Composición mineral.</li> <li>- Contenido de impurezas.</li> </ul>	<p><b>Tipo de investigación:</b></p> <p>Investigación aplicada experimental con enfoque cuantitativo.</p> <p><b>Nivel de investigación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Explicativo</li> <li>- Aplicativo</li> </ul>
<p><b>Problemas específicos</b></p> <p>a. ¿Cuáles son las propiedades físicas y químicas de la tierra de Diatomea como materia prima?</p> <p>b. ¿Cuál es la dosificación idónea para la fabricación de concreto puzolánico y de concreto adicionado con</p>	<p><b>Objetivos específicos</b></p> <p>a. Realizar un análisis de las propiedades físicas y químicas de la tierra de diatomea obtenida de la Cantera Minera Fénix ubicada al norte de Tacna.</p>	<p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p>a. Las propiedades físicas y químicas de la tierra de Diatomea, la hacen adecuada como materia prima adicional en la fabricación de concreto estructural.</p> <p>b. La dosificación óptima para la fabricación de concreto puzolánico y</p>	<p><b>Variable dependiente</b></p> <p>Fabricación de concreto sostenible en Tacna - 2024".</p>	<p><b>Indicador</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contenido de tierra de diatomea.</li> <li>- Resistencia a la compresión del concreto</li> </ul>	<p><b>Diseño de investigación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Experimental</li> </ul>

<p>tierra de Diatomea que permita alcanzar la resistencia a la compresión esperada?</p> <p>c. ¿Cuáles son las ventajas del concreto adicionado con tierra de Diatomea frente al concreto puzolánico considerando factores técnicos, económicos y ambientales?</p>	<p>b. Elaborar el diseño de mezcla de concreto <math>F'c</math> 210 kg/cm<sup>2</sup> incorporando distintos porcentajes de tierra de diatomea.</p> <p>c. Comparar las ventajas del concreto adicionado con tierra de diatomea frente al concreto puzolánico, considerando factores técnicos, económicos y ambientales.</p>	<p>de concreto adicionado con tierra de diatomea para lograr la resistencia a la compresión esperada será influenciada por la cantidad de tierra de diatomea utilizada y la relación agua-cemento de la mezcla de concreto.</p> <p>c. El concreto adicionado con tierra de diatomea demuestra ventajas significativas sobre el concreto puzolánico en términos de resistencia, costo de producción y consideraciones ambientales.</p>			
---	---	---	--	--	--

Anexo 2. Reporte de derecho minero – Minera Fénix I

**REPORTE DE DERECHO MINERO**



CODIGO : 730001423

NOMBRE : MINERA FENIX I

TITULAR (Ref.): CARLOS LUIS ALVARADO VASQUEZ

NATURALEZA : NO METALICO

PARTIDA : .

PADRON : .

JEFATURA : 14

TIPO DER. : PETITORIOS DL-708

HECTÁREAS : 400.00

HECT.FORM. : 400.00

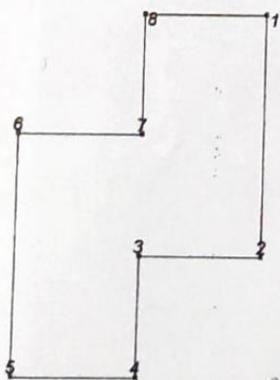
COD.CARTA : 36-U

ZONA UTM : 19

VERTICES : 8

COORDENADAS UTM (Datum WGS84):

Ver.	Este	Norte
1	315000.00	8037000.00
2	315000.00	8035000.00
3	314000.00	8035000.00
4	314000.00	8034000.00
5	313000.00	8034000.00
6	313000.00	8036000.00
7	314000.00	8036000.00
8	314000.00	8037000.00



Dirección Regional  
de Energía y Minas Tacna  
Fecha: 07 NOV 2023

señala y trae  
Letras  
FOLIOS: 73  
Números  
Follado por: *f*

GOBIERNO REGIONAL DE TACNA  
DIRECCIÓN REGIONAL DE ENERGÍA Y MINAS DE TACNA  
CERTIFICO QUE EL PRESENTE FOLIO ES COPIA FIEL DEL  
DOCUMENTO QUE OBLA EN EL EXPEDIENTE PRINCIPAL  
TACNA: 20 JUN. 2024  
ING. VICTOR INCANDE O. LAERA PINTO  
DIRECTOR REGIONAL

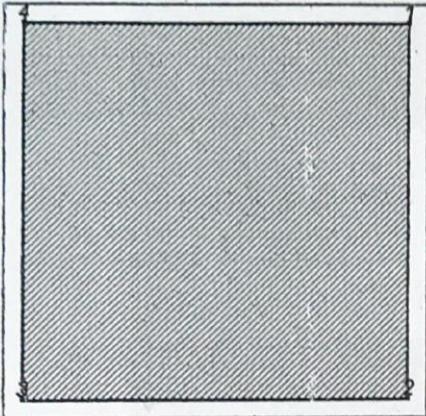
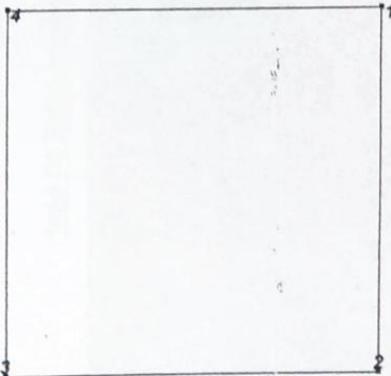


INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO  
DIRECCIÓN DE CONCESIONES MINERAS

FECHA: 29/09/23  
[SIGCATMIN]

Anexo 3. Reporte de derecho minero – Minera Fénix II

**REPORTE DE DERECHO MINERO**

**CODIGO :** 730001523

**NOMBRE :** MINERA FENIX II

**TITULAR (Ref.):** HOLBER CLAUDIO MIRANDA ZUÑIGA

**NATURALEZA :** NO METALICO

**PARTIDA :**

**PADRON :**

**JEFATURA :** 14

**TIPO DER. :** PETITORIOS DL-708

**HECTÁREAS :** 400.00

**HECT.FORM. :** 400.00

**COD.CARTA :** 36-U

**ZONA UTM :** 19

**VERTICES :** 4

**COORDENADAS UTM (Datum WGS84):**

Ver.	Este	Norte
1	320000.00	8050000.00
2	320000.00	8048000.00
3	318000.00	8048000.00
4	318000.00	8050000.00

Dirección Regional  
de Energía y Minas Tacna  
Fecha: **07 NOV 2023**  
*setenta y siete*  
Letras  
FOLIOS: **77**  
Números  
Foliado por: *f*



GOBIERNO REGIONAL DE TACNA  
DIRECCIÓN REGIONAL DE ENERGÍA Y MINAS DE TACNA  
CERTIFICO QUE EL PRESENTE FOLIO ES COPIA FIEL DEL  
DOCUMENTO QUE OBEDECE AL EXPEDIENTE PRINCIPAL  
TACNA **20 JUN 2024**  
ING. VICTOR RICARDO CARRERA PINTO  
DIRECTOR REGIONAL

INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO  
DIRECCIÓN DE CONCESIONES MINERAS

FECHA: 02/10/23  
[SIGCATMIN]

## Anexo 4. Informe de laboratorio químico



**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS  
S.A.C.**

### INFORME DE ENSAYO IE-2024-1598

#### 1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : ANACRISTINA ISABEL ASPIROS VILLANUEVA / ALEJANDRO  
1.2 RUC o DNI : JOSE AGUILAR MAMANI  
1.3 Dirección : 71518881 / 70209621  
ASOCIACIÓN JUNTA VECINAL 28 DE AGOSTO S/N

#### 2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : SUELO  
2.2 Muestreado por : CLIENTE (c)  
2.3 Número de Muestras : 01  
2.4 Fecha de Recepción : 2024-07-10  
2.5 Periodo de Ensayo : 2024-07-11 al 2024-07-31  
2.6 Fecha de Emisión : 2024-08-05  
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : 2024-06-24 / 11:00 am (c)  
2.8 N° de cotización : COT-131260-SL24

#### 3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Ensayo de Difracción de Rayos X Composición Química por Fases	Difracción de Rayos X - DRX
Caracterización de materiales por Microscopía Electrónica de Barrido - SEM EDS	Microscopía Electrónica de Barrido (SEM-EDS)
Ensayo de Fluorescencia de Rayos X Composición Química por (elementos u óxidos) SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaO, MgO, K <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O, etc.	Fluorescencia de Rayos X - FRX
Materia Orgánica	NOM-021-RECNAT-2000 / AS 07 Contenido de materia orgánica. VALIDADO
Potencial de hidrógeno (pH)	EPA SW-846, Method 9045D, Revision 4 Soil and waste pH

#### 4. RESULTADOS

##### 4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Tierra de Diatomea

N: 8048552 / E: 318843

Tacna. (c)

**Nombre del Proyecto:** "ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA DIATOMITA COMO ALTERNATIVA DE NUEVO CONGLOMERANTE PARA LA FABRICACIÓN DE CONCRETO SOSTENIBLE EN TACNA - 2024"

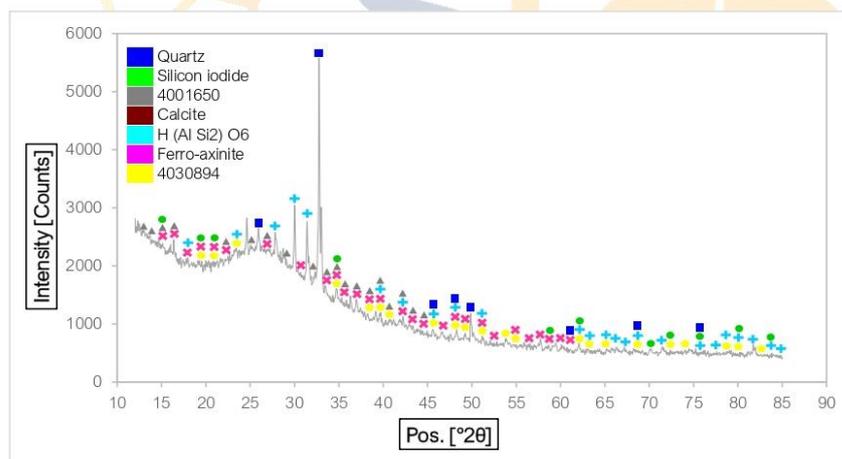
  
DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO  
QUÍMICO  
CQP. 1337

**4.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE DISFRACCIÓN DE RAYOS X**

- Equipo Utilizado: PANALYTICAL – MODELO AERIS
- Posición inicial [ $^{\circ}2\theta$ ]: 5.0109
- Posición Final [ $^{\circ}2\theta$ ]: 79.9869
- Tamaño de paso [ $^{\circ}2\theta$ ]: 0.0220
- Material del ánodo: Co
- Tipo de longitud de onda prevista: K-Alpha

**Tabla N°1: CONCENTRACIÓN DE LAS FASES CRISTALINAS EN LA MUESTRA**

Nombre del componente identificado	Fórmula Química	Unidad	Resultados
Quartz	Si3.00 O6.00	%	15.90
Silicon iodide	Si8.00 I32.00	%	0.30
4001650	Bi40.00 Cs8.04 Te52.80 Se7.20	%	0.30
Calcite	Ca5.23 Mg0.77 C6.00 O18.00	%	0.00
H (Al Si2) O6	Si8.00 O24.00 Al4.00	%	26.70
Ferro-axinite	Ca4.00 Fe1.92 Mg0.12 Al3.97 B2.00 Si8.00 O32.00 H2.00	%	0.80
4030894	Ti6.00 Mo4.00 O16.00 Li2.00	%	0.30
AMORFO	-	%	55.60



**Figura N°1: DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA Y FASES CRISTALINAS IDENTIFICADAS.**

**4.3. RESULTADOS OBTENIDOS DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO**

Tabla N°2: RESULTADOS OBTENIDOS (SEM - EDS)

Código de Laboratorio	Elemento	Contenido (%)								
		Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6	Área 7	Área 8	Área 9
S-3098	Oxígeno, O	49,87	47,13	48,69	56,92	56,08	53,62	44,92	45,77	50,18
	Sodio, Na	7,32	3,12	3,32	4,64	4,78	3,93	2,61	2,71	3,59
	Aluminio, Al	6,63	3,72	3,94	3,84	3,89	4,05	4,18	4,22	4,32
	Silicio, Si	27,78	32,39	34,29	30,75	31,70	34,03	37,47	39,20	36,88
	Potasio, K	1,96	8,87	7,29	3,85	3,55	4,37	8,03	7,04	5,03
	Calcio, Ca	5,38	1,38	1,33	---	---	---	1,35	1,06	---
	Hierro, Fe	1,06	3,39	1,14	---	---	---	1,44	---	---

**Comentarios:**

- La muestra se ensayó como fue recibida del solicitante y fue acondicionada para el ensayo.
- Las Fotos 1 a 3 representan las zonas analizadas en la muestra, a 500X, 1000X y 2000X.
- Las Gráficas 1 a 9 muestran los espectros en las zonas analizadas.
- La muestra analizada presenta principalmente oxígeno (O) y silicio (Si) formando probablemente óxidos, acompañados de elementos como sodio (Na), aluminio (Al), y potasio (K), también se detectó la presencia de calcio (Ca) y hierro (Fe).

INFORME DE ENSAYO IE-2024-1598

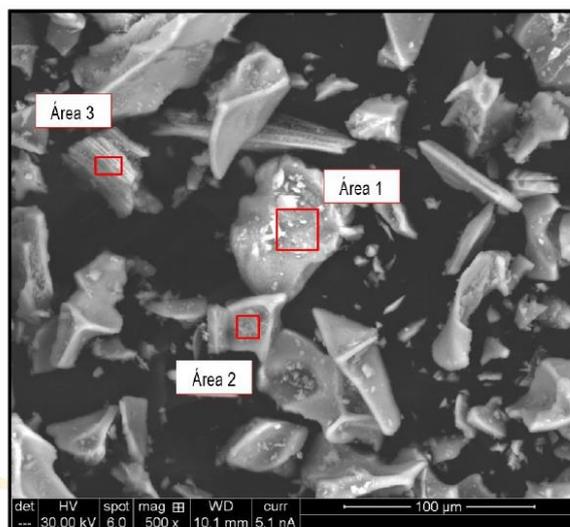
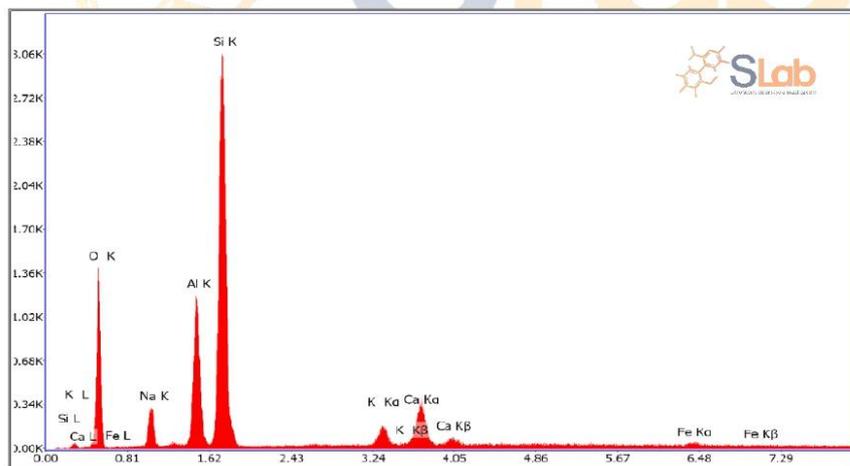
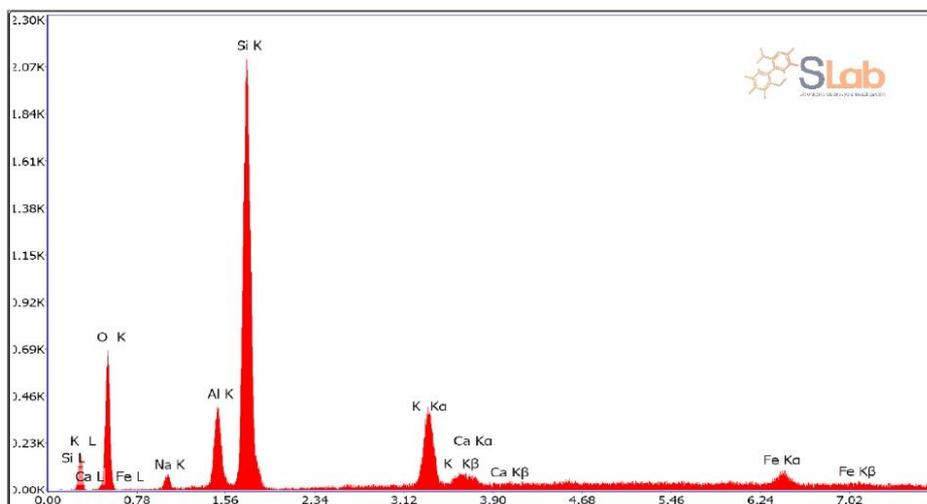


Foto N°1: Zona de análisis N°1, 500X.

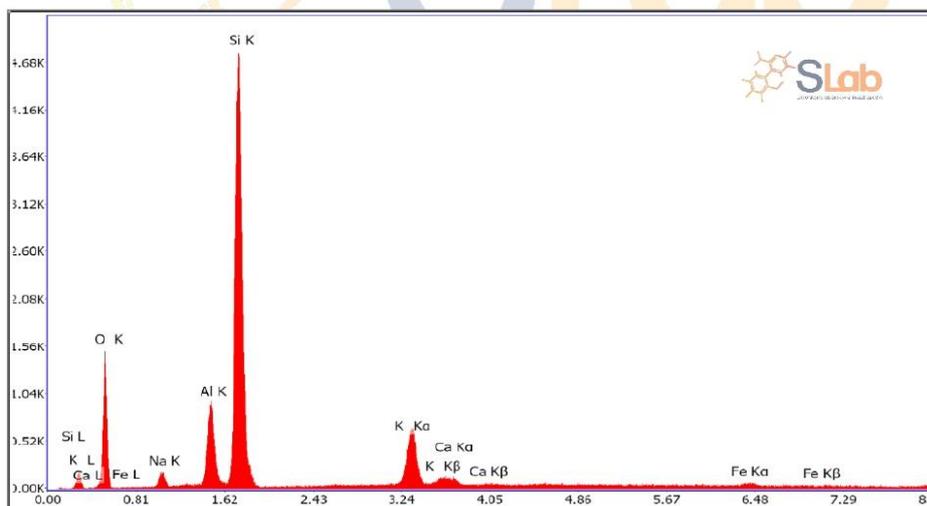


Grafica de Energías N°1: Espectro de Energía en el área 1

INFORME DE ENSAYO IE-2024-1598



Grafica de Energías N°2: Espectro de Energía en el área 2



Grafica de Energías N°3: Espectro de Energía en el área 3

INFORME DE ENSAYO IE-2024-1598

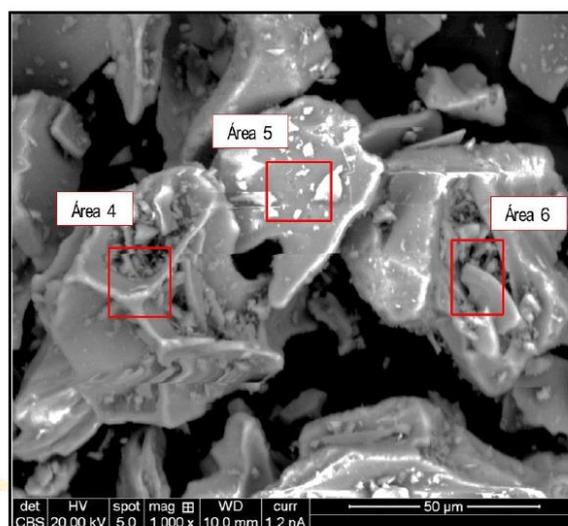
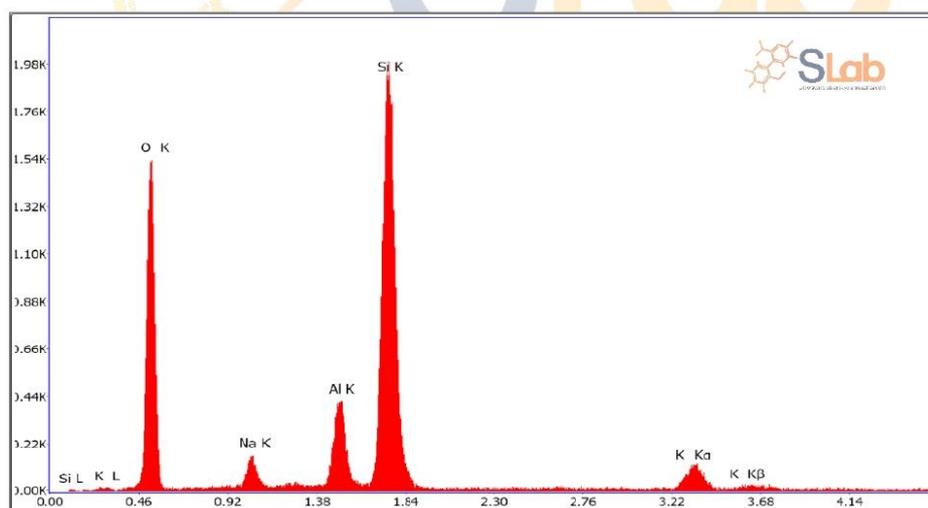


Foto N°2: Zona de análisis N°2, 1000X.

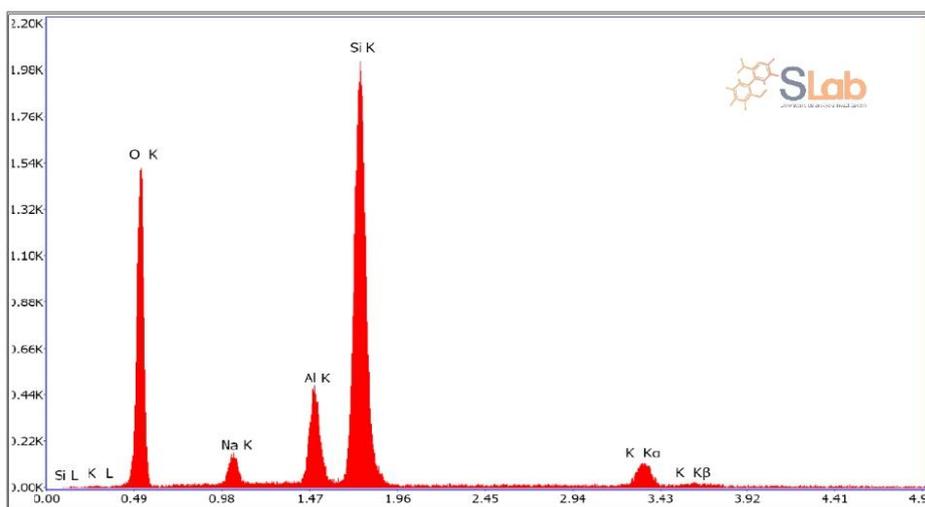
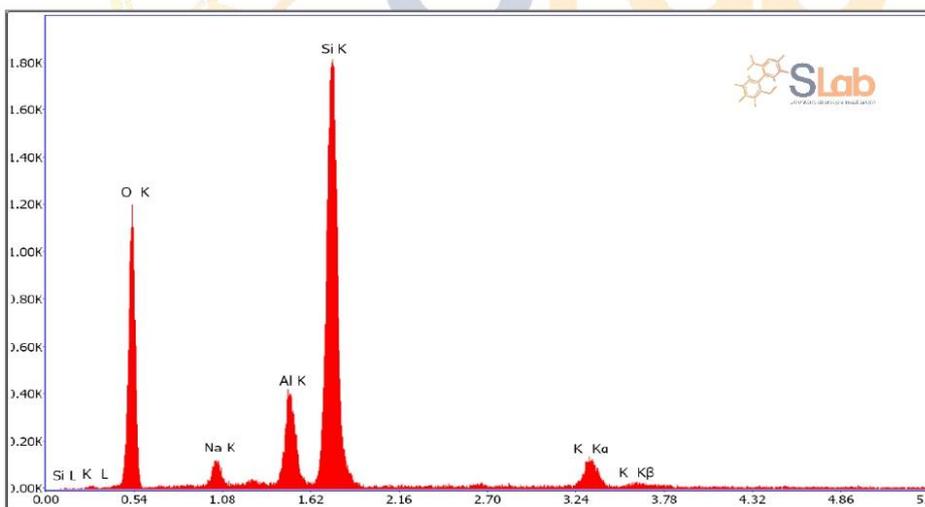


Grafica de Energías N°4: Espectro de Energía en el área 4

 V04  
 2024-04-10

 SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.  
 Calle 22 Urb. Vipol Naranjal Mz E Lt 07, San Martín De Porres Lima-Perú.  
 Cel: 926640042  
[www.slabperu.com](http://www.slabperu.com) – [contacto@slabperu.com](mailto:contacto@slabperu.com)

Página 6 de 12

**INFORME DE ENSAYO IE-2024-1598**

**Grafica de Energías N°5: Espectro de Energía en el área 5**

**Grafica de Energías N°6: Espectro de Energía en el área 6**

INFORME DE ENSAYO IE-2024-1598

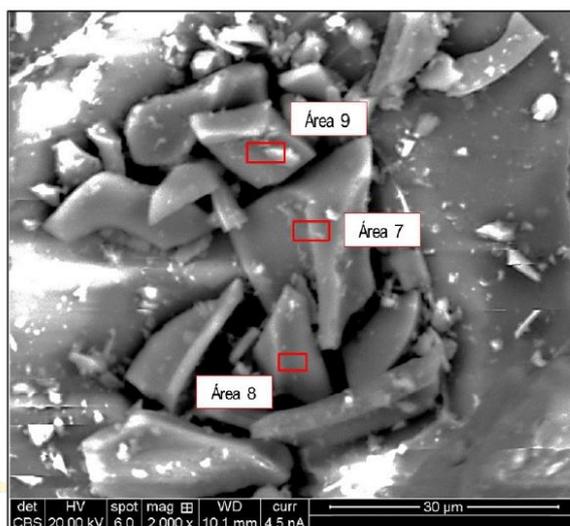
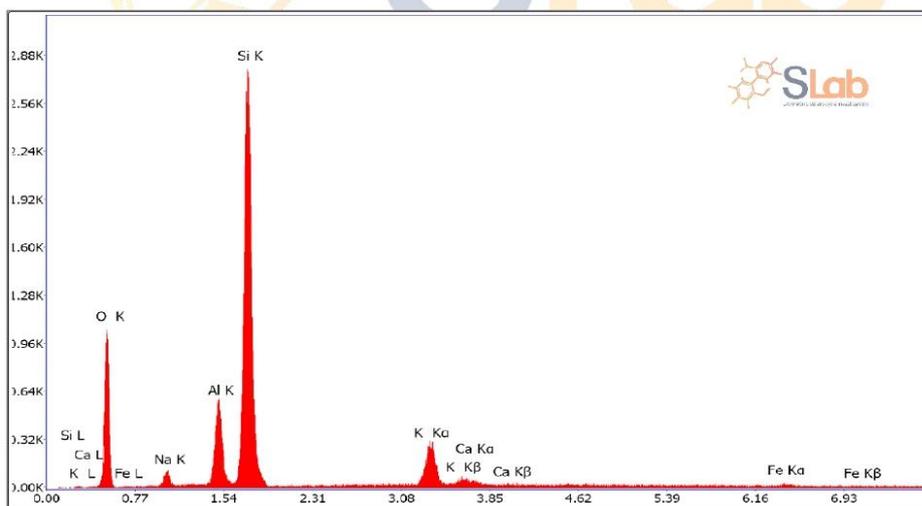
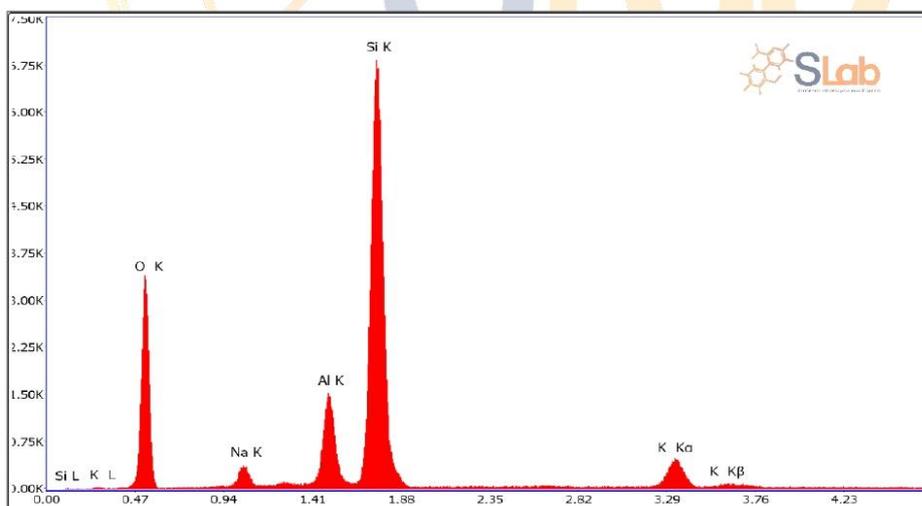
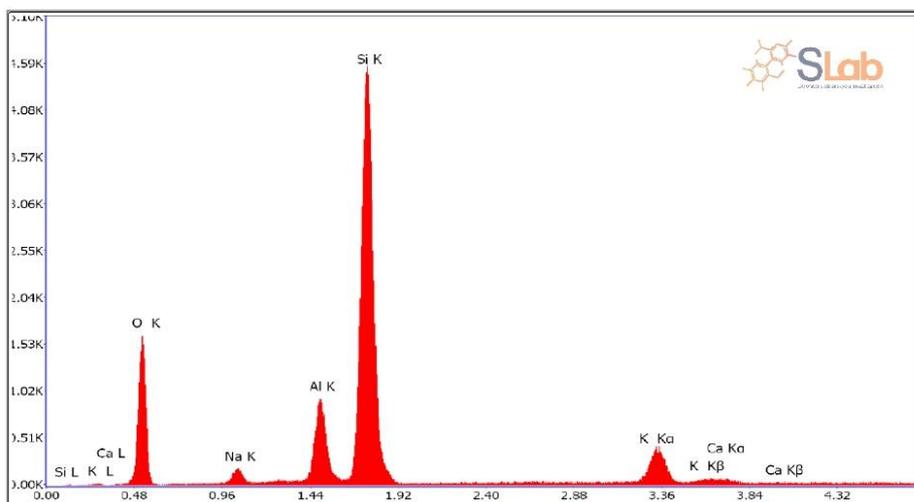


Foto N°3: Zona de análisis N°3, 2000X.



Gráfica de Energías N°7: Espectro de Energía en el área 7

INFORME DE ENSAYO IE-2024-1598


 V04  
 2024-04-10

 SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.  
 Calle 22 Urb. Vipol Naranjal Mz E Lt 07, San Martín De Porres Lima-Perú.  
 Cel: 926640042  
[www.slabperu.com](http://www.slabperu.com) – [contacto@slabperu.com](mailto:contacto@slabperu.com)

Página 9 de 12



## SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.

INFORME DE ENSAYO IE-2024-1598

### 4.4. RESULTADOS OBTENIDOS DE ENSAYO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X

- Equipo Utilizado: SHIMADZU EDX espectrómetro de fluorescencia de rayos X
- Barrido elemental del Na a U, expresados en óxidos.
- Límite de detección del equipo es 0.001%.

Tabla N°3: COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADOS COMO ELEMENTOS

Código de laboratorio	Componente	Unidad	LCM	Resultado
S-3098	Silicio, Si	%	0.01	58.576
	Potasio, K	%	0.01	20.457
	Aluminio, Al	%	0.01	8.083
	Hierro, Fe	%	0.01	5.138
	Calcio, Ca	%	0.01	3.805
	Titanio, Ti	%	0.01	0.68
	Azufre, S	%	0.01	0.476
	Manganeso, Mn	%	0.01	0.308
	Rubidio, Rb	%	0.01	0.201
	Zirconio, Zr	%	0.01	0.124
	Estroncio, Sr	%	0.01	0.104
	Zinc, Zn	%	0.01	0.035
	Galio, Ga	%	0.01	0.021
	Niobio, Nb	%	0.01	0.017
	Cobre, Cu	%	0.01	0.015
	Itrio, Y	%	0.01	0.012
	Perdida por calcinación	%	0.01	1.95

*Nota: Balance de resultados al 100% de óxidos calculados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío.*

INFORME DE ENSAYO IE-2024-1598

Tabla N°4: COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADOS COMO ÓXIDOS

Código de laboratorio	Componente	Unidad	LCM	Resultado
S-3098	Óxido de Silicio, SiO <sub>2</sub>	%	0.01	71.627
	Óxido de Potasio, K <sub>2</sub> O	%	0.01	10.392
	Óxido de Aluminio, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0.01	10.112
	Óxido de Hierro, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0.01	2.617
	Óxido de Calcio, CaO	%	0.01	2.008
	Óxido de Azufre, SO <sub>3</sub>	%	0.01	0.526
	Óxido de Titanio, TiO <sub>2</sub>	%	0.01	0.418
	Óxido de Manganeso, MnO	%	0.01	0.143
	Óxido de Rubidio, Rb <sub>2</sub> O	%	0.01	0.073
	Dióxido de Zirconio ZrO <sub>2</sub>	%	0.01	0.054
	Óxido de Estroncio, SrO	%	0.01	0.04
	Óxido de Zinc, ZnO	%	0.01	0.015
	Óxido de Galio, Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0.01	0.009
	Óxido de Niobio, NbO	%	0.01	0.007
	Óxido de Cobre, CuO	%	0.01	0.006
Óxido de Itrio, Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0.01	0.005	
Perdida por calcinación	%	0.01	1.95	

*Nota: Balance de resultados al 100% de óxidos calculados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío.*

#### 4.5. RESULTADOS OBTENIDOS VARIADOS

Tabla N°5: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-3098	Potencial de hidrógeno (pH)	Unidad pH	0.10	7.05
	Materia Orgánica (MO)	%	0.01	2.09



## SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.

INFORME DE ENSAYO IE-2024-1598

### Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

N.A. No Aplica.

<sup>(c)</sup> Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.



## Anexo 5. Panel Fotográfico Ensayos Químicos



**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS  
S.A.C.**



**IMAGEN N°1: POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)**



**IMAGEN N°2: MATERIA ORGANICA**

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.



Figura N°3: EQUIPO FRX UTILIZADO



#### FIN DE DOCUMENTO

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra como se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

## Anexo 6. Certificado de acreditación del laboratorio

# Certificado



**INACAL**  
Instituto Nacional  
de Calidad  
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Acreditación a:

## SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.

**Laboratorio de Ensayo**

En su sede ubicada en: Calle 22 Mz E Lt 7 Urbanización Vipol de Naranjal, distrito de San Martín de Porres, provincia y departamento de Lima

Con base en la norma

**NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración**

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número de registro indicado líneas abajo.

Fecha de Acreditación: 21 de julio de 2023  
Fecha de Vencimiento: 20 de julio de 2026



Ceclula: N°: 228-2023-INACAL/DA  
Contrato N°: 039-2023-INACAL-DA  
Registro N°: LE - 211



Firmado digitalmente por AGUILAR RODRIGUEZ Lidia Patricia FAU  
20600283015 soft  
Fecha: 2023-08-18 08:52:23  
Motivo: Soy el Autor del Documento

---

**PATRICIA AGUILAR RODRÍGUEZ**  
Directora (d.t.). Dirección de Acreditación - INACAL

Fecha de emisión: 15 de agosto de 2023

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web [www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados](http://www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados) y/o a través del código QR al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) de Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-01P-02M Ver. 03

## Anexo 7. Informe propiedades de los agregados



### CONSTANCIA DE ENTREGA

PRP-01-05R/Mayo2023/Rev02

Fecha de entrega:	8/07/2024	N° DE REGISTRO:	293
Facturación:	ALEJANDRO JOSE AGUILAR MAMANI		
Cliente:	ALEJANDRO JOSE AGUILAR MAMANI		
RUC:	10702096214		
Cotización de servicios/val	Cotización C24-145		

En la ciudad de Tacna, el área de Gestión de Calidad de la empresa Ingeservicios S.A.C., debidamente identificada con el número de RUC 20449438834 y con sede en Av. Collpa Mza, Lote. 08 Sec. Pago Olanique Tacna - Tacna - CrI. Gregorio Albarracín Lanchipa, emite la presente constancia de entrega de informes de resultados correspondientes a los ensayos realizados.

Mediante la presente, se hace constar que se ha llevado a cabo la entrega de los siguientes informes de resultados, detallados en el cuadro adjunto:

#### PROYECTO:

TESIS: "ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA DIATOMITA COMO ALTERNATIVA DE NUEVO CONGLOMERANTE PARA LA FABRICACIÓN DE CONCRETO SOSTENIBLE EN TACNA - 2024"

Cuadro resumen de informes entregados:

	INFORME DE RESULTADOS N°	ENSAYOS TÉCNICOS	NORMA	CANTIDAD
REGISTRO	LSCP-24 803	Contenido de Humedad (A. grueso o fino)	NTP 339.185	2
	LSCP-24 804	Análisis granulométrico (Agregado fino)	NTP 400.012	1
	LSCP-24 805	Análisis granulométrico (Agregado grueso)	NTP 400.012	1
	LSCP-24 806	Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino	NTP 400.022	1
	LSCP-24 807	Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso	NTP 400.021	1
	LSCP-24 808	Peso Unitario del Agregado Fino (suelto y varillado)	NTP 400.017	1
	LSCP-24 809	Peso Unitario del Agregado Grueso (Suelto y varillado)	NTP 400.017	1

INGESERVICIOS SAC

FIRMA DE RECEPCIÓN

Todos los derechos reservados queda prohibida la modificación total o parcial de los informes emitidos protegidos por derechos de propiedad intelectual sin el permiso por escrito de INGESERVICIOS SAC.

Pág. 1/1

**INFORME DE ENSAYO**

DOCUMENTO CON VALOR OFICIAL

Pagina: 1 de 1

**CONTENIDO DE HUMEDAD**
**NTP 339.185**
**INFORME N°:** LSCP - 24 - 803

**PROYECTO:** \*Estudio de la Influencia de la diatomita como alternativa de nuevo conglomerante para la fabricación de concreto sostenible en Tacna - 2024\*

**SOLICITANTE:** Alejandro José Aguilar Mamani

**DIRECCIÓN:** -

**UBICACIÓN:** Tacna - Tacna - Tacna

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 27 de Junio de 2024

**MUESTRA:** Cantera Arunta (Ag. Fino y Ag. Grueso)

**FECHA DE EJECUCIÓN:** 28 de Junio de 2024

**ENSAYADO EN:** Laboratorio de Ingeservicios Sac

**FECHA DE EMISIÓN:** 6 de Julio de 2024

**Material:** Ag. Fino-Ag. Grueso

**Método de secado:** Por horno 110°C±5°C

**Datos adicionales:** -

**Condición inicial:** Muestra alterada

**Agregado Fino**

CARACTERISTICAS	MUESTRA		
	CHF-1	CHF-2	CHF-3
W. Tara (g)	152.40	183.40	181.70
W.Tara + Muestra Húmeda (g)	1306.40	1633.30	1450.80
W.Tara + Muestra Seca (g)	1286.80	1607.90	1429.30
W. Muestra Humeda (g)	1154.00	1449.90	1269.10
W. Muestra Seca (g)	1134.40	1424.50	1247.60
W. Agua (g)	19.60	25.40	21.50
Contenido de Humedad (%)	1.728	1.783	1.723
Contenido de Humedad (%)	1.745		

**Agregado Grueso**

CARACTERISTICAS	MUESTRA		
	CHG-1	CHG-2	CHG-3
W. Tara (g)	176.9	176.20	249.40
W.Tara + Muestra Húmeda (g)	2105.90	2210.60	2237.10
W.Tara + Muestra Seca (g)	2099.30	2203.00	2229.90
W. Muestra Humeda (g)	1929.00	2034.40	1987.70
W. Muestra Seca (g)	1922.40	2026.80	1980.50
W. Agua (g)	6.60	7.60	7.20
Contenido de Humedad (%)	0.343	0.375	0.364
Contenido de Humedad (%)	0.361		

**Observación:**

- El material fue proporcionado por el solicitante.

- Esta prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de Ingeservicios S.A.C.

- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.

- Los resultados del informe de ensayo solo están relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistemada calidad de la entidad que lo produce.

**INFORME DE ENSAYO**  
DOCUMENTO CON VALOR OFICIAL

Página: 1 de 1

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
**NTP. 400.012**

INFORME N°: LSCP - 24 - 804

PROYECTO : "Estudio de la Influencia de la diatomita como alternativa de nuevo conglomerante para la fabricación de concreto sostenible en Tacna - 2024"

SOLICITANTE : Alejandro José Aguilar Mamani

DIRECCIÓN : -

UBICACIÓN : Tacna - Tacna - Tacna

FECHA DE RECEPCIÓN: 27 de Junio de 2024

MUESTRA : Cantera Arunta

FECHA DE EJECUCIÓN: 2 de Julio de 2024

ENSAYADO EN: Laboratorio de Ingeservicios Sac

FECHA DE EMISIÓN: 6 de Julio de 2024

Material: Agregado fino

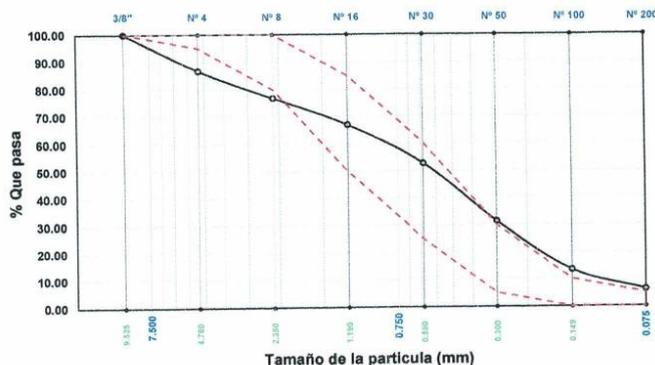
Método de secado: Por horno 110°C±5°C

Datos adicionales: -

Modulo de Fineza: 2.72

Tamices ASTM	Abertura mm	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Gradación: NTP 400.037
3/8"	9.525	0.00	0.00	100.00	100
N° 4	4.760	13.20	13.20	86.80	95 - 100
N° 8	2.380	10.11	23.32	76.68	80 - 100
N° 16	1.190	9.79	33.11	66.89	50 - 85
N° 30	0.590	14.25	47.36	52.64	25 - 60
N° 50	0.300	21.22	68.58	31.42	5 - 30
N° 100	0.149	17.95	86.53	13.47	0 - 10
N° 200	0.075	7.30	93.82	6.18	0 - 5

**Curva Granulométrica**



**Observación:**

- Agregado fino: La cantidad de muestra de agregado fino, después de secado, debe ser de 300 g mínimo.
- El material fue proporcionado por el solicitante.

- Esta prohibido la reproduccion parcial o total de este documento sin la autorizacion escrita de Ingeservicios S.A.C.

- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretacion de los resultados aqui declarados.

- Los resultados del informe de ensayo solo estan relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**INFORME DE ENSAYO**

DOCUMENTO CON VALOR OFICIAL

Pagina: 1 de 1

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO  
NTP 400.012**

INFORME N°: LSCP - 24 - 805

PROYECTO: "Estudio de la influencia de la diatomita como alternativa de nuevo conglomerante para la fabricación de concreto sostenible en Tacna - 2024"

SOLICITANTE: Alejandro José Aguilar Mamani

DIRECCIÓN: -

UBICACIÓN: Tacna - Tacna - Tacna

FECHA DE RECEPCIÓN: 27 de Junio de 2024

MUESTRA: Cantera Arunta

FECHA DE EJECUCIÓN: 2 de Julio de 2024

ENSAYADO EN: Laboratorio de Ingeservicios Sac

FECHA DE EMISIÓN: 6 de Julio de 2024

Material: Agregado grueso

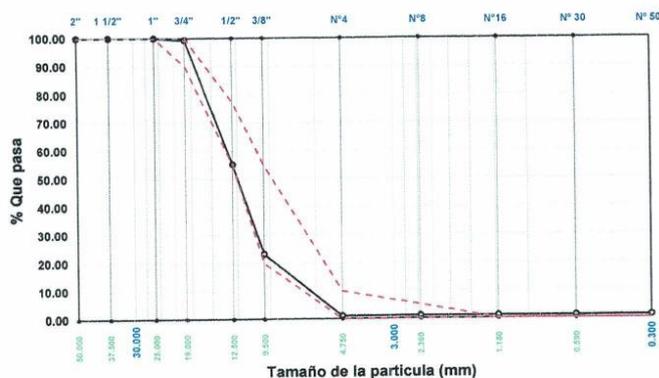
Método de secado: Por horno 110°C±5°C

Datos adicionales: -

Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4"

Tamices ASTM	Abertura mm	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Gradación 67
2"	50.000	0.00	0.00	100.00	-
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	100.00	-
1"	25.000	0.00	0.00	100.00	100
3/4"	19.000	0.71	0.71	99.29	90 - 100
1/2"	12.500	44.24	44.96	55.04	-
3/8"	9.500	31.86	76.81	23.19	20 - 55
N°4	4.750	22.17	98.99	1.01	0 - 10
N°8	2.360	0.00	98.99	1.01	0 - 5
N°16	1.180	0.00	98.99	1.01	-
N°30	0.590	0.00	98.99	1.01	-
N°50	0.300	0.00	98.99	1.01	-

**Curva Granulométrica**



Observación:

- El material fue proporcionado por el solicitante.

**IngeServicios**  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Marco Alfredo Gomez Lupaca  
ING. CIVIL CIP: 242526  
JEFE DE LABORATORIO

- Esta prohibido la reproduccion parcial o total de este documento sin la autorizacion escrita de Ingeservicios S.A.C.

- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretacion de los resultados aqui declarados.

- Los resultados del informe de ensayo solo estan relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Av. Collpa N° 8, sector Pago Olanique Distrito de Gregorio Albarracín - Tacna

052284898 - 955668070  
info@ingeservicios.com.pe

www.ingeservicios.com.pe  
RUC 20449438834


**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS**

 Consultoría y control de calidad en proyectos de ingeniería  
 Garantía en eficiencia y seguridad

PRP-06-027R/Abril 2022/Rev.00

**INFORME DE ENSAYO**

DOCUMENTO CON VALOR OFICIAL

Pagina: 1 de 1

**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN  
NTP. 400.022**

<b>INFORME N°:</b>	LSCP - 24 - 806		
<b>PROYECTO :</b>	"Estudio de la Influencia de la diatomita como alternativa de nuevo conglomerante para la fabricación de concreto sostenible en Tacna - 2024"		
<b>SOLICITANTE :</b>	Alejandro José Aguilar Mamani		
<b>DIRECCIÓN:</b>	-		
<b>UBICACIÓN :</b>	Tacna - Tacna - Tacna	<b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b>	27 de Junio de 2024
<b>MUESTRA:</b>	Cantera Arunta	<b>FECHA DE EJECUCIÓN:</b>	4 de Julio de 2024
<b>ENSAYADO EN:</b>	Laboratorio de Ingeservicios Sac	<b>FECHA DE EMISIÓN:</b>	6 de Julio de 2024
<b>Material:</b>	Agregado fino	<b>Método de secado:</b>	Por horno 110°C±5°C
<b>Datos adicionales:</b>	Procedimiento gravimétrico (Pícnómetro)	<b>Condición Inicial:</b>	-

**GRAVEDAD ESPECÍFICA**

ITEM	MUESTRAS		
	GEF-1	GEF-2	GEF-3
Volumen de recipiente (cc)	500	500	500
W. Tara (g)	81.71	80.65	76.78
W. Tara + Muestra SSS (g)	390.88	390.34	381.07
W. Tara + Muestra seca (g)	388.13	387.67	378.31
W. Muestra + Fiola + Agua (g)	850.65	851.11	847.17
W. Fiola + Agua (g)	658.09	658.13	657.59
W. Muestra SSS (g)	309.17	309.69	304.29
W. Muestra Seca (g)	306.42	307.02	301.53
Absorción (%)	0.897	0.870	0.915
Peso específico aparente (g/cc)	2.628	2.631	2.629
Peso específico SSS (g/cc)	2.651	2.654	2.653
Peso específico nominal (g/cc)	2.691	2.692	2.693
<b>Absorción (Prom.)(%)</b>	<b>0.894</b>		
<b>Peso esp. aparente (g/cc)</b>	<b>2.629</b>		
<b>Peso específico SSS (g/cc)</b>	<b>2.653</b>		
<b>Peso específico nominal (g/cc)</b>	<b>2.692</b>		

**RESULTADOS**

Peso específico SSS (g/cc)

2.653

Absorción (%)

0.894

**Observación:**

- El material fue proporcionado por el solicitante.


 Ing. Marco Alfredo Gomez Lupaca  
 Inge. CIVIL, NIP 242536  
 JEFE DE LABORATORIO

- Esta prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de Ingeservicios S.A.C.

- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.

- Los resultados del informe de ensayo solo están relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Av. Colipa N° 8, sector Pago Olanque Distrito de Gregorio Albarracín - Tacna

 052284898 - 955668070  
 info@ingeservicios.com.pe

 www.ingeservicios.com.pe  
 RUC 20449438834

**INFORME DE ENSAYO**

DOCUMENTO CON VALOR OFICIAL

Pagina: 1 de 1

**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN**
**NTP. 400.021**

INFORME N°:	LSCP - 24 - 807		
PROYECTO :	"Estudio de la Influencia de la diatomita como alternativa de nuevo conglomerante para la fabricación de concreto sostenible en Tacna - 2024"		
SOLICITANTE :	Alejandro José Aguilar Mamani		
DIRECCIÓN:	-		
UBICACIÓN :	Tacna - Tacna - Tacna	FECHA DE RECEPCIÓN:	27 de Junio de 2024
MUESTRA :	Cantera Arunta	FECHA DE EJECUCIÓN:	4 de Julio de 2024
ENSAYADO EN:	Laboratorio de Ingeservicios Sac	FECHA DE EMISIÓN:	6 de Julio de 2024
Material:	Agregado grueso	Método de secado:	Por horno 110°C±5°C
Datos adicionales:	Agregado sumergido en agua por 24 h ± 4 h	Condición inicial:	-

**PESO ESPECÍFICO (PIEDRA)**

ITEM	MUESTRA		
	PE-1	PE-2	PE-3
W. Tara (g)	142.420	146.190	137.420
W. Tara + Muestra SSS (g)	1696.050	1764.020	1689.810
W. Tara + Muestra seca (g)	1681.910	1747.480	1675.620
Muestra sumergida (g)	972.660	1015.420	974.340
W. Muestra Seca (g)	1539.490	1601.290	1538.200
W. Muestra SSS (g)	1553.630	1617.830	1552.390
W. Muestra SSS sumergida (g)	972.660	1015.420	974.340
Volumen de la muestra SSS (cc)	580.970	602.410	578.050
Volumen de la muestra (cc)	566.830	585.870	563.860
Absorción (%)	0.918	1.033	0.923
Peso específico de la masa (Pem) (g/cc)	2.650	2.658	2.661
Peso específico masa saturada con superficie seca (PeSSS) (g/cc)	2.674	2.686	2.686
Peso específico aparente (Pea) (g/cc)	2.716	2.733	2.728
<b>Absorción (%)</b>		<b>0.958</b>	
<b>Peso específico de la masa (Pem) (g/cc)</b>		<b>2.656</b>	
<b>Peso específico masa saturada con superficie seca (PeSSS) (g/cc)</b>		<b>2.682</b>	
<b>Peso específico aparente (Pea) (g/cc)</b>		<b>2.726</b>	

**RESULTADOS**

Peso específico SSS (g/cc)

**2.682**

Absorción (%)

**0.958**

Observación:

- El material fue proporcionado por el solicitante.



 Ing. Marco Alfredo Gomez Lupaca  
 INGE. CIVIL N° 242536  
 JEFE DE LABORATORIO

- Esta prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de Ingeservicios S.A.C.

- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.

- Los resultados del informe de ensayo solo estan relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Av. Collpa N° 8, sector Pago Olanque Distrito de Gregorio Albarracín - Tacna

 052284898 - 955668070  
 info@ingeservicios.com.pe

 www.ingeservicios.com.pe  
 RUC 20449438834



## LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Consultoría y control de calidad en proyectos de ingeniería  
Garantía en eficiencia y seguridad

PRP-06-025R/Abril 2022/Rev.00

### INFORME DE ENSAYO

DOCUMENTO CON VALOR OFICIAL

Página: 1 de 1

### PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO NTP. 400.017

INFORME N°: LSCP - 24 - 808

PROYECTO: "Estudio de la Influencia de la diatomita como alternativa de nuevo conglomerante para la fabricación de concreto sostenible en Tacna - 2024"

SOLICITANTE: Alejandro José Aguilar Mamani

DIRECCIÓN: -

UBICACIÓN: Tacna - Tacna - Tacna

MUESTRA: Cantera Arunta

ENSAYADO EN: Laboratorio de Ingeservicios Sac

FECHA DE RECEPCIÓN: 27 de Junio de 2024

FECHA DE EJECUCIÓN: 5 de Julio de 2024

FECHA DE EMISIÓN: 6 de Julio de 2024

Material: Agregado fino

Datos adicionales: Procedimiento por apisonado para el PUC.

#### DATOS DEL MOLDE

W. Molde (g): 1757

Alto (cm): 14.99

Diametro (cm): 15.50

Volumen (cc): 2826.101

#### PESO UNITARIO SUELTO

ITEM	MUESTRAS		
	PUS-1	PUS-2	PUS-3
W.Suelo + Molde (g)	6668	6664	6662
W.Suelo (g)	4911	4907	4905
Peso Unitario (g/cc)	1.738	1.736	1.736
<b>Peso Unitario (Prom.)(g/cc)</b>	<b>1.737</b>		

#### PESO UNITARIO COMPACTADO

ITEM	MUESTRAS		
	PUC-1	PUC-2	PUC-3
W.Suelo + Molde (g)	7002	7016	7023
W.Suelo (g)	5245	5259	5266
Peso Unitario (g/cc)	1.856	1.861	1.863
<b>Peso Unitario (Prom.)(g/cc)</b>	<b>1.860</b>		

#### RESULTADOS

Peso Unitario Suelto (g/cc)

**1.737**

Peso Unitario Compactado (g/cc)

**1.860**

Observación:

- El material fue proporcionado por el solicitante.

**IngeServicios**  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Marco Alfredo Gomez Lupaca  
ING. CIVIL N° 242536  
JEFE DE LABORATORIO

- Esta prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de Ingeservicios S.A.C.
- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.
- Los resultados del informe de ensayo solo están relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Av. Collpa N° 8, sector Pago Olanique Distrito de Gregorio Albarracín - Tacna

052284898 - 955668070  
info@ingeservicios.com.pe

www.ingeservicios.com.pe  
RUC 20449438834


**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS**

 Consultoría y control de calidad en proyectos de ingeniería  
 Garantía en eficiencia y seguridad

PRP-06-025R/Abril 2022/Rev.00

**INFORME DE ENSAYO**

DOCUMENTO CON VALOR OFICIAL

Página: 1 de 1

**PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO  
 NTP. 400.017**

<b>INFORME N°:</b>	LSCP - 24 - 809		
<b>PROYECTO :</b>	"Estudio de la Influencia de la diatomita como alternativa de nuevo conglomerante para la fabricación de concreto sostenible en Tacna - 2024"		
<b>SOLICITANTE :</b>	Alejandro José Aguilar Mamani		
<b>DIRECCIÓN:</b>	-		
<b>UBICACIÓN :</b>	Tacna - Tacna - Tacna	<b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b>	27 de Junio de 2024
<b>MUESTRA:</b>	Cantera Arunta	<b>FECHA DE EJECUCIÓN:</b>	5 de Julio de 2024
<b>ENSAYADO EN:</b>	Laboratorio de Ingeservicios Sac	<b>FECHA DE EMISIÓN:</b>	6 de Julio de 2024
<b>Material:</b>	Agregado grueso		
<b>Datos adicionales:</b>	Procedimiento por apisonado para el PUC.		

**DATOS DEL MOLDE**

W. Molde (g): 8666      Alto (cm): 28.54      Diametro (cm): 19.35      Volumen (cc): 8392.779

**PESO UNITARIO SUELTO**

ITEM	MUESTRAS		
	PUS-1	PUS-2	PUS-3
W.Suelo + Molde (g)	19678	19708	19712
W.Suelo (g)	11012	11042	11046
Peso Unitario (g/cc)	1.312	1.316	1.316
<b>Peso Unitario (Prom.)(g/cc)</b>	<b>1.315</b>		

**PESO UNITARIO COMPACTADO**

ITEM	MUESTRAS		
	PUC-1	PUC-2	PUC-3
W.Suelo + Molde (g)	20735	20939	20960
W.Suelo (g)	12069	12273	12294
Peso Unitario (g/cc)	1.438	1.462	1.465
<b>Peso Unitario (Prom.)(g/cc)</b>	<b>1.455</b>		

**RESULTADOS**

Peso Unitario Suelto (g/cc)

**1.315**

Peso Unitario Compactado (g/cc)

**1.455**

Observación:

- El material fue proporcionado por el solicitante.

**IngeServicios**  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

 Ing. Mardo Alfredo Gomez Lupaca  
 ING. CIVIL CIP: 242536  
 JEFE DE LABORATORIO

- Esta prohibido la reproduccion parcial o total de este documento sin la autorizacion escrita de Ingeservicios S.A.C.

- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretacion de los resultados aqui declarados.

- Los resultados del informe de ensayo solo estan relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Av. Collpa N° 8, sector Pago Olanique Distrito de Gregorio Albarracín – Tacna

 052284898 - 955668070  
 info@ingeservicios.com.pe

 www.ingeservicios.com.pe  
 RUC 20449438834

**FIGURA 1:** Contenido de humedad del agregado fino y grueso



- Esta prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de Ingeservicios S.A.C.
- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.
- Los resultados del informe de ensayo solo están relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

*FIGURA 2: Granulometría del agregado grueso*



*FIGURA 3: Granulometría del agregado fino*



- Esta prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de Ingeservicios S.A.C.
- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.
- Los resultados del informe de ensayo solo están relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

*FIGURA 4: Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.*



*FIGURA 5: Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.*



- Esta prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de Ingeservicios S.A.C.  
- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.  
- Los resultados del informe de ensayo solo están relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Av. Colpa N° 8, sector Pago Olanque Distrito de Gregorio Albarracín - Tacna

052284898 - 955668070  
info@ingeservicios.com.pe

www.ingeservicios.com.pe  
RUC 20449438834

**FIGURA 6:** Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.

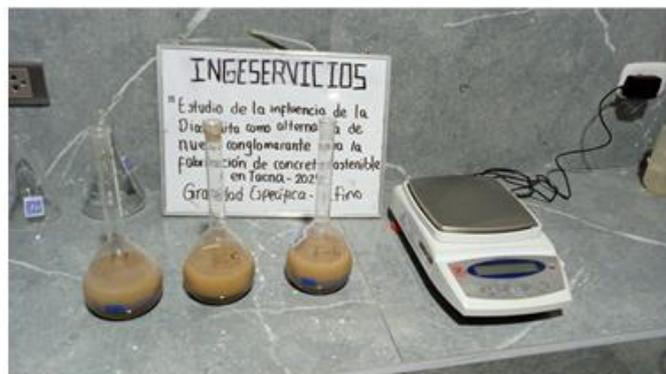


**FIGURA 7:** Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.



- Esta prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de Ingeservicios S.A.C.
- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.
- Los resultados del informe de ensayo solo están relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

*FIGURA 8: Peso específico del agregado fino.*



*FIGURA 9: Peso específico del agregado grueso.*



- Esta prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de Ingeservicios S.A.C.
- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.
- Los resultados del informe de ensayo solo están relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**Anexo 8. Panel fotográfico****Figura 32**

*Extracción de la muestra de tierra de diatomea*

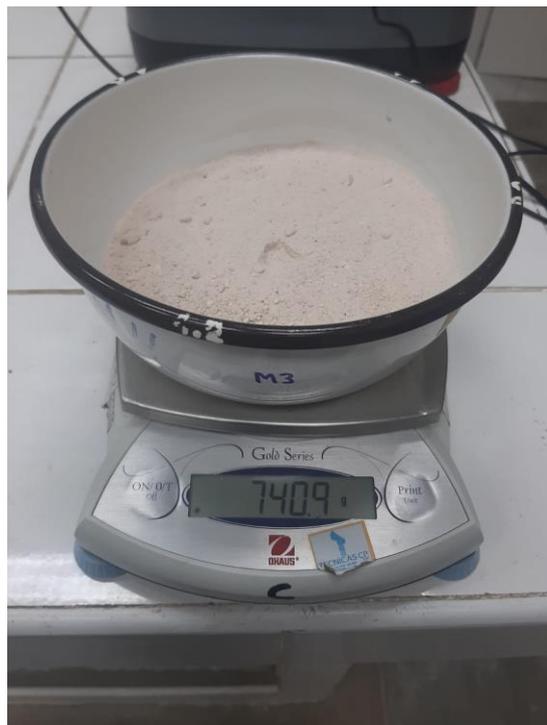
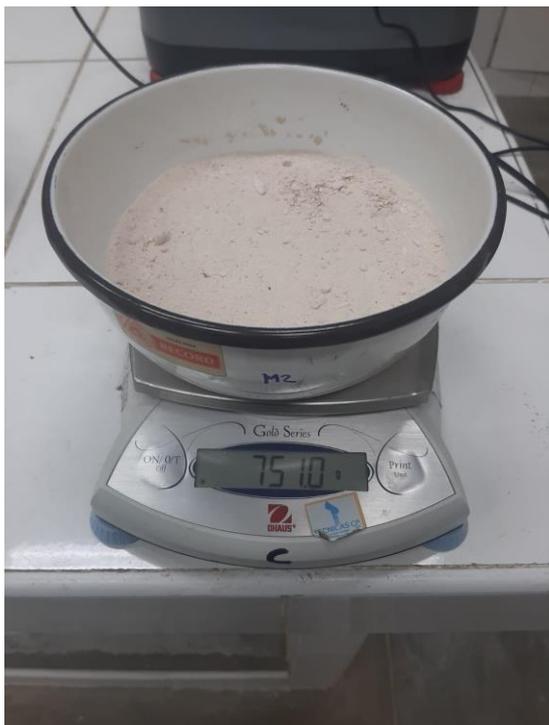


**Figura 33***Ensayo de peso unitario suelto TD*

**Figura 34**

*Ensayo de contenido de humedad TD*

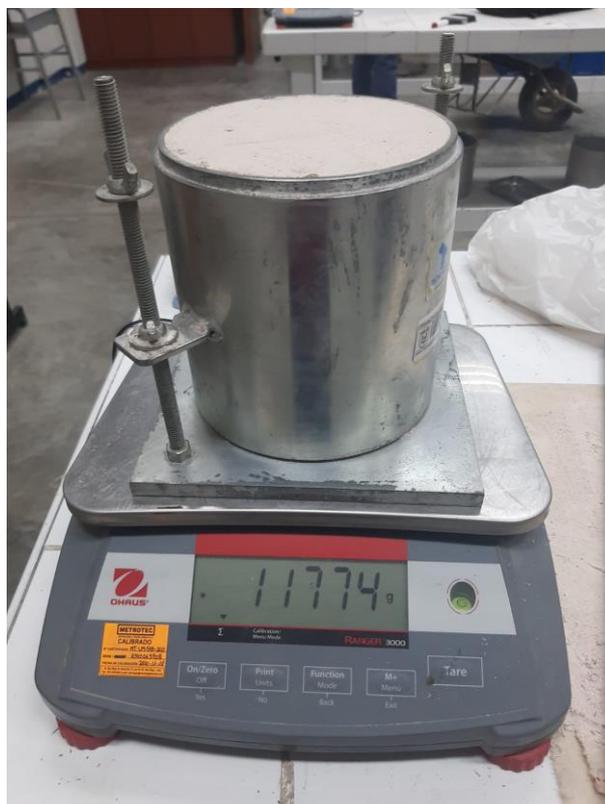




**Figura 35**  
*Análisis granulométrico TD*



**Figura 36**  
*Ensayo de peso unitario compactado TD*



**Figura 37***Ensayo de peso específico y absorción TD*



**Figura 38**

*Ensayo de límite líquido y plástico*



*Nota:* Se intentó realizar el ensayo de Límite líquido y plástico, sin embargo, el material no tiene características que se comporten de manera plástica

**Figura 39**

*Preparación de moldes y etiquetado*

**Figura 40**

*Preparación de materiales*



**Figura 41***Elaboración de concreto***Figura 42***Prueba de slump concreto patrón*

**Figura 43**

*Vaciado, desencofrado y curado de probetas de concreto*



**Figura 44**

*Preparación y rotura de probetas*

